Efecto de tratamientos térmicos y aditivos alimentarios sobre la pungencia y el color en la obtención de un producto a base de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

Trabajo de grado para optar por el título de magister en Innovación Alimentaria y Nutrición

Diana Marsela Rivero Barrios

Asesor
Claudia Estela Restrepo
MSc. Ciencia en Farmacéuticas

Corporación Universitaria Lasallista.
Facultad de Posgrado
Innovación Alimentaria y Nutrición
Caldas-Antioquia
2019

Contenido

Lista de tablas 4
Lista de Figuras 6
Resumen 7
Agradecimientos 8
Dedicatoria 9
Introducción 10
Justificación 14
Objetivos 17
General 17
Específicos 17
Marco Teórico 18
Descripción Botánica y clasificación de la cebolla de rama o larga 19
Composición y características de la cebolla de Rama o cebolla larga 21
Pungencia y sabor de la cebolla de rama. 23
Tasa de respiración de vegetales. 27
El color de la cebolla de rama 29
Productos perecederos y pérdida de la calidad de alimentos frescos 34
Tecnologías de obstáculos para la conservación de los alimentos 35
Actividad de agua y estabilidad de alimentos de humedad intermedia 38
Metodología 43
Evaluación de las características fisicoquímicas y sensoriales de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*) 43
Caracterización del material Vegetal. 43
Determinación el efecto de tratamientos térmicos sobre la pungencia de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*) 47

Determinación el efecto de los aditivos alimentarios sobre la actividad de agua, pH, pungencia y el color de la cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*) 48
Preparación de la muestra y mezcla de sales. 48
Optimización de la aplicación de los aditivos alimentarios en la pasta de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)..... 49
Análisis estadístico 49
Resultados y discusión 55
Evaluación de las características fisicoquímicas, fisiológicas y el efecto corte de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*) 55
Caracterización de dos variedades de la cebolla de rama. 55
Influencia la variedad, parte del vegetal y el estilo de corte sobre la velocidad de respiración..... 59
Influencia del tipo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre la pungencia, pH y sólidos solubles de dos variedades de cebolla rama recién cortadas..... 63
Influencia del estilo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre la calidad sensorial..... 64
Efecto de tratamientos térmicos sobre la pungencia de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*) 68
Determinar el efecto de los aditivos alimentarios sobre la actividad de agua, pH, pungencia y el color de la cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)..... 69
Optimización de la aplicación de los aditivos alimentarios en la pasta de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)..... 75
Optimización mediante la función de deseabilidad y validación. 77
Conclusiones 80
Referencias 83

Lista de tablas

Tabla 1. Diseño de experimentos compuesto central 52

Tabla 2. Características físicas y fisicoquímicas de la cebolla rama según la variedad. 56

Tabla 3. Características fisicoquímicas de la hoja y tallo de la cebolla de rama según la variedad del vegetal. 58

Tabla 4. Tasa de respiración de las dos variedades de cebolla de rama en dos estilos de corte 61

Tabla 5. Efecto del estilo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre la pungencia, pH y sólidos solubles de cebolla rama recién cortadas..... 65

Tabla 6. Efecto del estilo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre los atributos sensoriales de dos variedades de cebolla rama recién cortadas. 66

Tabla 7. Efecto del tratamiento térmico sobre la pungencia de las dos variedades de cebolla de rama..... 68

Tabla 8. Respuestas del diseño de compuesto central 71

Tabla 9. Análisis de varianza para el efecto de los tres factores sobre variables respuestas 74

Tabla 10. Análisis de varianza de los modelos para las seis respuestas evaluadas en la aplicación de las sales 76

Tabla 11. Modelos matemáticos codificados para la aw, L*, a*, b*, pH y pungencia en la pasta de cebolla de rama 77

Tabla 12. Optimización de múltiples respuestas en función de la deseabilidad de las variables de aw y a* 78

Tabla 13. Parámetros predichos y experimentales de la cebolla de rama 79

Lista de Figuras

Figura 1. Cebolla de rama o cebolla larga (*Allium fistulosum linnaeus*) 20

Figura 2. Distribución celular de los compuestos órgano sulfurados en célula de cebolla 24

Figura 3. Generación de los principales grupos de aroma en la cebolla 26

Figura 4. Estructura de los derivados de clorofila que se encuentran en las plantas superiores. Clorofila a (R = CH3) y la clorofila b (R = CHO) 31

Figura 5. Reacciones de degradación y derivación de la clorofila....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6. Zonas de estabilidad de los alimentos 40

Figura 7. Tasa de respiración de CO2 (µmol/ Kg*h) a 4°C para tallos y hojas de cebolla rama variedad junca recién cortadas 62

Figura 8. Tasa de respiración de CO_2 (µmol/ Kg*h) a 4°C para tallos y hojas de cebolla rama variedad veleña recién cortadas. .....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 9. Gráficos de superficie de respuesta para a) actividad de agua, b) Luminosidad o claridad, c) Coordenada de color a*, d) Coordenada de color b*, e) pH f) pungencia (µmol a. pirúvico/ g cebolla)..... 73

Resumen

La cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) es una hortaliza perecedera y ampliamente empleada en preparaciones culinarias y que se le ha dado poco valor agregado. En este trabajo se evaluaron las características de pH, acidez, °Brix, color en coordenadas de CIEL*a*b* y pungencia (µmol/g cebolla) de las variedades junca y veleña. Se evaluó el efecto del corte (rodajas y bastones) de hojas y tallos sobre la tasa de respiración y vida útil a 4°C. Se aplicó tratamiento térmico y se evaluó su efecto en la pungencia, se adicionaron de sales (NaCl, KCl y $MgCO_3$) para reducción de a_w, conservación de pungencia y color que se evaluaron por metodología de superficie de respuesta. Los resultados mostraron que la pungencia en la Junca fue 42,19 µmol/gcebolla y en veleña 33,23 µmol/gcebolla. El tipo de corte influyó en la pungencia la cual fue mayor en rodajas. La tasa de respiración fue de 2000-3500 µmol/Kg*h en veleña y 4500-5000 µmol/Kg*h en junca y fue mayor en hojas que en tallos. La vida útil a 4°C de rodajas y bastones fue 7 y 10 días respectivamente. El tratamiento térmico tuvo efecto en la pérdida de la pungencia, obteniéndose a 100°C/120s 17,26 µmol/g y 17,48 µmol/g y a 62°C/30s 30,69 µmol/g y 29,34 µmol/g en junca y veleña respectivamente. El NaCl ayudó a reducir la a_w hasta 0,746. El $MgCO_3$ conservó el color hasta a* de -2.820. La mezcla óptima de sales por 100 gramos de cebolla fue NaCl 37g, KCl 0,496g y $MgCO_3$ 0,443g.

Palabras Clave: cebolla de rama, actividad de agua, pungencia, color

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencia y tecnología alimentaria INTAL, por la oportunidad de formarme y permitirme ser parte de su grupo de investigación y profesionales en formación, por el apoyo brindado durante la realización de mis estudios y en el desarrollo de mi trabajo de grado.

A Carolina Urrea y Claudio Jiménez Cartagena su interés en brindarme el tiempo, espacios y recursos necesarios para llevar a feliz término mi formación y compromisos adquiridos.

A mi tutora Claudia Restrepo, por haber confiado en mí, por su valioso acompañamiento y disposición en la realización de este trabajo.

A los profesores de Corporación Universitaria LaSallista quienes por medio de sus aportes ayudaron a fortalecer mi formación.

A mis amigos y compañeros, especialmente Diego Noguera, Jurleiny Jiménez, William Salazar, Zulay Castrillón, Mabel Higuita, Edinson Bejarano, Andrés Gallo, Juan David Velásquez y Claudia Naranjo por todo su apoyo, compañerismo, amistad y compromiso durante este arduo proceso en alcanzar una de mis metas.

A Colciencias, por la financiación de mis estudios y del proyecto de investigación.

A la Corporación Universitaria LaSallista por permitirme Realizar mi programa de Maestría en Innovación Alimentaria y Nutrición.

Dedicatoria

A Dios, mi fortaleza y más grande motor que siempre me llena de bendiciones y lleva a alcanzar mis metas rodeada de personas maravillosas.

A mis padres, Edilberto Rivero y Nellys Barrios (Q.P.D), quienes, con su amor, apoyo y consejos siempre me han motivado a seguir mis sueños a pesar del importar el cansancio.

A mis hermanos, Carlos y Oscar, mis cómplices quienes están siempre para brindarme su apoyo.

A mi esposo Leonar, por su amor, compañía y apoyo incondicional, por creer siempre en mí y ser parte de mi inspiración a alcanzar mis sueños.

A mi sobrino Santiago, quien con su sonrisa me alegra el alma y se ha convertido en una motivación más para seguir adelante.

A mi tía Carmen y mi Abuelita Armida, por ser mi ejemplo de lucha y fortaleza, por su inagotable amor y permanente oraciones.

Introducción

La cebolla de rama o cebolla larga (*Allium fistulosum L*). es una hortaliza de amplio uso y consumo en el mundo. En Colombia la cebolla de rama constituye una de las hortalizas de mayor consumo y representa el 12,9% la producción nacional de hortalizas (Ramírez, 2004). Para el año 2015 se obtuvo una producción nacional de cebolla de rama de 327.290 t. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2017). Esta hortaliza es utilizada en preparaciones culinarias de forma cruda, en ensaladas, sopas, guisos y en la elaboración de productos cárnicos para aromatizar y dar sabor picante, siendo una alternativa para su aprovechamiento la obtención de productos mínimamente procesados.

El principal factor de estrés que experimentan los productos recién cortados son las heridas, las cuales causan algunos cambios fisiológicos y bioquímicos en los tejidos que pueden acelerar procesos de deterioro tales como pérdida de agua, pardeamiento oxidativo, pérdida de textura, desarrollo de sabores extraños, limitando la vida útil de productos recién cortados (Gil et al., 2006; Hodges & Toivonen, 2008) lo que constituye un factor importante que puede afectar la calidad de los productos frescos cortados (Aguayo, E., Escalona, and V., Artés, 2004; Li et al., 2017; Rezzan, 2009).

Una de las características de la cebolla es su sabor picante, el cual se debe a los compuestos sulfurados originados a partir sulfóxidos no volátiles (metil sulfóxido de cisteína y el propenil sulfóxido de cisteína) (Raigón M.D y Navarro Calveras L, 2012), los

cuales son expuestos cuando el tejido es dañado o cortado dándose la formación de compuestos como ácido pirúvico, amoníaco y ácidos sulfinicos mediante reacciones enzimáticas catalizadas por la enzima allinasa (Soto Vargas, Verónica Carolina; González, Roxana Elizabeth; Mirta Sance, María; Burba, José Luis; Beatriz Camargo, 2010).

Actualmente, ha aumentado comercialización de vegetales frescos listos para el consumir, los cuales han sido sometidos generalmente a lavado, desinfección, corte o troceado, empacado y almacenados en refrigeración. Estos alimentos resultan ser muy atractivos para el consumidor debido a su disponibilidad, frescura, poco proceso de preparación, saludable, fácil uso y de características sensoriales agradables (Ma et al., 2017; Sair et al., 2017; Tappi et al., 2016). La cebolla de rama es altamente perecedera y como alimento mínimamente procesado puede presentar una vida útil no más de 5 días almacenada en refrigeración (Han et al., 2016), mientras que almacenada en atmósfera controlada y a 5°C puede alcanzar una vida útil de hasta 2 semanas (Hong, Peiser, & Cantwell, 2000). El corto tiempo de durabilidad es debido en parte al elevado contenido de humedad del vegetal fresco que puede alcanzar hasta un 90% de su composición (Kołota, Adamczewska-Sowińska, & Uklańska-Pusz, 2012). Este elevado contenido de humedad ocasiona a su vez que el vegetal tenga un elevado valor de actividad de agua (a_w = 0,992), haciéndola propensa a múltiples reacciones de deterioro bioquímico y microbiano (Bahram-Parvar & Lim, 2018; Chirife & Fontan, 1982). Una de las alternativas

tecnológicas para la reducción de la actividad de agua en vegetales es el uso de solutos con capacidad osmótica como las sales (Rahman, 2008) como el cloruro de potasio, magnesio y sodio, las cuales tienen la capacidad de reducir el contenido de agua libre en los alimentos (Albarracín, Sánchez, Grau, & Barat, 2011; Polatoğlu, Beşe, Kaya, & Aktaş, 2011).

Otro factor importante en los vegetales es el color, el cual es un parámetro de calidad muy importante, que puede afectarse con los tratamientos de conservación térmicos o no térmicos aplicados a los alimentos (Koca, Karadeniz, & Burdurlu, 2006). El color verde propio de las hojas de la cebolla de rama fresca se debe a la clorofila, que se encuentra en los tejidos de los vegetales (Schmalko, Scipioni, & Ferreyra, 2007) y está conformada por cuatro anillos de pirrol y un anillo isocíclico, y contiene un átomo de magnesio en su interior (Streit, Zepka, & Jacob-lopes, 2015).

Para el análisis de formulaciones e ingredientes, la metodología de superficie de respuesta (MSR) es una herramienta eficaz para optimizar una variedad de procesos en la industria de los alimentos, incluidos los procesos osmóticos de deshidratación (Alam & Singh, 2010; Ozdemir, Ozen, Dock, & Floros, 2008). La principal ventaja de esta metodología es el número reducido de experimentos capaces de suministrar información suficiente para resultados estadísticamente válidos. En comparación con los diseños experimentales de una variable a la vez o diseño factorial, la MSR es más rápida e informativa (Bezerra, Santelli, Oliveira, Villar, & Escaleira, 2008; Ozdemir et al., 2008).

Esta metodología ha sido empleada para la evaluación de agentes de deshidratación osmótica en zanahorias (B. Singh, Panesar, Nanda, & Kennedy, 2010), aonla (Alam & Singh, 2010), papa (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007), banano (Mercali, Ferreira Marczak, Tessaro, & Zapata Noreña, 2011), pimientos verdes (Ozdemir et al., 2008) y remolacha (Jokić, Gyura, Lević, & Zavargó, 2007). El objetivo de este estudio fue evaluar efecto de tratamientos térmicos y aditivos alimentarios sobre la pungencia, la reducción de la actividad de agua y fijación del color en la obtención de un producto a base de cebolla de rama (Allium fistulosum linnaeus).

Justificación

La cebolla de rama (*Allium fistulosum*) es un producto hortícola de gran importancia, se considera uno de los cultivos con mayores propiedades alimenticias y medicinales, además es muy importante en la alimentación y fuente de ingreso de muchos agricultores. Sin embargo, es una hortaliza altamente perecedera debido a su contenido de agua, a su elevada tasa metabólica y al deficiente manejo postcosecha, tiene un tiempo de vida corto, por lo tanto, el tiempo para la comercialización y consumo luego de la cosecha es muy corto. Un agricultor puede cosechar en promedio 40 toneladas por hectárea y de acuerdo con las necesidades del mercado, si esta cebolla no se logra vender en dos días, se producirían pérdidas para el comerciante debido a la putrefacción de la misma. La comercialización de la cebolla de rama en su gran mayoría se realiza sin o con un mínimo valor agregado, solo se limita a la eliminación de seudotallos y raíces y no se somete a procesos de selección y clasificación pos cosecha, por lo que es crítico generar tecnología para su almacenamiento, presentación y envasado. Según lo observado en últimas actualizaciones tecnológicas del cultivo, la tendencia es ofrecer un producto fresco empacado en mallas o al vacío o someterlo a procesos de deshidratación para obtener y ofrecer "aros" o "harinas".

Dentro del sistema de la agroindustria, existe un subsistema muy dinámico, el de la transformación y el procesamiento de materias primas de origen agropecuario, buscando generar valor agregado a los productos frescos cosechados en las veredas.

Los productos mínimamente procesados son uno de los sectores de la industria alimenticia que está creciendo alrededor del mundo, sin embargo, por su forma de preparación especial, son altamente perecederos, por lo que deben ser elaborados siguiendo procedimientos con controles estrictos para evitar la pérdida de calidad y asegurando un buen producto para el consumidor (Rodríguez, 2004). Uno de los retos para la industria de vegetales mínimamente procesados, es poder brindar a los consumidores, productos limpios y empacados que mantengan sus características de frescura, antes de la fecha de vencimiento o vida útil comercial (González, Cáez, Moreno, Rodríguez, & Sotelo, 2012). Siendo este uno de los principales objetivos de la industria del sector, lo cual implica una evolución tecnológica por parte de las unidades productivas, siendo necesario encontrar métodos que ayuden a frenar el deterioro de estos productos, en este sentido, deben aplicarse técnicas de conservación que puedan prolongar la vida útil del producto minimizando el deterioro de sus características sensoriales y nutricionales.

Entre las alternativas para la conservación y prolongar la vida útil de los alimentos es la aplicación de tratamientos térmicos, los cuales pueden ayudar a reducir las tasas metabólicas, carga microbiológica, conservar características nutricionales y la obtención de nuevos productos. Otro método de conservación es la aplicación se solutos con capacidad osmótica como azúcares, polialcoholes, hidrolizados de proteínas, sales como cloruro de sodio como principal depresor de actividad de agua, cloruro de potasio,

fosfatos y carbonato de magnesio, las cuales tienen función osmótica que pueden llegar a disminuir la actividad de agua, mejorar las propiedades funcionales, sensoriales y minimizar afectaciones en textura y color de los alimentos tras los tratamientos térmicos empleados.

Por lo anterior surge la necesidad de evaluar tratamientos térmicos y la aplicación de sales que permiten la conservación de la pungencia y el color y disminución de la actividad de agua de la cebolla de rama para obtener un producto de humedad intermedia.

Objetivos

General

Evaluar el efecto de los tratamientos térmicos y aditivos alimentarios sobre la pungencia y el color en la obtención de un producto a base de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*).

Específicos

Evaluar las características fisicoquímicas y el efecto corte de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*).

Determinar el efecto de tratamientos térmicos sobre la pungencia de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*).

Determinar el efecto de los aditivos alimentarios sobre la actividad de agua, pH, pungencia y el color de la cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*).

Optimización de la aplicación de los aditivos alimentarios en la pasta de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*).

Marco Teórico

En este capítulo se describen generalidades a cerca de la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) como son las variedades, composición fisicoquímica, características fisiológicas, usos y beneficios, tasa de respiración, características del sabor y la pungencia en la cebolla y formación de ácido pirúvico, con la finalidad de conocer las características del material en estudio, tecnologías de conservación y se describen algunas investigaciones y estudios realizados en diferentes vegetales en cuanto conservación.

La cebolla de rama o cebolla larga (*Allium fistulosum* L.) es una planta hortícola de amplio uso y consumo en todo el mundo especialmente en Asia (Chang, Jang, Lin, & Duan, 2016b). La cebolla larga fue el principal cultivo de Allium en China y Japón, en donde se ha cultivado durante más de 2.000 años, en estos países aún sigue teniendo una gran importancia (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2015; Sung et al., 2014).

La planta de la cebolla contiene esencias volátiles sulfurosas que la confieren el sabor picante característico, además es apetecida por su pseudotallo largo, jugoso y picante (Hernán, 2015). En Colombia fue introducida por los españoles, durante la colonia y es hoy uno de los principales cultivos hortícolas del país, en área y valor después de la cebolla de bulbo (DANE, 2001; Machado, 2012), representando el 12,9%

de la producción nacional de hortalizas (Díaz et al., 2013; Ramírez, 2004). Esta hortaliza es utilizada en preparaciones culinarias de forma cruda, en ensaladas, sopas, guisos y en la elaboración de productos cárnicos para aromatizar y dar sabor picante, siendo una alternativa para su aprovechamiento en la obtención de productos mínimamente procesados (B. K. Singh, 2018). Para el año 2015 se obtuvo una producción nacional de cebolla de rama de 327.290 toneladas, concentrando la mayor producción en el departamento de Boyacá con un 70,97 %, y en otros como Nariño con un 16,86 %, Santander participó con un 4,73 %, Risaralda 3,46 %, Antioquia 2,28 %, Norte de Santander 0,64% Huila con el 0,38 %, Valle del Cauca 0,37 % y el Cauca con el 0,22 % de la producción total del país. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2017).

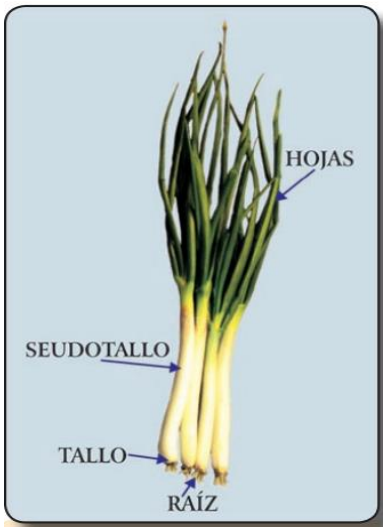
Descripción Botánica y clasificación de la cebolla de rama o larga

La cebolla de rama (Figura 1) pertenece a la familia *Liliaceae* y a la especie *Allium fistulosum* L. Cuando la planta se encuentra totalmente desarrollada presenta cuatro estructuras fundamentales que son raíz, tallo, seudotallo y hojas. La raíz es muy fibrosa, conformada por raicillas y puede profundizar hasta 25 cm y expandirse lateralmente hasta un área de 15 cm para absorción de nutrientes (Noreña et al., 2016). El tallo crece posterior a la raíz y se encuentra por debajo del nivel del subsuelo, tiene forma comprimida y aplastada, su crecimiento se produce radialmente desde el centro hacia afuera, desde el tallo se originan las raíces, gajos, hojas e inflorescencias. El seudotallo

es la parte blanca de la planta y está formado por las vainas concéntricas de las hojas (Sáchez León et al., 2012).

El género *Allium* se encuentre en la siguiente clasificación taxonómica (Ramírez, 2004): clase Monocotiledoneae, superorden Lliflorae, orden Asparagales, familia Alliaceae, tribu Alliae, género Allium y especie Fistolosum.

Figura 1. Cebolla de rama o cebolla larga (*Allium fistulosum linnaeus*)



Fuente: Pinzón Ramírez, 2004

Entre las variedades de cebolla larga que existen en el país se encuentran la Junca, la cual produce mayor número de macollas que otras variedades y es relativamente más susceptible a enfermedades de raíces y tallos, especialmente la pudrición de estos, tanto como la quemazón y la mancha en la punta de las hojas. La

variedad imperial o Monguana produce menos macolla que la variedad Junca, engrosa más y alcanza una longitud total mayor con respecto a las demás variedades, el color del follaje es de un verde poco intenso y es susceptible a los cambios de temperatura. La Santa Isabel o R 18 desarrolla tallos gruesos y de color pardo rojizo, presenta buen macollamiento.

La cebolla pastusa: Es una variedad con un periodo vegetativo más largo que las mencionadas, de tallos gruesos y largos con excelente calidad. Presenta susceptibilidad a enfermedades de la raíz. Berlinera: Desarrolla tallos gruesos y macolla muy bien, presenta colores amarillo dorado y sus hojas son poco quebradizas, aunque son largas, es la variedad con mayor aceptación. Ha mostrado buenas condiciones para el transporte, pero presenta una alta susceptibilidad a enfermedades foliares y de la raíz (Ramírez, 2004).

Composición y características de la cebolla de Rama o cebolla larga

La cebolla de rama es de gran importancia debido a su composición nutricional y capacidad antioxidante, vitaminas, compuestos fenólicos, provitaminas (Manuela Belén Silveira Rodríguez, 2003; B. K. Singh, 2018), capacidad antimicrobiana y anti fúngicas (Chang, Jang, Lin, & Duan, 2016a). Adicionalmente, se ha reportado que tiene un efecto sobre la digestión, prevención del estreñimiento y enfermedades del colón debido a su contenido de fibra (Chang et al., 2016a). En cuanto a la composición, se ha encontrado que las hojas de la cebolla en crudo contienen en cada porción comestible de 100 g

alrededor de un 90,5 g de agua, 1,9 g de proteína, 0,4 g de grasa, 6,5 g de carbohidratos, 34 kcal, 18 mg de calcio, 23 mg de magnesio, 49 mg de fosforo, 0,52 mg de zinc, 1160 UI vitamina A, 0,05 mg de tiamina, riboflavina 0,09 mg, niacina (vitamina B3) 0,40 mg, ácido fólico (vitamina B9) 16 µg y 27 mg de ácido ascórbico (B. K. Singh, 2018).

Según G.R Fenwick y A.B. Harley, (1985) (como se citó en Chen, Chen, Wang, Tsai, & Jen, 2000) los hortalizas pertenecientes a la familia *Allium,* especialmente el ajo y la cebolla han sido utilizados en la medicina tradicional para tratar algunas enfermedades como el resfriado, artritis, dolor de cabeza y enfermedades cardiacas. Además, sirven como agentes anti plaquetarios que pueden contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares (Cavagnaro & Galmarini, 2012).

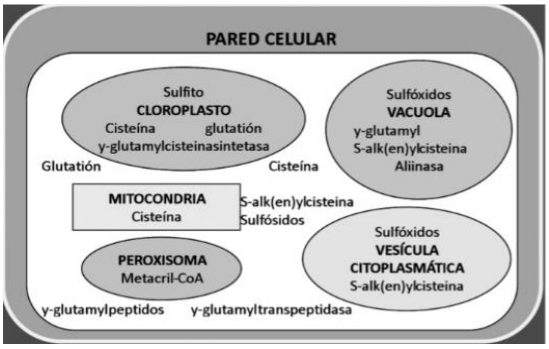
La actividad biológica y los beneficios para la salud humana de la cebolla de rama pueden deberse su composición nutricional y al conjunto de compuestos organosulfurados y polifenoles (B. K. Singh, 2018). En estudios realizados por Sung y colaboradores (2014) describieron que el extracto de *Allium fistulosum* es rico en vitaminas C, B2, B3 y B9 y con alto contenido de proteína y que adicionados a barras de cereal y suministradas como tratamiento a ratones obesos generó la disminución del peso corporal, de lípidos acumulados en hígado y reducción del tamaño de los adipocitos comparados con los controles (ratones sin la dieta) con lo que concluyen que la barra de cereal adicionada con el extracto de *Allium fistulosum*, puede servir como nutracéutico para mejora de la obesidad y trastornos metabólicos.

Resultados similares fueron obtenidos por Sung y colaboradores (2011), quienes reportaron la disminución de la concentración de triglicéridos, colesterol total, lipoproteínas de baja densidad y leptina en suero de ratones alimentados con extracto de cebolla de rama. Adicionalmente se ha reportado que la hoja de la cebolla de rama puede disminuir la presión arterial debido a que reduce la generación de superoxido al suprimir la producción de angiotensina II y la actividad de NADH/ NADPH oxidasa, aumentando con esto la disponibilidad de óxido nítrico en la aorta. (Yamamoto, Aoyama, Hamaguchi, & Rhi, 2005).

Pungencia y sabor de la cebolla de rama.

El sabor y olor picante característico de la cebolla se debe a los compuestos que contienen azufre originados a partir sulfóxidos no volátiles (metil sulfóxido de cisteína y el propenil sulfóxido de cisteína) (B. K. Singh, 2018). Estos compuestos se acumulan en las vesículas de la célula donde son relativamente estables (Figura 2), sin generar olor (Raigón M.D y Navarro Calveras L, 2012). Cuando el tejido es dañado o cortado se da la formación de compuestos como ácido pirúvico, amoníaco y ácidos sulfinicos mediante reacciones enzimáticas catalizadas por la enzima allinasa (Lister, 2007; Soto Vargas, Verónica Carolina; González, Roxana Elizabeth; Mirta Sance, María; Burba, José Luis; Beatriz Camargo, 2010). Por ello, la cantidad de pungencia en una cebolla se puede medir como la cantidad de ácido pirúvico producido durante el proceso (Raigón M.D y Navarro Calveras L, 2012).

Figura 2. Distribución celular de los compuestos órgano sulfurados en célula de cebolla



Fuente: Raigón M.D. y Calveras, 2012

Formación de ácido pirúvico:

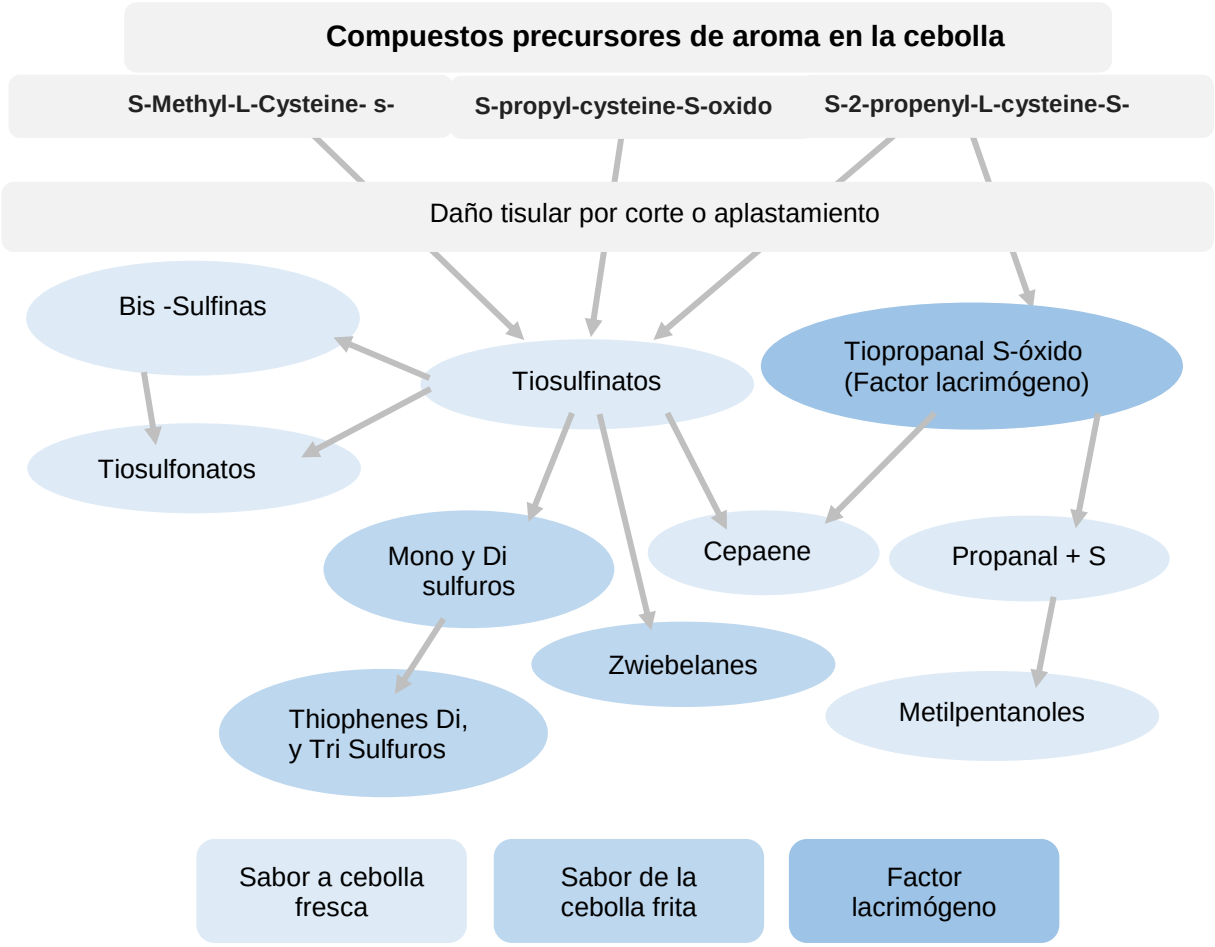
El ácido pirúvico constituye un producto secundario de la reacción enzimática generadora del flavor, por lo que su medición se asocia a la intensidad de la pungencia (Soto Vargas, Verónica Carolina; González, Roxana Elizabeth; Mirta Sance, María; Burba, José Luis; Beatriz Camargo, 2010). En la primera etapa la enzima allinasa controla la reacción produciéndose productos principales responsables de la pungencia y otras sustancias secundarias como el ácido pirúvico, alcoholes, azúcares y amonio, aunque también existe ácido pirúvico endógeno en los bulbos que tienen poca relación con la reacción de los compuestos de característica sulfurada. En la segunda reacción química, se producen niveles altos de compuestos volátiles sulfurados, como consecuencia de las diferentes reacciones de hidrólisis.

La acción de esta enzima da lugar a la formación del ácido pirúvico, del amoníaco y de los ácidos sulfínicos y por ello la pungencia en una cebolla se puede medir como la

cantidad de ácido pirúvico producido durante el proceso, aunque no es el compuesto que imparte la sensación picor en la boca. Uno de los compuestos volátiles formados es el sulfóxido de tiopropanal (Figura 3), que se disipa en el aire y cuando alcanza los ojos reacciona con el medio acuoso para formar una disolución poco concentrada de ácido sulfúrico (Raigón M.D y Navarro Calveras L, 2012).

La cantidad de ácido pirúvico total generado enzimáticamente tras el corte y homogenización de los componentes sulfurados intracelulares de la cebolla, es una buena medida de la acción de la allinasa sobre los precursores del sabor y además se ha demostrado que se correlaciona con la percepción de la pungencia de la cebolla (Raigón M.D y Navarro Calveras L, 2012).

Figura 3. Generación de los principales grupos de aroma en la cebolla



Fuente: Adaptado de Lister, 2007

Tasa de respiración de vegetales.

El procesamiento de frutas y vegetales frescos puede generar la pérdida de la protección natural de estos provocando ruptura celular, daño mecánico y exposición de compuestos intracelulares como las enzimas que pueden acelerar la tasa de respiración como consecuencia del estrés al cual es sometido el vegetal (Varoquaux & Wiley, 2017).

De acuerdo a los descrito por Meyer y sus colaboradores (1973), citado por (Fonseca, Oliveira, & Brecht, 2002; Mangaraj & Goswami, 2011) la respiración es un proceso metabólico que proporciona la energía para los procesos bioquímicos de la planta. Durante este proceso se sintetizan varios sustratos empleados en las rutas metabólicas entre los que están moléculas simples como el CO_2 y agua, así como la liberación de energía que se obtiene a partir de la oxidación de moléculas más complejas como lípidos, carbohidratos y ácidos orgánicos presentes en las plantas y al consumo de O_2 mediante reacciones enzimáticas como la glicólisis y el clico del ácido tricarboxílico (Fonseca et al., 2002).

Para determinar o medir la tasa de respiración en vegetales se emplean métodos como el de sistema cerrado estático, el de intercambio gaseoso continuo y el sistema permeable. El cerrado estático consiste en colocar los vegetales cortados o enteros en un recipiente de volumen conocido el cual se sella herméticamente (para evitar el intercambio de gases) quedando con la atmósfera del ambiente, en este tipo de sistema

se mide la concentración de O_2 y CO_2 en el tiempo con lo que se estima la tasa de respiración del vegetal. El sistema de intercambio de gases o flujo continuo se realiza en un recipiente hermético por el cual se hace pasar un flujo de gas a velocidad constante el cual es medido para evaluar las concentraciones de entrada y salida y su diferencial hasta que se llegue al estado estable del sistema. En el sistema permeable, los vegetales se colocan en un recipiente el cual consta de una base impermeable y una tapa de lámina impermeable a los gases de interés (Fonseca et al., 2002).

La cebolla de rama es una hortaliza muy perecedera debido a su contenido de humedad y alta tasa metabólica, sumado al deficiente manejo en postcosecha y transporte (González, Cáez, Moreno, Rodríguez, & Sotelo, 2012). El principal factor de estrés que experimentan los productos recién cortados son las heridas, las cuales causan algunos cambios fisiológicos y bioquímicos en los tejidos que pueden acelerar procesos de deterioro tales como pérdida de agua, pardeamiento oxidativo, pérdida de textura, desarrollo de sabores extraños, limitando la vida útil de productos recién cortados (Gil et al., 2006; Hodges & Toivonen, 2008). Adicionalmente, se ha descrito que el tipo de corte constituye un factor importante que puede afectar la calidad de los productos frescos cortados (Aguayo, E., Escalona, and V., Artés, 2004; Li et al., 2017; Rezzan, 2009). Aguayo y colaboradores (2004) reportaron que los cortes cilíndricos de melones almacenados por 10 días mostraron un menor grado de suavidad que las rebanadas y

los cortes trapezoidales, mientras que mostraron una mayor translucidez que los otros dos estilos de corte (Aguayo, E., Escalona, and V., Artés, 2004).

Por otro lado, se ha descrito que los productos frescos cortados generalmente tienen mayores tasas de respiración, transpiración, actividad enzimática y proliferación microbiana que la de productos frescos sin corte (Nguyen-the & Carlin, 1994).

El color de la cebolla de rama.

El color de los vegetales es un parámetro de calidad muy importante de decisión de compra por los consumidores (Varoquaux & Wiley, 2017). El color de los alimentos puede afectarse con los tratamientos de conservación aplicados a los alimentos (Koca, Karadeniz, & Burdurlu, 2006). El color verde es propio de las hojas de la cebolla de rama fresca (Lister, 2007), este pigmento es generado por la clorofila la cual se encuentra en los tejidos de los vegetales (Schmalko, Scipioni, & Ferreyra, 2007) de la cual existen dos tipos la a y la b las cuales absorben luz en longitudes de ondas diferentes (Lister, 2007).

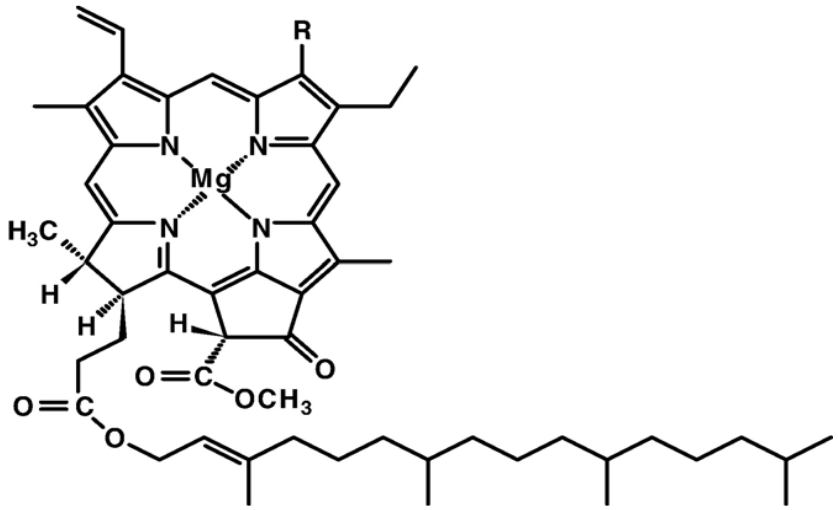
Recientemente ha incrementado el consumo de frutas y vegetales de color verde debido a los efectos de la clorofila sobre la salud, reportándose en algunas investigaciones efectos protectores contra algunas formas de cáncer por su capacidad de unirse a carcinógenos potenciales (aflatoxinas y aminas heterocíclicas), actividad antimutagénica y la inducción de apoptosis en células tumorales (Balder et al., 2006; Egner, Muñoz, & Kensler, 2003; Ferruzzi & Blakeslee, 2007; Lister, 2007). Por otro lado, se ha reportado que la clorofila consumida en los alimentos puede reducir la absorción

intestinal de mutágenos químicos potencialmente dañinos y carcinógenos (Hartman & Shankel, 1989; Natsume, Satsu, Kitamura, & Okamoto, 2004).

Estructura de la clorofila:

La clorofila es el pigmento más abundante en la naturaleza, está presente en casi todas las plantas y es responsable de la fotosíntesis (Fernandes Tais Motta, 2005). Químicamente está conformada por cuatro anillos de pirrol y un anillo isocíclico y contiene un átomo de magnesio en su interior (Ferruzzi & Blakeslee, 2007; Streit et al., 2015). En los vegetales superiores existen dos formas de la clorofila (a y b) encontrándose en una relación 3:1. La clorofila b difiere de la a debido a que tiene un grupo aldehído (-CHO) en lugar del grupo metil en el anillo II (Fernandes Tais Motta, 2005) (Figura 4).

Figura 4. Estructura de los derivados de clorofila que se encuentran en las plantas superiores. Clorofila a (R = CH3) y la clorofila b (R = CHO)



Fuente: Ferruzzi & Blakeslee, 2007

Degradación de la Clorofila.

La clorofila es susceptible a degradación debido a reacciones químicas y enzimáticas. La pérdida de calidad de la cebolla de rama durante el almacenamiento de vegetales se debe principalmente a la degradación de la clorofila ocasionándose un amarillamiento de las hojas (Temiz & Ayhan, 2017). Este deterioro puede ocurrir en los cloroplastos y vacuolas y puede acelerarse por almacenamiento a temperaturas superiores a las de refrigeración, como se referencia en el estudio realizado por Srilaong y col. (2013), quienes encontraron que las cebollas japonesas almacenadas a 25°C mostraron un color amarillento más rápido que las almacenadas a 4°C, esto debido a la

degradación de la clorofila en los cloroplastos. Otra causa de la decoloración de vegetales verdes durante el procesamiento es la conversión de clorofilas a feofitinas por la influencia del pH. Se ha reportado que el color verde de los vegetales se vuelve verde oliva cuando se calienta o se coloca en condiciones ácidas (Gunawan & Barringer, 2000).

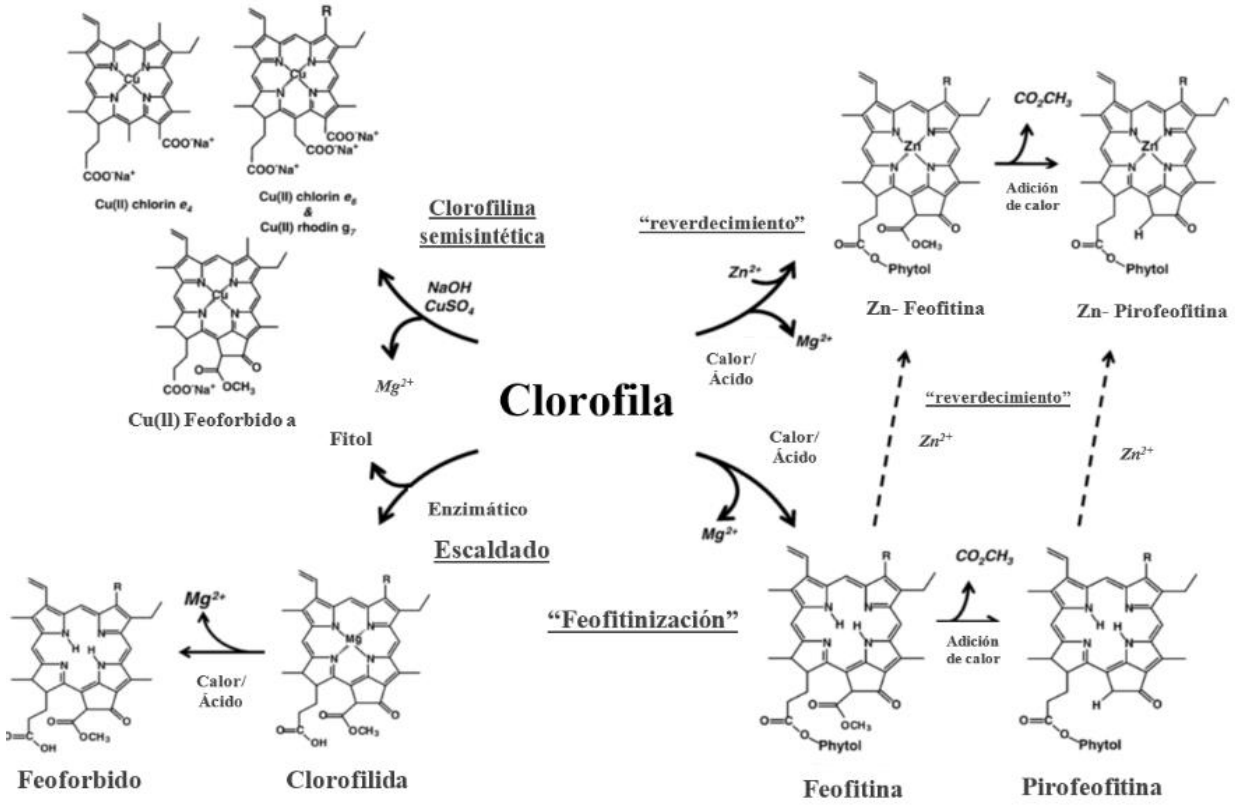
El deterioro de la clorofila puede darse por el daño de los tejidos durante procesos como el escaldado y secado, almacenamiento, por exposición al oxígeno, luz y pH lo que puede generar la pérdida del enlace con el átomo de magnesio (Mg^{2+}) del anillo de porfirina y sustituyéndolo por un átomo de hidrógeno generando la formación de feofitina (Koca et al., 2006; Schmalko et al., 2007; Xiaoli Li, Ruiqing Zhou, Kaiwen Xu 1, Jie Xu, Juanjuan Jin, Hui Fang, 2018), la cual es un pigmento de color marrón oliva (Kusmita, Puspitaningrum, & Limantara, 2015; Temiz & Ayhan, 2017) y que explica el cambio de la coloración observada que el consumidor percibe como una pérdida de calidad.

La clorofila también se ve afecta por la actividad enzimática de la clorofilasa, la cual se activa por procesos de escaldado, y es responsable de la remoción del fitol (desfitalización) dando como resultado la formación de clorofilidas (Fernandes Tais Motta, 2005) (Figura 5) las cuales son solubles en agua y se degradan más rápido por procesos térmicos y/o acidificación de pigmentos feoforbidos. Otra enzima, es la Mg-catalasa la cual elimina el magnesio produciendo feofitinas y feoforbidos. Una manera de conservar el color es mediante la adición de metales divalentes como el Zn^{2+} que

permite recuperar el color verde, esto debido a la generación de Zn-feofitina y Zn-pirofeofitinas (Ferruzzi & Blakeslee, 2007) (figura 5).

Como derivado de la Clorofila, se encuentran las clorofilinas, las cuales son un derivado sintético hidrosoluble. Para obtenerse, el núcleo central de magnesio de la clorofila es reemplazado por otro metal que puede ser hierro, cobalto o cobre, o el fitol es removido y sustituido por sodio o potasio, generándose una sal. La clorofilina cúprica de sodio es químicamente más estable bajo las condiciones de procesamiento de los alimentos y es empleada para mejorar el color verde de productos terminados (Fernandes Tais Motta, 2005; Ferruzzi & Blakeslee, 2007).

Figura 5. Reacciones de degradación y derivación de la clorofila



Fuente: Adaptado de Ferruzzi & Blakeslee, 2007

Productos perecederos y pérdida de la calidad de alimentos frescos

Los productos mínimamente procesados son uno de los sectores de la industria alimenticia que está creciendo alrededor del mundo. Sin embargo, por su forma de preparación especial, los productos mínimamente procesados son altamente

perecederos. Deben ser elaborados siguiendo procedimientos con controles estrictos para evitar la pérdida de calidad y asegurando un buen producto para el consumidor (Rodríguez, 2004). El consumo de productos de frutas y vegetales frescos cortados es una tendencia que se encuentra en gran expansión. Son productos frescos que se procesan con el objetivo de proveer al consumidor de un alimento listo para consumir y con características similares a los productos frescos.

El procesado mínimo comprende distintas operaciones unitarias que pueden ser clasificación, deshojado, pelado, deshuesado, cortado, lavado y desinfectado (Herreo & Avila, 2006). Los productos frescos cortados generalmente tienen mayores tasas de respiración que las de los productos intactos correspondientes. Las mayores tasas de respiración indican un metabolismo más activo y usualmente una tasa de deterioro más acelerada. También las altas tasas de respiración pueden resultar en una pérdida más rápida de ácidos, azúcares y otros componentes que determinan la calidad gustativa y el valor nutritivo (Pacheco, Restrepo, & López, 2011). La vida útil de los productos mínimamente procesados puede llegar a ser aproximadamente de 4 a 7 días, y hasta de 21 días.

Tecnologías de obstáculos para la conservación de los alimentos

La tecnología de obstáculos es una alternativa viable e innovadora en la conservación de mezclas de vegetales mínimamente procesados, gracias a que los tratamientos utilizados permiten conservar sus características fisiológicas, fisicoquímicas

y la calidad sensorial (Estela, Florez, & Pérez, 2014). Estas tecnologías implican la utilización de diferentes técnicas de conservación combinadas, actualmente entre las principales técnicas en estudio se puede destacar el empleo de disminución de actividad de agua, disminución de pH, procesos térmicos moderados, sustancias conservantes (Nguyen, Long, Rigalma, Coroller, & Dadure, 2017; Sánchez & María Rosa Casales y María Isabel Yeannes, 2010), atmósferas modificadas, la aplicación de tratamientos con luz ultravioleta, la adición de agentes estabilizantes de color y textura, la aplicación de antimicrobianos o el uso de recubrimientos comestibles (Rosana Rotondo; Jorge Adrián Ferratto e Inés Teresa Firpo, 2008).

Con la disminución de la a_w se pueden obtener productos con humedad intermedia y microbiológicamente estables, en especial en los vegetales, tiene importancia para prolongar el tiempo de vida útil, conservando sus características nutricionales y sensoriales, para este efecto se acompañan a las tecnologías de barrera con depresores de actividad de agua que permitan alcanzar la humedad deseada para cada especie.

Otras técnicas disponibles, son por ejemplo la impregnación a vacío, la cual consiste en el intercambio interno de gases ocluidos en la matriz de un producto por un líquido o solución escogida; este proceso trae como consecuencia la disminución de la actividad de agua (a_w) del alimento, ya que si se utiliza una solución concentrada de

soluto (solución osmótica), se obtiene un producto de humedad intermedia (Gómez, Fendel, Farías, Rafael, & Natera, 2013).

Los tratamientos térmicos son una alternativa para la conservación de los alimentos y su principal objetivo de todos los tratamientos térmicos es el de asegurar la destrucción de todos los microorganismos vivos que pueden deteriorar la calidad o perjudicar la salud del consumidor. Todos los tratamientos térmicos en los que se apliquen altas temperaturas y tiempos prolongados van a producir una destrucción de microorganismos y enzimas. Los que apliquen temperaturas altas, pero tiempos cortos consiguen lo mismo, salvo que, se conservan mucho mejor las características organolépticas del alimento.

El escaldado es una operación que precede los procesos como pasteurización, congelación, esterilización, entre otros (Becerra, 2016; Ortega-quintana, Pérez-sierra, & López-acosta, 2017), Con esta operación se busca la inactivación de enzimas que pueden afectar el color, sabor y textura (Pinchao & Andrade, 2016), aunque no produce una destrucción fuerte de microorganismos. Se realiza con vapor de agua o agua caliente a una temperatura de 85-95ºC/ 5 minutos. Otro objetivo de este proceso es la eliminación del aire intracelular, prevenir la oxidación de los compuestos durante el almacenamiento, y puede ayudar a reducir la carga microbiana. Aunque este proceso presenta las ventajas anteriormente descritas, es importante resaltar que con el escaldado se puede generar

pérdida de la textura, cambio de color, pérdida de sabor, deterioro de algunas vitaminas termolábiles y el deterioro de la clorofila a feofotinas (Becerra, 2016).

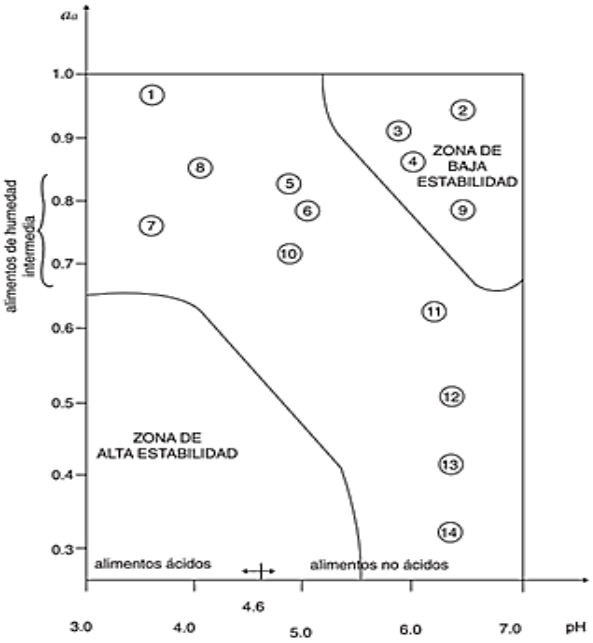
Actividad de agua y estabilidad de alimentos de humedad intermedia.

Los alimentos tienen entre sus componentes el agua, la cantidad influye en sus características reológicas, coligativas y de textura, así mismo, en las reacciones químicas, físicas, enzimáticas y microbiológicas. El estado energético del agua varía de acuerdo a la composición total del alimento, por tanto, el agua de un mismo producto no presenta las mismas propiedades fisicoquímicas. De acuerdo a lo anterior, el agua se encuentra en los alimentos como libre y ligada. El agua ligada es no congelable a – 20°C y está fuertemente unida al alimento por puentes de hidrógeno, no tiene movilidad ni difusión. Por otra parte, el agua libre es llamada agua congelable o agua capilar, es fácilmente volatilizable, perdiéndose por procesos de calentamiento, además es la principal responsable de la actividad de agua (a_w) (Badui Dergal, 2013).

La a_w está influenciada por los múltiples constituyentes en el alimento y la interacción de estos con el agua. Termodinámicamente y de forma ideal, la a_w es aproximadamente proporcional a la presión de vapor relativa de las moléculas de agua de un alimento en el espacio de cabeza de un recipiente cerrado, comparada con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, luego de alcanzar el equilibrio (Badui Dergal, 2013; Syamaladevi et al., 2016). Por otra parte, es un parámetro práctico de fácil medición y bajo costo, utilizado para categorizar la seguridad de los alimentos.

Su valor varía desde cercanos a cero para productos secos hasta 1.0 para el agua pura. De acuerdo a la a_w de un alimento se puede conocer su estabilidad, en frutas, hortalizas y carnes pueden llegar a ser de 0.97; mientras que para deshidratados puede estar entre 0.3 a 0.6, entre más cercano sea el valor a 1.0 mayor es su inestabilidad (Figura 6), es por ello que las frutas y vegetales frescos necesitan ser almacenados en refrigeración para su conservación, es por ello que los alimentos con a_w intermedia pueden llegar a ser estables a temperatura ambiente.

Figura 6. Zonas de estabilidad de los alimentos



1. Frutas y hortalizas enlatadas, 2. Leche y carnes frescas, 3. Quesos con alto contenido de agua, 4. Jamones, 5. Embutidos fermentados, 6. Quesos con bajo contenido de agua, 7. Mermeladas, 8. Salsas de tomate, 9. Leche condensada y jarabes, 10. Frutas secas, 11. Miel, 12. Pastas de trigo, 13. Galletas secas (productos con 5% de humedad) y 14. Leche deshidratada (productos con

Fuente: Badui Dergal, 2013

Los alimentos de humedad intermedia son en general microbiológicamente estables, tienen una larga vida de anaquel y no necesitan de rehidratación para su uso o de refrigeración para su conservación (Vermeulen, Marvig, Daelman, Xhaferi, & Nielsen, 2014) y presentan un contenido de agua entre 25 al 50% (base seca) y están generalmente en el rango de 0,60 a 0,86 de actividad de agua (Alarcón, 2007; Figuerola, Estévez, & Avendaño, 2008). Estos alimentos se obtienen retirando parte del agua

contenida o adicionándoles solutos hidratantes capaces de retener el agua y con ello disminuir la a_w (Córdoba, 2015), como lo son los depresores de actividad ya que disminuyen la disponibilidad de agua en el alimento. El valor de 0.86 para la a_w se toma como límite, ya que es suficiente para inhibir bacterias patógenas, como el *Staphylococcus aureus*, aunque es insuficiente para evitar hongos y levaduras, por lo que en su elaboración se añaden sorbatos y benzoatos (Badui Dergal, 2013). Muchas frutas y verduras mínimamente procesadas tienen a_w de 0,98 o mayor, siendo muy susceptibles a deterioro, por tanto, la reducción de a_w es una medida para controlar la actividad microbiana y enzimática y conservar la calidad de los vegetales similares al producto fresco (Varoquaux & Wiley, 2017).

Una de las alternativas tecnológicas para la reducción de la actividad de agua en vegetales es el uso de solutos con capacidad osmótica como las sales (Rahman, 2008). Los solutos con un bajo peso molecular son empleados en la industria alimentaria para reducir la a_w, estos se seleccionan teniendo en cuenta su eficiencia, solubilidad, sabor, compatibilidad con el resto de componentes, estabilidad, pH, costo, regulación, etc. Entre los cuales se encuentran azúcares como la sacarosa, glucosa, fructosa, maltosa, lactosa, sales como cloruro de sodio, principal depresor de a_w (Nguyen et al., 2017), cloruro de potasio, fosfatos, polialcoholes como el sorbitol, glicerina, propilenglicol y el manitol, además son empleados ácidos como el fosfórico, cítrico, láctico, fumárico y ascórbico e hidrolizados de proteínas. Los solutos osmóticos pueden contribuir al mejoramiento de

propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales en los alimentos, como minimizar la afectación a la textura y el color tras tratamientos térmicos (Rastogi, Raghavarao, & Niranjan, 2005). Los agentes osmóticos más comúnmente utilizados son sacarosa para frutas y cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes (Rahman, 2008).

La adición de solutos osmóticos a un alimento forma un gradiente de concentración con el fluido intracelular, que genera una fuerza motriz capaz de desplazar el agua hacia el exterior de las células a través de las membranas semipermeables (Rahman, 2008; Rastogi et al., 2005). Las sales minerales como el cloruro de potasio, magnesio y sodio, tienen la capacidad de reducir el contenido de agua libre en los alimentos. Especialmente los iones Na^+ y Cl^-, del cloruro de sodio, se unen alrededor de dos moléculas de agua en solución, haciéndolo capaz de disminuir la actividad de agua (Albarracín et al., 2011; Polatoğlu et al., 2011).

Metodología

Evaluación de las características fisicoquímicas y sensoriales de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

Caracterización del material Vegetal.

Se empleó cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) de las variedades Junca y Veleña (procedentes de Antioquia, Colombia), Las muestras fueron lavadas, desinfectadas y almacenadas entre 0 a 4°C por un tiempo máximo de 24 horas hasta su procesado. Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de cada cebolla se realizaron mediciones de pH, % acidez y sólidos solubles (ºBrix), actividad de agua, color instrumental, pungencia y la tasa de respiración del vegetal. Los análisis fueron realizados sobre la cebolla completa (tallo y hojas) y en tallos y las hojas del vegetal de manera independiente.

Determinación de pH, acidez titulable, contenido de sólidos solubles:

La determinación del pH se efectuó a 20°C sobre las muestras trituradas y empleando un potenciómetro con electrodo de vidrio (Handylab pH/LF 12, SCHOTT INSTRUMENTS®). Los resultados se expresaron en unidades de pH. La acidez titulable se determinó mediante titulación volumétrica con NaOH al 0.1 N. A partir de 100 g de muestra homogenizada se tomaron 2 g de zumo y se diluyeron en 250 mL de agua destilada para su posterior titulación con la base hasta viraje color rosa pálido o pH 8.1. La acidez se expresó como porcentaje de ácido málico. El contenido de los sólidos

solubles de cebolla fresca, se determinaron a temperatura de 20°C empleando un refractómetro digital (Atago® Co., Ltd. Japón). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis de Color:

El color de los vegetales es un parámetro de calidad muy importante, que puede afectarse con los tratamientos de conservación térmicos o no térmicos aplicados a los alimentos (Koca et al., 2006). La medición de los valores de color, CIE (Commission Intl. De l'Eclairage) L *, a *, b *, se realizó empleando un espectrofotómetro X- RITE serie SP60. Las lecturas se realizaron directamente sobre las muestras empleando una combinación del iluminante/observador D65 y / 10 °. Los valores registrados de L *, a * y b * correspondieron al promedio de 3 determinaciones tomadas para cada muestra.

Determinación de la pungencia:

Se determinó de acuerdo al método descrito por Schwimmer y Weston (1960) y modificado por Boyhan et al. (1999). Para la preparación de la muestra se seleccionaron 200g de cebolla fresca y en las mejores condiciones, se cortó en pedazos y se procesó hasta obtener una pasta homogénea, se pesaron 3g y se mezclaron con 80mL de agua, nuevamente se procesó para homogenizar la muestra, posteriormente se aforó hasta 100mL, se agitó y se pensaron 15mL de la suspensión a centrifugar por 20 minutos a 2500rpm con el sobrenadante que se obtuvo se procedió a la realización de la prueba.

Se tomaron 500 µl de la muestra preparada y se le adicionaron 500 µl de DNPH (2,4Dinitrofenilhidrazina 0,250g/L) en ácido clorhídrico al 2 M (16,9% del HCl 37%1,19g/mL), se agitaron e incubaron a 37ºC por 10 minutos. Posteriormente se adicionaron 1000µl de NaOH 1,6 M, y se realizó la lectura del cambio de color con un espectrofotómetro UV-Vis a una absorbancia de 420 nm, se empleó un blanco de reactivos para corrección de las lecturas. Para la construcción de la curva se empleó como patrón piruvato y se aplicó el mismo procedimiento anteriormente descrito. La concentración de piruvato en las muestras de cebolla se determinó empleando curvas de calibración obtenidas con un patrón de piruvato. Los resultados se expresaron como µmol de piruvato/g cebolla.

Tasa de respiración:

Fue medida de acuerdo a la metodología descrita por Han et al. (2016) con ciertas modificaciones. La tasa de respiración fue medida como el consumo de O_2 y la producción de CO_2 en el espacio de cabeza del envase, para lo cual se empleó un analizador de gases (PBI DanSensor CheckMate II, Dinamarca). Los ensayos fueron realizados de la siguiente manera: aproximadamente 70 g de cebolla cortada en rodajas y 100 g de cebolla fresca cortada en bastones se colocaron independientemente en frascos de vidrío con volumen de 636 mL. Los frascos fueron cerrados herméticamente y almacenados entre 0 a 4°C. las mediciones iniciaron una hora después de almacenadas y continuaron cada 1 ½ hora. Cada tratamiento se realizó por triplicado y

la tasa de respiración se expresó µmol CO_2 kg^{-1} h^{-1}. Las tasas se calcularon ajustando los datos experimentales a las ecuaciones (1) y (2).

$$RO_2 = \frac{1x10^4\ x\ \left(y^i_{O_2} - y^i_{O_2}\right)\ x\ V_f\ x\ P}{M\ x\ \left(t_f - t_i\right)\ x\ R_c\ x\ (T + 273.15)} \qquad (1)$$

$$RCO_2 = \frac{1x10^4\ x\ \left(y^i_{CO_2} - y^i_{CO_2}\right)\ x\ V_f\ x\ P}{M\ x\ \left(t_f - t_i\right)\ x\ R_c\ x\ (T + 273.15)} \qquad (2)$$

Donde $y^i_{O_2}$, $y^i_{CO_2}$, $y^f_{O_2}$ y $y^f_{CO_2}$ son respectivamente la concentración volumétrica (%v/v) de O_2 y CO_2 en la atmósfera en el tiempo inicial t_i (h) y tiempo final t_f (h), M:masa del producto (kg), V_f : volumen libre dentro del frasco (m^3), P: presión total (Pa), R_c:constante universal de los gases, (j mol^{-1} K^{-1}) y T: temperatura (°C).

Calidad Sensorial:

La calidad sensorial fue evaluada por un panel sensorial de seis jueces entrenados con conocimiento en vegetales mínimamente procesados. Las dos variedades de cebollas rama y los tipos de cortes se empacaron por independiente en bolsas flexvac por 100 g, se almacenaron a 0 a 4°C y se evaluaron en diferentes tiempos.

La evaluación de la aceptación o rechazo de la calidad general se realizó según las especificaciones dadas en las normas técnicas colombianas 3932 de 1996 y 5328 de 2004. En el análisis se tuvieron en cuenta los cambios de apariencia visual, color, aroma, sabor y aceptación durante el tiempo de almacenamiento. Los descriptores se calificaron en una escala lineal continúa estructurada de diez puntos, donde:10, muy marcado (característico del producto, apariencia, color, aroma y sabor); 8, marcado (pérdida leve

de frescura, color, sabor, aroma); 6, moderado (mayor pérdida de agua, frescura, sabor y aromas); 5, (límite de usabilidad, leve sabor objetable); 4, leve (sabor y aroma desagradable, pardeamiento, apariencia poco característica al producto fresco); 2, muy leve (muy deteriorado en apariencia, frescura, sabor y aroma) y 0, ausencia (sabor desagradable, deshidratación, pardeamiento, calidad no consumible).

Determinación el efecto de tratamientos térmicos sobre la pungencia de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

Para evaluar la perdida de la pungencia característica en las dos variedades de cebolla de rama, se evaluó el tiempo y temperatura de contacto del producto con el agua. Para el proceso, las muestras de cebolla de rama fueron inicialmente lavadas, desinfectadas (inmersión en solución de citrosan 3mL/L agua) y cortadas en trozos de aproximadamente 1,0 cm.

Previo a ensayos no reportados en este trabajo se seleccionaron las temperaturas de proceso de 100°C, 70°C y 62°C y tiempos 120, 60 y 30 segundos. La cebolla de rama troceada se sumergió en agua bajo cada una de los tratamientos, este proceso se realizó en plancha de inducción donde se controló la temperatura del agua y se verificó adicionalmente con termómetro. Después de cada tratamiento las muestras fueron escurridas, colocadas en bandejas metálicas perforadas y llevadas a un ultra congelador por tiempo de 4 a 5 minutos para disminuir rápidamente su temperatura hasta 4°C. Las muestras fueron empacadas en bolsas y almacenadas en refrigeración por tiempo no

mayor a 24 horas hasta su análisis. El análisis de pungencia se realizó según la metodología anteriormente descrita.

Determinación el efecto de los aditivos alimentarios sobre la actividad de agua, pH, pungencia y el color de la cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

La cebolla rama es una hortaliza muy perecedera debido a su alto contenido de agua, la cual puede ser de hasta un 90% y actividad de agua cercana 0,990. Como alternativa tecnológica se pueden emplear mezclas de sales que por su capacidad osmótica pueden reducir la actividad de agua y ayudar a fijar el color de los vegetales. Para determinar el efecto de la mezcla de sales sobre la disminución de la actividad de agua y la fijación del color evaluado mediante la coordenada a* de color CIEL*a*b* se utilizó la metodología de superficie de respuesta. La mezcla de sales de cloruro de sodio, cloruro de potasio y carbonato de magnesio fueron los factores evaluados respecto a la actividad de agua, coordenadas de color, pH y pungencia en la pasta de la cebolla de rama.

Preparación de la muestra y mezcla de sales.

Las muestras de cebolla de rama fueron lavadas, desinfectadas y almacenadas entre 0 a 4°C por un tiempo máximo de 24 horas hasta su procesado. La cebolla fue picada con la ayuda de un procesador de alimentos hasta obtener una pasta. Las sales de NaCl, KCl y MgCO3 fueron pesadas y mezcladas antes de incorporar a la pasta de cebolla de rama, se adicionaron en cantidades de 15.5 – 31.0 (g/100g), 0.2 – 0.5 (g/100g)

y 0.2 – 0.5 (g/100g) respectivamente, de acuerdo con el diseño experimental (tabla 1). Posteriormente cada uno de los tratamientos se empacaron en bolsas flexibles de 70 micras y se sometieron a un tratamiento térmico a 65°C por un tiempo de 30 segundos para disminuir carga microbiana. Una vez terminado llevadas a un ultra congelador por 1 a 2 minutos para disminuir rápidamente la temperatura hasta 18 a 20°C. Los análisis de actividad de agua, pH, pungencia y el color se realizaron en un tiempo no mayor a 24 horas luego del proceso.

Optimización de la aplicación de los aditivos alimentarios en la pasta de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

Para la optimización de la aplicación de las sales se analizaron las variables respuestas a_w, coordenadas de color L*, a*, b*, pH y pungencia de la siguiente manera: valores mininos para la a_w, pH y coordenadas de color a*y b* y valores máximos obtenidos para la coordenada L* y pungencia.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de todos los datos de esta investigación se realizaron con el paquete STATGRAPHICS® Centurion XVI.

Para el análisis de las características fisicoquímicas y fisiológicas de las dos variedades de cebolla se realizó un análisis de varianza de una vía para determinar las diferencias entre las muestras de cebolla junca y veleña.

Para analizar el efecto de los dos estilos de corte sobre la pungencia, pH y sólidos solubles de hojas y seudo tallo de las dos variedades de cebolla de rama de empleo un diseño estadístico 2x2x2. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza multivariado (ANOVA) con la variedad, parte de la planta (hoja y/o tallo) y la forman de corte como factores.

Para determinar el efecto de los tratamientos térmicos el análisis de las muestras se realizó un diseño factorial 2^3 completamente aleatorizado. Cada tratamiento y sus mediciones se realizaron por triplicado, y los datos fueron expresados como promedio ± desviación estándar. Se realizaron pruebas de diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher y la corrección Bon-ferroni para comparar las diferencias entre las medias con un nivel de confianza del 95%.

Para evaluar el efecto de las sales en la pasta de cebolla de rama, se utilizó un diseño de superficie de respuesta central compuesto rotable en 2 bloques. El diseño estadístico de este trabajo consistió en un diseño factorial 2^3 con seis puntos axiales o estrellas y cuatro puntos centrales y valor α de 1,6817 por ser un diseño con tres factores. En total obtuvieron dieciocho combinaciones, como se muestra en la (Tabla 1). En este tipo de diseño con puntos axiales o puntos estrellas permiten explorar el área de trabajo y estimar si existe algún tipo de comportamiento no lineal en el espectro de trabajo respecto a la variable respuesta.

El desarrollo de los modelos estadísticos (Ecuación (3)) (de Oliveira, Corrêa, de Angelis Pereira, de Lemos Souza Ramos, & Vilela, 2016) que describen las relaciones entre las variables dependientes y las independientes, se realizó con el paquete estadístico anteriormente descrito.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum\sum_{i<1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j \qquad (3)$$

Donde Y es la variable de respuesta y x corresponde a las variables codificadas, con el subíndice i a k. β_0 representa la constante del modelo. β_i es el coeficiente de los términos lineales, β_{ii} es el coeficiente de los términos cuadráticos, y β_{ij} es el coeficiente de los términos de interacción.

Tabla 1. Diseño de experimentos central compuesto rotable

Tratamiento	Factores[a]		
	Cloruro de sodio (x_1)[b]	Cloruro de potasio(x_2)[b]	Carbonato de magnesio (x_3)[b]
1	31,00	0.50	0.20
2	15,50	0.20	0.20
3	23.25	0.35	0.35
4	31.00	0.20	0.20
5	15.50	0.50	0.20
6	15.50	0.20	0.50
7	23.25	0.35	0.35
8	15.50	0.50	0.50
9	31.00	0.20	0.50
10	31.00	0.50	0.50
11	23.25	0.35	0.35
12	37.11	0.35	0.35
13	23.25	0.35	0.62
14	23.25	0.62	0.35
15	9.39	0.35	0.35
16	23.25	0.08	0.35
17	23.25	0.35	0.08
18	23.25	0.35	0.35

[a] El total de 18 tratamientos se realizaron aleatoriamente
[b] g/100 g pasta de cebolla de rama

Las variables de respuesta y del diseño compuesto central en 2 bloques se calcularon mediante regresión múltiple y las ecuaciones de superficie de respuesta se obtuvieron utilizando un modelo definitivo que consideró solo la influencia de factores significativos ($p \leq 0.05$). Las superficies de respuesta se graficaron representando la variable dependiente en función de las variables independientes. El análisis de varianza (ANOVA), la falta de ajuste, la determinación de los coeficientes de regresión y

generación de gráficos tridimensionales se realizaron con el paquete estadístico STATGRAPHICS® Centurion XVI.

Para la optimización de las respuestas y determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimicen las variables respuestas en máximos o mínimos se utilizó la técnica numérica. Adicionalmente, para a_w y a* se usó la función de deseabilidad (D) en el modelo matemático de optimización para convertir cada respuesta individual y_n en una función de deseabilidad. Para todas las funciones de deseabilidad (D), está se define por $D = (d_1, d_2, d_3, ...d_n)$ (ecuación 4), e igual a la media geométrica de las funciones individuales de deseabilidad, las cuales varían de 0 a 1, siendo $d_n = 1$, si la respuesta está fuera de una región aceptable y $d_n = 0$, si cada respuesta es estándar en las funciones deseadas.

$$D = (d_1 \times d_2 \times d_3 \times \ldots \times d_n)^{1/n}$$

(4)

Los valores óptimos de los factores son determinados desde valores individuales de funciones de deseabilidad que maximizan D, los valores altos de D indican las mejores funciones del sistema, por lo tanto, el valor más alto de D se puede considerar como la solución óptima de este sistema.

Para la validación de la optimización obtenida previamente para a_w y a*, se preparó una pasta de cebolla de rama aplicando los valores óptimos de deseabilidad, y se compararon los valores de a_w y a* predichos por el modelo y los experimentales para

calcular el factor de sesgo (F_S) y el factor de precisión (F_P) (Diniz, Rodrigues, Fietto, Passos, & Silveira, 2013; Fernandes de Oliveira, Gomes Correa, Cardoso de Angelis Pereira, De Lemo Souza Ramos, & Barbosa Vilela, 2016; González et al., 2012; Pin & Ross, 1999; Zwietering, 1999) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$F_S = 10^{(\sum \log(P/O)/n)} \quad (5)$$

$$F_P = 10^{(\sum |\log(P/O)|/n)} \quad (6)$$

Donde P son los valores predichos y O los experimentales, n es el número de experimentos empleados para el cálculo. El F_S expresa la desviación de los valores predichos y los experimentales. Un F_S <1, indica que los valores experimentales son mayores a los predichos, es decir, que los valores predichos tienen un margen de seguridad (Zwietering, 1999). El factor de precisión evalúa que tan cerca, en promedio, están los valores predichos de los experimentales, si el modelo tiene precisión adecuada los valores deben estar cercano a 1 (Diniz et al., 2013; Zwietering, 1999).

Resultados y discusión

Evaluación de las características fisicoquímicas, fisiológicas y el efecto corte de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

Caracterización de dos variedades de la cebolla de rama.

En la Tabla 2 se presentan las características físicas y fisicoquímicas según la variedad de la cebolla. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades junca y veleña en cuanto al ancho de la hoja, largo y diámetro del tallo, siendo estas características mayores en la variedad veleña, a pesar de no encontrarse diferencia en el largo total del vegetal. Las diferencias entre variedades pueden deberse principalmente a las particularidades genéticas de cada variedad, a pesar de pertenecer a una misma especie (Brewster, 2008). Las condiciones climáticas durante el crecimiento pueden influir de manera natural en el desarrollo de la planta, así como el contenido de sustratos energéticos y la asimilación de carbohidratos (Abdissa, Tekalign, & Pant, 2011; Brewster, 1990; Moretti, Mattos, Calbo, & Sargent, 2010).

En cuanto a los valores de pH estos fueron significativamente más bajos en la variedad Veleña. Estos valores hallados de pH están en concordancia con la literatura ya que los valores típicos para cebolla se encuentran entre 5-6 (Bahram-Parvar & Lim, 2018). No se encontraron diferencias entre los valores de porcentaje de acidez y sólidos solubles entre las variedades. Los valores de sólidos solubles encontrados son más bajos respecto a los reportados en otros estudios realizados en cebolla de bulbo, los

cuales alcanzan valores entre 7-10 (Berno, Tezotto-Uliana, dos Santos Dias, & Kluge, 2014; Han et al., 2016).

Tabla 2. Características físicas y fisicoquímicas de la cebolla rama según la variedad.

Características	Variedad Junca	Variedad Veleña	Valor p
Largo de hoja (cm)	52,25 ± 3,11[a]	52,06 ± 6,69[a]	0,919
Ancho de la hoja (cm)	1,40 ± 0,24[a]	1,70 ± 0,23[b]	0,003
Largo del tallo (cm)	19,14 ± 0,96[a]	23,84 ± 3,03[b]	0,00
Diámetro del tallo (cm)	1,18 ± 0,15[a]	1,49 ± 0,26 [b]	0,037
Largo total (cm)	77,33 ± 6,94[a]	80,28 ± 4,43[a]	0,161
pH	5,76 ± 0,08[a]	5,67 ± 0,06[b]	0,015
Porcentaje de acidez*	0,154 ± 0,013[a]	0,174 ± 0,039[a]	0,189
Sólidos solubles	4,34 ± 0,69[a]	4,83 ± 0,89[a]	0,213
Pungencia (µmol de piruvato/g)	42,19 ± 12,30 [a]	33,23 ± 10,528[b]	0,00

Los datos se expresan como la media ± DE (n=9). Diferentes letras indican valores estadísticamente significativos para el mismo parámetro.
*Acidez expresada en g ácido málico / 100g muestra

Una de las características de la cebolla, que la distingue de otras especies vegetales es su pungencia. El ácido pirúvico, un producto generado por la actividad enzimática, se reconoce como indicador de pungencia y un índice de sabor en cebollas (Bahram-Parvar & Lim, 2018; Berno et al., 2014). Los valores hallados para la variedad Junca fueron significativamente más altos que en la variedad Veleña, con valores de 42,19 y 33,23 µmol/g respectivamente. Estos valores hallados, son altos comparados con los reportados para otras especies y variedades de cebolla. Algunos autores han reportado valores de entre 3-9 µmol/g para cebolla morada (*A. cepa* L., cv. Crioula Roxa) (Berno et al., 2014) y 2-4 µmol/g para cebolla spring (*Allium cepa* L.) (El-Hadidy, Mossa,

& Habashy, 2014). De acuerdo al nivel de pungencia, las cebollas pueden clasificarse en dulces, suaves y fuertes.

Generalmente, se ha encontrado una correlación entre los niveles de ácido pirúvico en el bulbo y la percepción humana de la fuerza de pungencia. Los rangos promedio de niveles de ácido pirúvico en estas categorías reportados son <4.0, 4.0-7.0 y superiores a 7.0 µmol de ácido pirúvico por gramo en peso fresco, respectivamente (Bath, Desai, & Suleiman, 2010). Por lo anterior, se podría considerar a las variedades Junca y Veleña como de alta pungencia.

Los resultados fisicoquímicos de hojas y tallos de ambas variedades se encuentran en la (Tabla 3). Se halló que tanto en la variedad Junca como en la Veleña, los valores de pH, acidez y solidos solubles son más altos en tallos que en hojas. Esto debido posiblemente a una mayor densidad de tejido vegetal en esta sección de la planta, lo que conlleva a una mayor acumulación de sustratos metabólicos (Brewster, 1990, 2008). Los valores de la luminosidad (L*), fueron mayores en tallos. Esto se ve favorecido gracias a la baja concentración de clorofila en el tallo de la cebolla (El-Hadidy et al., 2014).

Valores de L* entre 55 y 35 han sido reportados para cebolla de purpura (Berno et al., 2014). Mientras que valores entre 55-56 se han reportados para cebolla española amarilla (*A. cepa* L.) (Page, González-Buesa, Ryser, Harte, & Almenar, 2016). El valor a* (- indica tendencia al color verde), fue menor en las hojas que en los tallos, ya que la

mayor cantidad de clorofila de la cebolla se concentra en las hojas (El-Hadidy et al., 2014). El valor b*, que indica que tan azul o amarillo tiende a ser un color, presentó valores positivos lo que indica su afinidad con el color amarillo. Estos valores fueron mayores en la variedad Junca respecto a la Veleña.

Tabla 3. Características fisicoquímicas de la hoja y tallo de la cebolla de rama según la variedad del vegetal

Características		Variedad Junca		Variedad Veleña	
		Hoja	Tallo	Hoja	Tallo
pH		5,41 ± 0,30[a]	5,79 ± 0,02[b]	5,44 ± 0,05[a]	5,86 ± 0,15[b]
Porcentaje de acidez		0,144 ± 0,01[a]	0,162 ± 0,01[a]	0,141 ± 0,06[a]	0,163 ± 0,02[a]
Sólidos solubles		3,05 ± 0,16[a]	4,50 ± 0,55[b]	3,38 ± 0,15[a]	4,77 ± 0,12-[b]
Pungencia (µmol de piruvato/g cebolla)		38,65 ± 4,09 [a]	32,47 ± 8,19 [a]	17, 86 ± 6,23 [b]	22,59 ± 5,18 [b]
Coordenadas de Color	L*	44,57 ± 0,01[a]	64,63 ± 2,20[b]	34,42±7,17[c]	82,49 ± 5,39[d]
	a*	-10,52 ± 0,42[a]	-4,69 ± 0,69[b]	-5,41±7,10[c]	-2,98 ± 0,36[b]
	b*	25,01 ± 3,69[a]	21,74 ± 0,51[b]	14,44±1,83[c]	19,71 ± 6,30[b]

Los datos se expresan como la media ± DE (n=3). Diferentes letras indican valores estadísticamente significativos para el mismo parámetro.

Influencia la variedad, parte del vegetal y el estilo de corte sobre la velocidad de respiración.

La cebolla mínimamente procesada continúa siendo tejido vivo, por tanto, el O_2 y CO_2 están relacionados con el estado metabólico y varían en el espacio de cabeza del empaque. Las heridas causadas por el procesamiento pueden influir en la tasa de respiración, así como el aumento de temperatura y el crecimiento microbiano (Bahram-Parvar & Lim, 2018; Fonseca, Gil, Manso, & Cunha, 2018).

El estilo de corte y la variedad influenciaron en la tasa de respiración de hojas, tallos y mezcla (figuras 7 y 8). El corte en rodajas presentó mayor tasa de respiración en cada tratamiento analizado (Tabla 4). Este aumento puedo deberse a una mayor intensidad en el corte del tejido, lo que ocasiona mayor estrés y aumento en el metabolismo celular (Bahram-Parvar & Lim, 2018; Han et al., 2016). La respuesta a la herida del tejido recién cortado está influenciada por factores de especie y variedad del vegetal (Temiz & Ayhan, 2017). Seefeldt, Løkke, & Edelenbos (2012) encontraron que las tasas de respiración difieren entre las cuatro variedades de brócoli estudiadas. En tres variedades de albaricoque, se encontraron diferencias varietales de hasta 60% en las tasas de respiración (Pretel, Souty, & Romojaro, 2000).

Además, se observó mayor tasa de respiración en hojas que en tallos, estas diferencias podrían deberse a una respuesta fisiológica distinta ocasionada por las diferencias naturales del tipo de tejido (Temiz & Ayhan, 2017). Durante las primeras

horas después del corte en el estudio de respiración, las cebollas veleña y Junca presentan una mayor tasa de respiración alcanzado niveles entre 2000-3500 µmol/ Kg*h y 4500-5000 µmol/ Kg*h respectivamente, estos niveles elevados serian una respuesta primaria, consecuencia del daño de tejido y a varios cambios químicos asociados con reacciones fisiológicas que se estimulan por el corte (Bahram-Parvar & Lim, 2018).

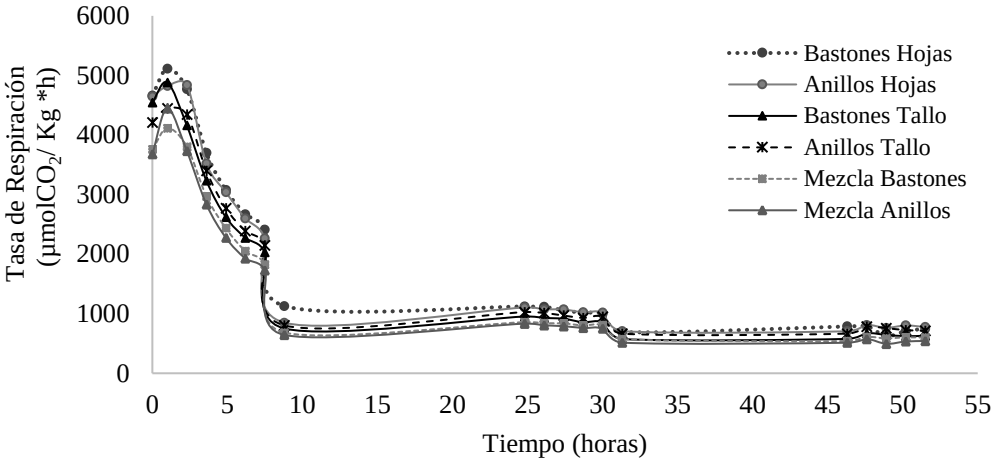
El comportamiento en la tasa de respiración para las dos variedades fue decreciente durante el almacenamiento a 4°C, hasta alcanzar valores casi estables. Este comportamiento, podría deberse en parte a una autorregulación de la actividad respiratoria del tejido causada por la gran producción de adenosín trifosfato (ATP) (del Aguila et al., 2006). Así mismo, el comportamiento puede generarse como consecuencia de una disminución en las reacciones enzimáticas y sustratos respiratorios presentes en células lesionadas en la superficie del tejido (del Aguila et al., 2006). Un comportamiento similar en la respiración ha sido reportado para Rábano (*Raphanus sativus* L., CV. Crimson Gigante) (del Aguila et al., 2006) y Melón “Amarillo” (*Cucumis melo var. saccharinus*) (Aguayo, Escalona, & Artés, 2007) refrigerados, durante las primeras horas de almacenamiento.

Tabla 4. Tasa de respiración de las dos variedades de cebolla de rama en dos estilos de corte

Estilos de corte /parte del vegetal	Tasa de Respiración µmol/ Kg*h	
	Veleña	Junca
Bastones de Hojas	706 ± 63	899 ± 90
Rodajas de hojas	887 ± 31	892 ± 53
Bastones de Tallos	609 ± 23	749 ± 45
Rodajas de tallos	725 ± 29	833 ± 36
Bastones mezcla de tallos y hojas	628 ± 16	695 ± 23
Rodajas mezcla de tallos y hojas	755 ± 44	646 ± 32

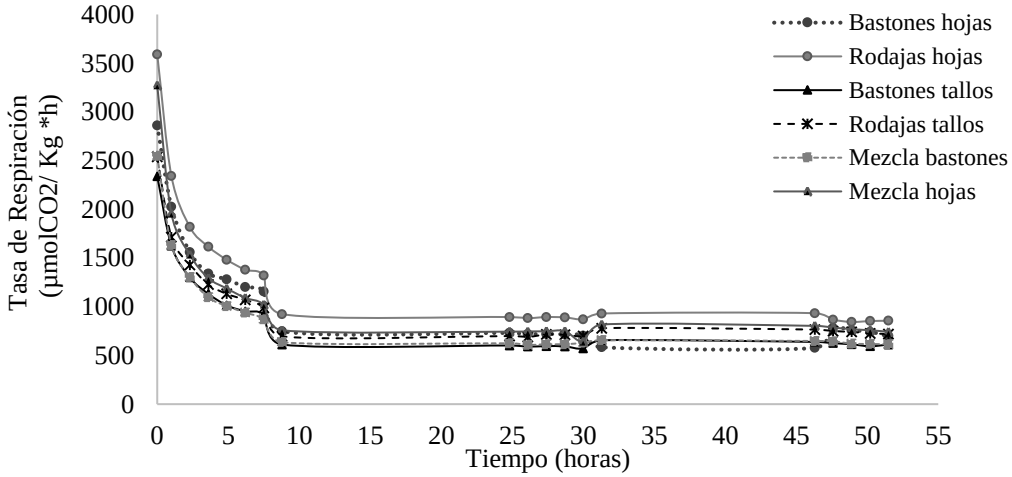
Valores similares han sido reportados para cebolla roja en cubitos (*Allium cepa* L.*, cv. Vermelha da Póvoa*) con valores entre 200 - 1500 µmol/ Kg*h (Fonseca et al., 2018). Así mismo, para cebolla galesa (*Allium fistulosum* L. cv. Jin) con diferentes cortes se han reportado valores entre 9,8 – 86,9 mg CO_2/ Kg*h equivalentes a 222-1975 µmol/ Kg*h a 4°C (Han et al., 2016). También, para cebolla morada (*A. cepa* L., cv. Crioula Roxa) cortada en cubos y rodajas valores entre 10-50 mg CO_2/ Kg*h a 5°C, equivalentes a 227-1136 µmol/ Kg*h.

Figura 7. Tasa de respiración de CO2 (µmol/ Kg*h) a 4°C para tallos y hojas de cebolla rama variedad junca recién cortadas



Fuente: Autor

Figura 8. Tasa de respiración de CO_2 (µmol/ Kg*h) a 4°C para tallos y hojas de cebolla rama variedad veleña recién cortadas.



Fuente: Autor

Influencia del tipo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre la pungencia, pH y sólidos solubles de dos variedades de cebolla rama recién cortadas.

En la cebolla rama la pungencia hace parte del sabor característico, y es tenida en cuenta para valorar su frescura y calidad durante el almacenamiento. Los resultados del análisis de varianza (Tabla 5) mostraron que durante el tiempo de almacenamiento de las dos variedades de cebolla rama se observó disminución no significativa de la pungencia. En las muestras cortadas en rodajas se aceleró más la pérdida de la pungencia que en los bastones, esto coincide con los hallazgos de Berno y colaboradores (2014) en cebolla morada donde una mayor intensidad del corte aceleró la pérdida de la pungencia. El aumento en la intensidad del corte genera mayor deterioro celular, provocándose liberación de líquidos intracelulares y compuestos azufrados volátiles por lo que disminuye la pungencia (Han et al., 2016).

Los sólidos solubles y el pH de las variedad Junca se afectaron significativamente ($p > 0.05$) por el tiempo de almacenamiento y no por el tipo de corte (Tabla 5), en cambio, en la variedad veleña estos parámetros se afectaron por el tipo de corte, observándose que las cebollas cortadas en rodajas presentaron mayor disminución de los sólidos solubles y pH en los mismos tiempos de almacenamiento, lo anterior puede estar asociado a mayor daño en el tejido del vegetal, y a una tasa de respiración mayor en las cebollas cortadas en rodajas que en bastones. Durante los tres primeros días de almacenamiento los sólidos solubles, variaron de 4,37% a 3,55% en las rodajas y a

3,70% en los bastones. La cebolla rama variedad Junca en los valores del día 14 de almacenamiento, el % sólidos solubles y pH no arrojaron diferencia significativa ($p > 0.05$) para los estilos de corte.

Influencia del estilo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre la calidad sensorial.

Las cebollas recién cortadas son muy perecederas, la pérdida de la calidad está asociada con la deshidratación, pérdida de apariencia, aparición de sabores y olores desagradables que disminuyen significativamente su vida útil y comercialización. Los resultados del ANOVA mostraron que los atributos sensoriales de las dos variedades de cebolla estuvieron significativamente afectados por el tiempo de almacenamiento y la intensidad del corte (Tabla 6). Las muestras cortadas y almacenadas entre 0 a 4°C mostraron disminución estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en apariencia a partir del día 7 para rodajas y del día 10 para bastones.

Tabla 5. Efecto del estilo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre la pungencia, pH y sólidos solubles de cebolla rama recién cortadas.

Variedad	Días	Pungencia (µmol ácido pirúvico g^{-1})		% sólidos solubles (°Brix)		pH	
		Rodajas	Bastones	Rodajas	Bastones	Rodajas	Bastones
Junca	1	42,187 ± 12,30 aA	42,187 ± 12,30 aA	4,377± 0,742 aA	4,377± 0,742 aA	5,788 ± 0,131 aA	5,788 ± 0,131 aA
	3	39,470 ± 5,926 aA	41,215 ± 7,426 aA	3,550 ± 0,409 bA	3,70± 0,10 aA	5,790 ± 0,132 abA	5,890 ± 0,156 abA
	7	32,541 ± 5,033 aA	34,702 ± 5,131 aA	3,583 ± 0,076 bA	3,330 ± 0,208 bA	6,017± 0,086 bcA	5,963 ± 0,032 bcA
	10	31,2227 ± 5,547 aA	31,895 ± 4,161 aA	3,180 ± 0,138 bcA	3,467 ± 0,152 bA	6,220 ± 0,203 cA	6,160 ± 0,238 cdA
	14	31,245 ± 10,910 aA	31,834 ± 5,225 aA	2,867 ± 0,057 cA	3,303 ± 0,176 bA	6,330 ± 0,091 cA	6,253 ± 0,202 dA
Veleña	1	33,230± 10,528 aA	33,230± 10,528 aA	5,02 ± 0,103 aA	5,02 ± 0,103 aA	5,728 ± 0,037 aA	5,728 ± 0,037 aA
	3	28,459 ± 4,997 aA	28,318 ± 3,604 aA	4,46 ± 0,130 bB	5,133 ± 0,057 aC	5,937 ± 0,118 bA	5,60 ± 0,086 aB
	7	28,583 ± 6,800 aA	30,880 ± 5,25 aA	4,230 ± 0,381 bB	4,790 ± 0,285 cC	6,260 ± 0,095 cC	5,710 ± 0,10 aD
	10	23,998 ± 4,998 aA	27,783 ± 2,645 aA	4,90 ± 0,005 cD	5,033 ± 0,252 cD	6,437 ± 0,005 dE	6,580 ± 0,010 bE
	14	24,319 ± 3,605 aA	29,076 ± 5,189 aA	3,753 ± 0,219 dE	4,926 ±0,0251 cF	6,410 ± 0,115 dE	6,503 ± 0,176 bE

Las muestras recién cortadas se almacenaron entre 0 a 4°C. Las características fisicoquímicas se evaluaron los días 1, 3, 7, 10 y 14 de almacenamiento. Los datos se expresan como la media ± DE (n = 3). Las letras minúsculas representaron una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los factores de tiempo de almacenamiento y las mayúsculas una diferencia significativa entre los factores de estilo de corte.

Tabla 6. Efecto del estilo de corte y el tiempo de almacenamiento sobre los atributos sensoriales de dos variedades de cebolla rama recién cortadas.

		Atributos sensoriales							
Variedad	**Días**	Apariencia		Sabor característico		Crujencia		Pungencia	
		Rodajas	Bastones	Rodajas	Bastones	Rodajas	Bastones	Rodajas	Bastones
	1	9,97 ± 0,05 8aA	9,97 ± 0,058 aA	9,03 ± 0,416 aA	9,03 ± 0,416 aA	6,03 ± 0,252 aA	6,03 ± 0,252 aB	6,17 ± 0,472 aA	6,17 ± 0,472 aA
Junca	3	8,80 ± 0,264 abA	8,77 ± 1,06 aA	8,03 ± 0,152 bA	7,73± 0,208 bA	5,77 ± 0,251 abC	6,60 ± 0,200 abD	6,33 ± 0,450 abA	7,67 ± 0,550 bB
	7	8,37 ± 0,321 bB	7,87 ± 0,208 aB	7,86 ± 0,321 bA	7,93 ± 0,152 bB	5,46 ± 0,251 bcE	6,37 ± 0,321 bF	6,70 ± 0,264 bcA	8,10 ± 0,265 bcB
	10	8,03 ± 0,404 bB	7,50 ± 0,30 abB	7,76 ± 0,230 bA	7,40 ± 0,360 cA	5,24 ± 0,080 cG	5,83 ± 0,351 cH	7,10 ± 0,264 cdD	8,27 ± 0,208 cE
	14	7,27 ± 0,251 bB	6,97 ± 0,450 bB	7,20 ± 0,173 cA	6,83 ± 0,251 dA	4,73 ± 0,252 dI	5,25 ± 0,283 dJ	7,63 ± 0,208 dF	8,53 ± 0,252 cG
	1	9,66 ± 0,288 aA	9,66 ± 0,288 aA	9,63 ± 0,635 aA	9,63 ± 0,635 aA	6,40 ± 0,360 aA	6,40 ± 0,360 aA	4,43 ± 0,404 aA	4,43 ± 0,404 aA
Veleña	3	8,53 ± 0,289 bA	8,97± 0,251 bA	8,20 ± 0,721 bA	7,87 ± 0,322 bA	6,0 ± 0,20 abA	6,50 ± 0,20 bB	4,87 ± 0,208 aB	6,70 ± 0,360 bC
	7	7,93 ± 0,404 bA	8,50 ± 0,20 bA	7,53 ± 0,461 bcA	7,60 ± 0,10 bcA	5,63 ± 0,209 bcC	6,23 ± 0,058 bD	4,56 ± 0,138 aD	7,13 ± 0,321 bE
	10	7,60 ± 0,265 bA	7,97 ± 0,450 bA	7,13 ± 0,208 cA	7,1 ± 0,300 cA	5,36 ± 0,115 cE	5,50 ± 0,435 cE	5,32 ± 0,575 bF	7,03 ± 0,252 bG
	14	6,40 ± 0,40 cB	7,13 ± 0,378 cD	6,27 ± 0,252 dA	6,13 ± 0,208 dA	4,80 ± 0,10 dF	4,97 ± 0,321 dF	5,60 ± 0,153 bH	7,70 ± 0,10 dI

Las muestras recién cortadas se almacenaron entre 0 a 4°C. Los atributos sensoriales se evaluaron los días 1, 3, 7, 10 y 14 de almacenamiento. Los datos se expresan como la media ± DE (n = 3). Las letras minúsculas representaron una diferencia significativa (p <0,05) entre los factores tiempo de almacenamiento y las mayúsculas na diferencia significativa entre los factores estilo de corte. A Sistema de Puntuación de calidad visual general: 10= Alta, 7= Buena, 5= media, 3= baja, 1 = no comestible; B Sistema de puntuación de apariencia: 10 = Excelente, 7= Buena, media, 3= baja, 1= deteriorada; C Sistema de puntuación de crujencia: 10 = Muy alta, 7 = alta, 5 = media, 3= baja, 1 = no característica; D Sistema de puntuación de pungencia: 10= Muy alta, 7= alta, 5 = media, 3= baja, 1= poco perceptible.

El estilo del corte no afectó significativamente la apariencia de la cebolla. Sin embargo, en las muestras de cebolla rama variedad veleña al día 14 de almacenamiento se observó disminución estadísticamente significativa de la apariencia característica de las rodajas respecto a bastones. El tiempo de almacenamiento influyó significativamente en la disminución del sabor característico de las dos variedades de cebolla independientemente del tipo de corte. La crujencia característica disminuyó en el tiempo, aunque no hubo un notable cambio de este parámetro antes de los 7 días de almacenamiento. El estilo de corte influyo en esta característica, percibiéndose que los bastones tuvieron mayor estabilidad que las rodajas.

La pungencia de las muestras en estabilidad aumento significativamente ($p > 0,05$) durante el tiempo de almacenamiento. Las cebollas presentaron incremento en pungencia a partir del día 7, siendo mayor en los bastones de ambas variedades. La calidad general de las dos variedades de cebolla y en los dos estilos de cortes rodajas y bastones se mantuvo estable hasta los 10 días de almacenamiento a 4°C. Estos resultados fueron similares con los obtenidos en cebolla galesa recién cortada (Han et al., 2016) y para cebolla rama irradiadas (Kim, Feng, Toshkov, & Fan, 2006), en los que el almacenamiento a bajas temperaturas ayuda a extender la vida útil de los productos frescos.

Efecto de tratamientos térmicos sobre la pungencia de dos variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

La aplicación de tratamientos térmicos en los vegetales genera cambios de color, textura, formación de sabores cocidos, deterioro de algunas vitaminas termolábiles y deterioro de la clorofila a feofotinas (Becerra, 2016). Para este estudio, el tiempo y la temperatura de cada uno los tratamientos térmicos aplicados tuvieron un efecto sobre la disminución de pungencia de la cebolla (Tabla 7). En este estudio se encontró diferencia significativa (valor $p < 0,05$) en el contenido de ácido pirúvico entre los tratamientos aplicados, pero no entre las variedades sometidas a las mismas condiciones (Tabla 5).

Tabla 7. Efecto del tratamiento térmico sobre la pungencia de las dos variedades de cebolla de rama

Variedad	Tratamiento Térmico	Pungencia (µmol ácido pirúvico g^{-1})
Junca	100°C/ 120 Segundos	$17,26 \pm 0,43^{aA}$
	70°C/ 60 Segundos	$27,74 \pm 0,53^{bB}$
	62°C/ 30 Segundos	$30,69 \pm 1,39^{cD}$
Veleña	100°C/ 120 Segundos	$17,48 \pm 0,47^{aA}$
	70°C/ 60 Segundos	$16,54 \pm 0,08^{dC}$
	62°C/ 30 Segundos	$29,34 \pm 0,36^{cD}$

Los datos se expresan como la media ± DE (n = 3).
Las letras minúsculas representaron una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos (temperatura y tiempo) y las letras mayúsculas representaron una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las variedades.

La pérdida de la pungencia en las muestras de cebollas puede atribuirse a que la generación de compuestos precursores de sabores y de pungencia como el ácido pirúvico, amoníaco y de los ácidos sulfinicos pueden verse afectados por la disminución de la actividad de la enzima allinasa, ya que según reportes de Jansen et al., citado por

(Cavagnaro & Galmarini, 2012) la enzima es sensible al calor (estudios realizados a temperatura de 50°C por 10 minutos) y se puede inactivar hasta en un 80%. En otros estudios realizados por Cavagnaro y sus colaboradores (2012), presentaron resultados similares, debido a que observaron disminución en estos compuestos precursores de pungencia en la cocción con horno de convección forzada a 200°C y en inmersión en agua a ebullición de cebolla entera y picada. Sin embargo, otros autores han reportado en sus estudios, que en la obtención de cebolla deshidratada se logra conservar parte e incluso concentrar el contenido de ácido pirúvico, esto último debido a la remoción del agua y a las temperaturas de secado menores a 70°C (Leon, 2015).

Determinar el efecto de los aditivos alimentarios sobre la actividad de agua, pH, pungencia y el color de la cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

La cebolla rama es una hortaliza muy perecedera debido a su contenido de humedad el cual puede tener hasta un 90% y actividad de agua cercana 0,990. El uso de mezclas de sales para reducir la actividad de agua por su capacidad osmótica y ayudar a fijar el color puede ser una alternativa tecnológica para la conservación de los vegetales. Para determinar el efecto de la mezcla de sales sobre la disminución de la actividad de agua, la fijación del color evaluado mediante la coordenada de color CIEL*a*b*, el pH y la pungencia se utilizó como herramienta del análisis de superficie de respuesta.

El color de los vegetales es un parámetro de calidad muy importante, que puede afectarse con los tratamientos de conservación térmicos o no térmicos aplicados a los alimentos (Koca et al., 2006). El color verde propio de la cebolla de rama fresca es un pigmento generado por la clorofila la cual se encuentra en los tejidos de los vegetales (Schmalko et al., 2007). Esta molécula está conformada por cuatro anillos de pirrol y un anillo isocíclico, y contiene un átomo de magnesio en su interior (Streit et al., 2015). El deterioro de la clorofila puede darse por el daño de los tejidos durante procesos como el escaldado y secado, por exposición al oxígeno o la luz generándose la pérdida del magnesio de la molécula y formándose la feofitina (Koca et al., 2006; Schmalko et al., 2007; Xiaoli Li , Ruiqing Zhou, Kaiwen Xu 1, Jie Xu, Juanjuan Jin, Hui Fang, 2018), que son de color marrón oliva (Kusmita et al., 2015).

Tabla 8. Respuestas del diseño central compuesto rotable

Prueba	Respuesta					
	pH	a_w	Coordenadas de Color			Pungencia[b]
			L*	a*	b*	
1	4,157 ± 0,0	0,781 ± 0,0	43,697 ± 1,31	0,523 ± 0,18	15,587 ± 0,55	61,997 ± 0,01
2	4,233 ± 0,01	0,890 ± 0,0	41,500 ± 1,74	0,553 ± 0,38	14,570 ± 0,83	64,004 ± 0,0
3	4,660 ± 0,01	0,823 ± 0,0	40,893 ± 2,28	-0,277 ± 0,36	14,063 ± 1,34	62,799 ± 0,0
4	4,227 ± 0,02	0,763 ± 0,0	40,393 ± 3,01	0,184 ± 0,43	13,150 ± 1,39	58,919 ± 0,0
5	4,243 ± 0,01	0,898 ± 0,0	41,393 ± 1,37	1,193 ± 0,42	15,747 ± 0,96	63,335 ± 0,0
6	4,913 ± 0,04	0,902 ± 0,0	37,177 ± 0,99	-1,090 ± 1,57	11,767 ± 0,27	64,539 ± 0,0
7	4,610 ± 0,01	0,826 ± 0,0	39,467 ± 1,92	-0,327 ± 0,30	13,243 ± 1,16	59,053 ± 0,0
8	5,117 ± 0,03	0,876 ± 0,0	38,330 ± 1,42	0,777 ± 0,57	12,243 ± 0,88	59,588 ± 0,03
9	5,060 ± 0,02	0,783 ± 0,0	38,000 ± 1,99	-2,027 ± 1,28	12,910 ± 1,51	61,863 ± 0,0
10	4,870 ± 0,01	0,770 ± 0,01	39,070 ± 0,94	-2,123 ± 0,77	13,017 ± 0,23	54,101 ± 0,0
11	4,507 ± 0,02	0,811 ± 0,03	36,740 ± 0,54	0,293 ± 0,21	13,430 ± 2,76	56,510 ± 0,0
12	4,420 ± 0,00	0,745 ± 0,0	40,930 ± 2,39	-0,877 ± 0,36	14,077 ± 0,95	53,165 ± 0,0
13	5,593 ± 0,08	0,837 ± 0,0	38,267 ± 1,93	-1,547 ± 0,13	14,197 ± 0,64	59,855 ± 0,01
14	4,380 ± 0,00	0,815 ± 0,0	38,263 ± 1,38	-0,250 ± 0,08	11,870 ± 0,93	53,566 ± 0,0
15	4,280 ± 0,01	0,928 ± 0,0	38,937 ± 0,83	-0,240 ± 0,413	12,553 ± 0,97	59,989 ± 0,0
16	4,430 ± 0,02	0,824 ± 0,0	38,283 ± 0,83	-0,410 ± 0,340	14,563 ± 4,69	54,235 ± 0,0
17	3,650 ± 0,02	0,822 ± 0,0	40,700 ± 1,06	0,953 ± 0,058	13,543 ± 1,05	55,707 ± 0,0
18	4,380 ± 0,0	0,827 ± 0,0	37,593 ± 0,39	-0,400 ± 1,107	11,577 ± 0,49	53,700 ± 0,0

a_w, L*, a* y b*corresponde a la actividad de agua y a las coordenadas de color L*, a* y b*, respectivamente.
[a] g/100 g cebolla de rama. [b] µmol ácido pirúvico/ g pasta de cebolla de rama.

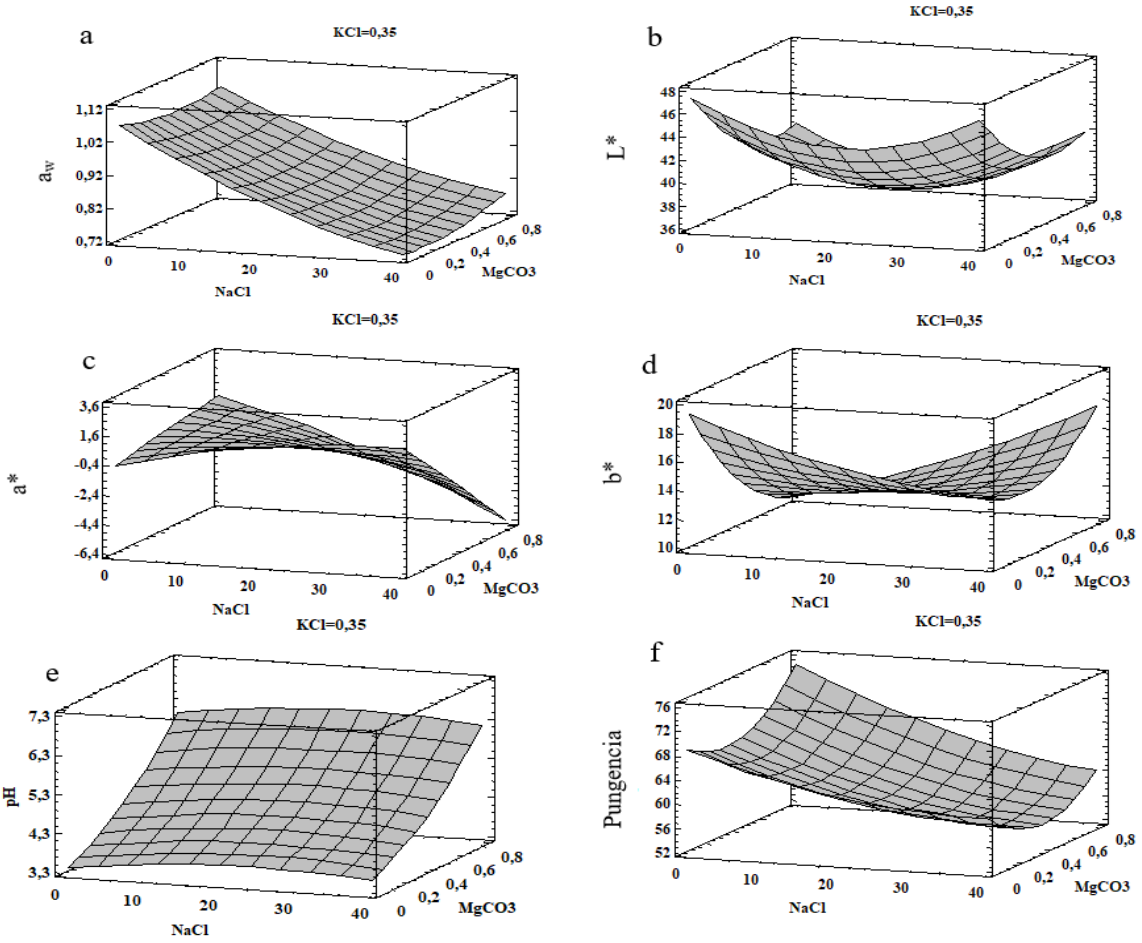
El efecto de los tratamientos evaluados sobre las respuestas se describe en la (Tabla 8). Se observó que la adición de la mezcla de sales afecta las características de la cebolla fresca como se refleja en la disminución de la a_w obteniéndose variaciones de 0,928 a 0,745 para a_w. De igual manera, se logró mantener el color verde de la cebolla de rama obteniéndose valores máximos de a* de -2,123 (Tabla 8).

Adicionalmente, se evaluó la interacción de los tres factores sobre las variables respuestas de a_w, L*, a*, b*, pH y la pungencia, los resultados indicaron que la interacción de los factores no fue significativa ($p \leq 0,05$) en los modelos (Tabla 9). Sin embargo, los resultados mostraron que la adición de NaCl influyó significativamente ($p \leq 0,05$) sobre

a* y como se esperaba en a_w, mientras que la adición de $MgCO_3$ influyó significativamente ($p \leq 0,05$) sobre la luminosidad, a*, b* y el pH de la pasta de cebolla de rama.

La adición de NaCl redujo significativamente ($p \leq 0,05$) la a_w de 0,990 ± 0,009 en la cebolla fresca hasta valores de 0,745± 0,00 en la pasta de cebolla como se observa en el tratamiento 12 con la adición de 37,11 g NaCl, 0,35 g KCl y 0,35 g $MgCO_3$ (Tabla 8, Figura 9a). Este efecto pudo ser generado por las propiedades osmóticas que posee el NaCl, debido a que los iones de Na^+ y Cl^- tienen la capacidad de unirse alrededor de dos moléculas de agua en solución (Albarracín et al., 2011; Polatoğlu et al., 2011). Así mismo, el NaCl tiene la capacidad de aumentar los procesos de difusión de agua al incrementar su concentración en procesos de osmodeshidratación, lo que contribuye a la extracción de agua de las células vegetales y la posterior disminución de la actividad de agua (Rahman, 2008; B. Singh, Panesar, Nanda, & Bera, 2008; B. Singh et al., 2010). La combinación de las sales permitió, en algunos de los tratamientos, llegar a una a_w inferior y/o cercana a la actividad de agua de saturación de NaCl en solución, valor reportado con a_w de 0,760 a 25°C (Langlet et al., 2013).

Figura 9. Gráficos de superficie de respuesta para a) actividad de agua, b) Luminosidad o claridad, c) Coordenada de color a*, d) Coordenada de color b*, e) pH f) pungencia (µmol a. pirúvico/ g cebolla)



Fuente: autor

Tabla 9. Análisis de varianza para el efecto de los tres factores sobre variables respuestas

Variables de entrada	Suma de cuadrados					
	pH	a_w	Coordenadas de Color			Pungencia
			L*	a*	b*	
NaCl	0,0002	0,044**	2,78	25,12**	0,65	49,85
KCl	0,0013	0,0006	2,01	0,64	0,27	9,18
$MgCO_3$	3,002**	0,0005	24,43**	9,01**	4,38	0,03

**significancia a $p \leq 0,05$.

El valor de la luminosidad (L*) de la pasta de cebolla de los 18 tratamientos estuvo en un rango entre 36,740 y 43,697 (Tabla 8). En la figura 8b se observa que L* aumenta moderadamente con el incremento de NaCl y ligeramente con el KCl. Sin embargo, este parámetro presentó una disminución notoria al aumentarse en las mezclas la cantidad de $MgCO_3$. Esto último puede deberse al efecto del magnesio en ayudar a fijar el color, con lo que se intensifica el verde y se observa la muestra con menor claridad. Así mismo, una conservación significativa del color verde de la pasta de cebolla fue observada con el incremento de la concentración del $MgCO_3$, obteniéndose valores de a* de -2,82±0.60 ($p \leq 0,05$) (Figura 9c). Además, se presentó un incremento significativo del pH en la pasta (Figura 9e). El color verde en las diferentes formulaciones se vio menos afectado con el aumento de $MgCO_3$ como se logra observar en los experimentos 6, 9, 10 y 13 (Tabla 1), la mayor preservación de color verde, expresado como a*, se presentó en el experimento 3 bajo las condiciones experimentales con uso de sales de 23.25 g NaCl, 0.35 g KCl y 0.35 g MgCO3. De igual forma, en estos mismos experimentos se hallaron los valores de pH más elevado (Tabla 8, Figura 9e).

Un deterioro que ocurre en los vegetales verdes es el cambio del color a marrón que se puede generar durante su procesamiento y almacenamiento, y se debe especialmente a la degradación de la clorofila a feofitina, por el reemplazo del magnesio por hidrógeno en la clorofila, y la formación adicional de los productos de degradación como los feofórbidos y las clorinas (Canjura, Schwartz, & Nunes, 1991; Haisman & Clarke, 1975; Nisha, Singhal, & Pandit, 2004). Por otro lado, estudios realizados en espinaca han demostrado que el aumento del pH por la adición de sales contribuye a disminuir las tasas de degradación de la clorofila (Nisha et al., 2004). Adicionalmente, se ha reportado que las sales de magnesio, calcio, sodio y amonio, tienen un efecto estabilizador sobre la clorofila (Haisman & Clarke, 1975; Nisha et al., 2004). Por lo tanto, la conservación del color verde de la pasta de cebolla de rama con el $MgCO_3$ podría estar asociado al efecto protector y estabilizador de las sales de magnesio sobre la clorofila. Por otra parte, la adición de KCl sobre la pasta de cebolla de rama no presentó influencia significativa sobre las variables evaluadas ($p < 0,05$).

Optimización de la aplicación de los aditivos alimentarios en la pasta de cebolla de rama (*Allium fistulosum linnaeus*)

Del ajuste a la ecuación (3) de los datos experimentales (Tabla 1) se obtuvo un modelo para cada una de las variables dependientes evaluadas (a_w, L*, a*, b*, pH y pungencia) (Tabla 11). Los análisis demostraron que los modelos obtenidos fueron adecuados para expresar la relación entre los factores y cada una de las respuestas

(valor p mayor que 0,05 para la falta de ajuste del modelo con un nivel de confianza del 95,0%), con valores altos de R^2, excepto para b* (Tabla 10). Los coeficientes de los modelos se muestran en la (Tabla 11), y obteniéndose la superficie de respuesta de las variables representadas en la figura 9.

Tabla 10. Análisis de varianza de los modelos

Fuente	df	Suma de cuadrados					
		pH	a_w	Coordenadas de Color			Pungencia
				L*	a*	b*	
Modelo	17	3,345	0,0458	56,62	15,79	25,38	3,34
Falta de ajuste	5	0,115	0,0003	11,69	1,54	13,59	0,11
Error puro	2	0,0093	0,001	1,38	0,24	2,05	0,009
Coeficiente correlación (R^2)		0,96	0,99	0,77	0,89	0,38	0,96

**significancia a p ≤ 0,05.

Tabla 11. Modelos matemáticos de las variables respuestas

	Modelo	R^2	Valor p Falta de ajuste
a_w	$1{,}05-0{,}0\mathbf{129}x_1+0{,}053x_2-0{,}0086x_3+\mathbf{0{,}000089}x_1^2+0{,}0025x_1x_2+0{,}002x_1x_3+0{,}0031x_2^2-\mathbf{0{,}36}x_2x_3+0{,}14x_3^2$	0,97	0,632
L*	$48{,}71-0{,}48\ x_1-3{,}80\ x_2-\mathbf{19{,}34}\ x_3+0{,}0086x_1^2+0{,}36x_1x_2+0{,}039\ x_1x_3-0{,}18\ x_2^2-5{,}41x_2x_3+16{,}63\ x_3^2$	0,77	0,243
a*	$-2{,}57+\mathbf{0{,}21}x_1+6{,}35x_2+\mathbf{0{,}069}x_3-0{,}0016x_1^2-0{,}24x_1x_2-0{,}30x_1x_3-1{,}18x_2^2+4{,}4x_2x_3-0{,}72x_3^2$	0,88	0,306
b*	$18{,}42-0{,}22x_1+1{,}13x_2-15{,}13x_3+0{,}0017x_1^2+0{,}096x_1x_2-0{,}38x_1x_3+3{,}22x_2^2-16{,}83x_2x_3+12{,}29x_3^2$	0,38	0,296
pH	$2{,}93+0{,}04x_1+1{,}59x_2+\mathbf{1{,}42}x_3-0{,}0006x_1^2-0{,}050\ x_1x_2-0{,}0008x_1x_3-0{,}87x_2^2+0{,}41\ x_2x_3+2{,}13x_3^2$	0,96	0,177
Pungencia	$58{,}64-0{,}46x_1+37{,}47x_2+11{,}42x_3+0{,}006x12+0{,}10x_1x_2-0{,}18x_1x_3-22{,}48x_2^2-84{,}01x_2x_3+31{,}41x_3^2$	0,85	0,572

a_w, L*, a* y b* corresponden a la actividad de agua, coordenada de color L*, la coordenada de color a* y coordenada de color b* respectivamente.
El coeficiente de regresión en letra negrita indica significancia ($p < 0.05$). x_1, x_2 y x_3 corresponden a NaCl, KCl y $MgCO_3$ respectivamente.

Optimización mediante la función de deseabilidad y validación.

Generalmente, la optimización de productos o formulaciones se realizan para encontrar los niveles óptimos de las variables evaluadas para obtener proceso o alimentos con mejores características. La optimización se realizó a partir de los resultados obtenidos para la aw y a* de los 18 tratamientos aplicados, lo anterior debido a que la aw permite clasificar si un alimento es de humedad intermedia o no, y la coordenada de color a* describe el color verde. Un valor óptimo de aw igual a 0,7081 se obtuvo con la mezcla de 37,114g/100g de NaCl, 0,0817g/100g de KCl y 0,0829g/100g de MgCO3. Por otro lado, el valor óptimo de conservación del color verde (a*) igual a -

3,693 fue obtenido con la adición de 37,114g/100g de NaCl, 0,0819g/100g de KCl y 0,6183g/100g de MgCO3 (Tabla 12).

Tabla 12. Optimización de múltiples respuestas en función de la deseabilidad de las variables de a_w y a*

Factor+	a_w			a*			Deseabilidad***		
	Nivel								
	Bajo	Alto	Óptimo	Bajo	Alto	Óptimo	Bajo	Alto	Óptimo
NaCl	9,386	37,114	37,114	9,386	37,114	37,114	9,386	37,114	37,094
KCl	0,0817	0,6183	0,0817	0,0817	0,6183	0,0819	0,0817	0,6183	0,4957
$MgCO_3$	0,0817	0,6183	0,0829	0,0817	0,6183	0,6183	0,0817	0,6183	0,4433
Valor óptimo**	0,7081			-3,693					

a_w y a*corresponde a la actividad de agua y a la coordenada de color a*
**Con la combinación de los niveles de los factores se minimizó la respuesta de las variables
***Valor óptimo igual a 1
+ g/100g pasta de cebolla de rama

Con la función (D) se conjugaron los dos parámetros seleccionados en una respuesta general, con el fin de optimizar y obtener una formulación de la mezcla de sales que permitiera minimizar la a_w y el a*, a partir de las optimizaciones de cada variable respuesta. Los resultados mostraron que la optimización con valor D = 1, es obtenida con la adición de 37,094g NaCl/100g, 0,4957 g KCl/100g y 0,4453g $MgCO_3$/100g en la pasta de cebolla de rama. Los valores de a_w y a*, predichos por el modelo fueron de 0,743 y de -2,370, respectivamente (Tabla 13).

Tabla 13. Parámetros predichos y experimentales de la cebolla de rama

Parámetro	Valor predicho	Valor experimental	F_S	F_P
a_w	0,743	0,745± 0.00	0,997	0,997
a*	-2,370	-2,820± 0.06	0,837	0,837

a_w y a* corresponden a la actividad de agua y a la coordenada de color a*, respectivamente

La validación del modelo matemático se realizó con la aplicación de la formulación óptima de la función de D (Tabla 12) en la pasta de cebolla de rama, y se midieron los parámetros de a_w y a* por triplicado. Los resultados experimentales obtenidos para la a_w y a* fueron de 0,745 ± 0,00 y -2,82± 0,06, respectivamente. Teniendo en cuenta los valores predichos y experimentales, se calcularon los F_S y F_P. Los valores obtenidos para el F_S y F_P fueron de 0.997 para a_w y 0,837 para a*, indicando que el modelo ajustado es confiable y adecuado para predecir los valores de a_w y a* de este proceso y que aplicación de NaCl, KCl y $MgCO_3$ contribuyen a minimizar la a_w y a*, con lo que se obtuvo un producto de humedad intermedia y con color verde estable característico al de la cebolla de rama fresca.

Conclusiones

La caracterización de la cebolla de rama junca y veleña permitió diferenciar sus características fisicoquímicas de pH 5,76 y 5,67, porcentaje de acidez 0,154 y 0,174 y solidos solubles en 4,34 y 4,83 respectivamente. En cuanto características físicas se obtuvo que la cebolla Veleña presenta tallo más grueso y hojas más largas y anchas que la variedad junca. En cuanto a la pungencia la variedad Junca fue significativamente mayor respecto a la Veleña con valores de 42,19 y 33,23 µmol/g respectivamente. Los

Los estudios realizados mostraron que el tipo de corte y la variedad de la cebolla influyeron en la tasa de respiración de hojas y tallos de la cebolla. Los cortes en estilo de rodajas presentaron mayor tasa de respiración que los bastones, lo que pudo deberse a mayor intensidad del corte del que genera mayor daño del tejido. En cuanto a la parte del vegetal, las hojas en los dos estilos de cortes mostraron mayor tasa de respiración respecto a los cortes del tallo. La variedad del vegetal también influyó en la velocidad de respiración, encontrándose que la cebolla rama veleña alcanzó niveles entre 2000-3500 µmol/ Kg*h y la cebolla Junca entre 4500-5000 µmol/ Kg*h.

Con la aplicación del tratamiento térmico en el que se controló tiempo y temperatura, se evidenció que estos influyen en la perdida de la pungencia de la cebolla de rama independientemente de la variedad. El tratamiento que menos afecto la perdida de la pungencia fue el aplicado a a 62ºC por 30 segundos, con el que obtuvo una

pungencia de 30,69 µmol ácido pirúvico/g para la junca y 29,34 µmol ácido pirúvico/g para la veleña.

Con el estudio de estabilidad en el tiempo de las características fisicoquímicas y sensoriales de los diferentes estilos de corte para cada variedad, permite concluir que durante el almacenamiento los atributos sensoriales de la cebolla rama en los dos estilos de corte varían significativamente, observándose perdida de la apariencia y crujencia características e incremento en la sensación pungente. La estabilidad en almacenamiento a 4ºC fue de 7 días para las rodajas y de 10 días para los bastones. Estos resultados indican que las cebollas tratadas como alimentos mínimamente procesados resultan ser una buena alternativa para prolongar la vida útil del vegetal.

La metodología de superficie de respuesta con diseño central compuesto para el análisis de la aplicación de las sales en la pasta de cebolla permitió evaluar el efecto de cada una de ellas sobre las características evaluadas, así, como obtener los modelos matemáticos que explican el comportamiento de las variables y encontrar una mezcla óptima de sales. La mezcla de sales optima con un valor de deseabilidad de 1 fue de 37,094 g de NaCl, 0,4957 g de KCl y 0,4453 g de $MgCO_3$ que aplicada sobre la cebolla de rama procesada permitió obtener un producto de color verde característico al vegetal fresco y con disminución de su actividad de agua. La aplicación de NaCl en la pasta de cebolla puede obtener como resultado un producto de humedad intermedia con actividad

de agua de hasta 0.745, adicionalmente el $MgCO_3$ resultó ser más adecuado para la conservación del color verde de la cebolla, obteniéndose valores hasta de -2.820.

La investigación realizada permitió conocer las características físicas, sensoriales y de estabilidad de dos variedades de cebolla de rama, así, como el efecto del tratamiento térmico en la obtención de cebolla mínimamente procesada en dos estilos de corte las cuales presentaron tiempo de estabilidad mayores a los de la cebolla sin procesar. La incorporación de sales a la pasta de cebolla permitió la reducción de la actividad de agua, obteniéndose un producto de humedad intermedia, lográndose color característico y pungencia estables. Este desarrollo resulta ser una alternativa de conservación de la cebolla de rama como producto de humedad intermedia que podría ser conservado en anaquel a temperatura ambiente.

Referencias

Abdissa, Y., Tekalign, T., & Pant, L. M. (2011). Growth , bulb yield and quality of onion (Allium cepa L .) as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization on vertisol I . growth attributes , biomass production and bulb yield. *African Journal of Agricutlural Research*, *6*(14), 3252–3258. https://doi.org/10.5897/AJAR10.1024

Aguayo, E., Escalona, and V., Artés, F. (2004). Metabolic behavior and quality changes ofwhole and fresh processed melon. *J. Food Sci*, *69*, 148–155.

Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. (2007). Quality of minimally processed Cucumis melo var. saccharinus as improved by controlled atmosphere. *European Journal of Horticultural Science*, *72*(1), 39–45.

Alam, M. S., & Singh, A. (2010). Optimization of osmotic dehydration process of aonla fruit in salt solution. *International Journal of Food Engineering*, *6*(1). https://doi.org/10.2202/1556-3758.1476

Alarcón, R. (2007). Elaboración de un Alimento de Humedad Intermedia de Nanche (Byrsonima crassifolia) Utilizando el Diseño de Mezclas. Retrieved from https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCIQFjAB&url=http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2005/ee-13-2005/documentos/CNA48.pdf&ei=jNiQVYjJHMjX-QHllIrICQ&usg=AFQjCNHjyJoUKJNPfJkh0noIs6aSuc5LWw

Albarracín, W., Sánchez, I. C., Grau, R., & Barat, J. M. (2011). Salt in food processing;

usage and reduction: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, *46*(7), 1329–1336. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02492.x

Badui Dergal, S. (2013). *Química de los alimentos*. (Pearson, Ed.), *Ed. Pearson* (5th ed.). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Bahram-Parvar, M., & Lim, L. T. (2018). Fresh-Cut Onion: A Review on Processing, Health Benefits, and Shelf-Life. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *17*(2), 290–308. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12331

Balder, H. F., Vogel, J. De, Jansen, M. C. J. F., Weijenberg, M. P., Brandt, P. A. Van Den, Westenbrink, S., … Goldbohm, R. A. (2006). Heme and Chlorophyll Intake and Risk of Colorectal Cancer in the Netherlands Cohort Study, *15*(April), 717–726. https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0772

Bath, N. R., Desai, B. B., & Suleiman, M. K. (2010). Flavors in onion: characterization and commercial applications. In Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors* (pp. 849–872). New Jersey: Jhon Wiley & Sons, Inc.

Becerra, G. M. A. & M. R. (2016). Efecto de la variación térmica del escaldado sobre la actividad de la peroxidasa en tubérculos de solanum tuberosum. *Sagasteguiana*, *2*(2), 105–112.

Berno, N. D., Tezotto-Uliana, J. V., dos Santos Dias, C. T., & Kluge, R. A. (2014). Storage temperature and type of cut affect the biochemical and physiological characteristics of fresh-cut purple onions. *Postharvest Biology and Technology*, *93*, 91–96.

https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.02.012

Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, *76*(5), 965–977. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019

Brewster, J. L. (1990). Physiology of crop growth and bulbing. In H. D. Rabinovitch & J. L. Brewster (Eds.), *Onions and allied crops* (pp. 53–88). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Brewster, J. L. (2008). The Structure of Edible Alliums. In *Onions and Other Vegetable Alliums* (second edi, pp. 27–47). Cambridge: CABI.

Canjura, F. L., Schwartz, S. J., & Nunes, R. V. (1991). Degradation Kinetics of Chlorophylls and Chlorophyllides. *Journal of Food Science*, *56*(6), 1639–1643. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb08660.x

Cavagnaro, P. F., & Galmarini, C. R. (2012). Effect of processing and cooking conditions on onion (Allium cepa L.) induced antiplatelet activity and thiosulfinate content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(35), 8731–8737. https://doi.org/10.1021/jf301793b

Chang, T., Jang, H., Lin, W., & Duan, P. (2016a). Antifungal Activities of Commercial Rice Wine Extracts of Taiwanese Allium fistulosum. *Advances in Microbiology*, *6*(June 2016), 471–478.

Chang, T., Jang, H., Lin, W., & Duan, P. (2016b). Antioxidant and antimicrobial activities

of commercial rice wine extracts of Taiwanese Allium fistulosum. *Food Chemistry*, *190*, 724–729. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.019

Chen, J. H., Chen, H. I., Wang, J. S., Tsai, S. J., & Jen, C. J. (2000). Effects of Welsh onion extracts on human platelet function in vitro. *Life Sciences*, *66*(17), 1571–1579. https://doi.org/10.1016/S0024-3205(00)00477-X

Chirife, J., & Fontan, C. (1982). Water Activity of Fresh Foods. *Journal of Food Science*, *47*(2), 661–663. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10145.x

Córdoba, A. M. A. (2015). *Encapsulación de Lactobacillus plantarum por esferificación en grenetina-pectina y adición a un producto de humedad intermedia*. Universidad Veracruzana. Retrieved from http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/42596/2/AlemanCordobaAna.pdf

de Oliveira, L. F., Corrêa, J. L. G., de Angelis Pereira, M. C., de Lemos Souza Ramos, A., & Vilela, M. B. (2016). Osmotic dehydration of yacon (Smallanthus sonchifolius): Optimization for fructan retention. *LWT - Food Science and Technology*, *71*(March), 77–87. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.028

del Aguila, J. S., Sasaki, F. F., Heiffig, L. S., Ortega, E. M. M., Jacomino, A. P., & Kluge, R. A. (2006). Fresh-cut radish using different cut types and storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, *40*(2), 149–154. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.010

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, D. (2015). *La cebolla de rama o*

cebolla junca (Allium fistulosum), una hortaliza de gran importancia en la alimentación humana.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, D. (2017). *El cultivo de la cebolla de rama (Allium fistulosum L.) y un estudio de caso de los costos de producción*.

Díaz, L. E., Henao, A., Ramírez, L. A., Ph, D., Ingeniería, P., Universidad, Q., … Común, P. (2013). Residio agrícola de cebolla larga como fuente de ácido giberélico. *U.D.C.A*, *12(2)*, 369–377.

Diniz, R. H. S., Rodrigues, M. Q. R. B., Fietto, L. G., Passos, F. M. L., & Silveira, W. B. (2013). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Optimizing and validating the production of ethanol from cheese whey permeate by Kluyveromyces marxianus UFV-3. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.09.002

Egner, P. A., Muñoz, A., & Kensler, T. W. (2003). Chemoprevention with chlorophyllin in individuals exposed to dietary aflatoxin, *524*, 209–216. https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00337-8

El-Hadidy, E. M., Mossa, M. E. A., & Habashy, H. N. (2014). Effect of freezing on the pungency and antioxidants activity in leaves and bulbs of green onion in Giza 6 and Photon varieties. *Annals of Agricultural Sciences*, *59*(1), 33–39. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2014.06.005

Eren, I., & Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using

response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, *79*(1), 344–352. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.069

Estela, C., Florez, R., & Pérez, J. (2014). Aplicación de Tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados, *67*(1280), 7237–7245.

Fernandes de Oliveira, L., Gomes Correa, J. L., Cardoso de Angelis Pereira, M., De Lemo Souza Ramos, A., & Barbosa Vilela, M. (2016). Osmotic dehydration of yacon (Smallanthus sonchifolius): Optimization for fructan retention. *Lwt*, *71*, 77–87. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.028

Fernandes Tais Motta. (2005). *Estudo da absorção aparente da clorofila do espinafre em ensaio com cães Estudo*. Universidade de São Paulo. https://doi.org/10.11606/D.9.2018.tde-09012018-165944

Ferruzzi, M. G., & Blakeslee, J. (2007). Digestion , absorption , and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives, *27*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003

Figuerola, F., Estévez, A. M., & Avendaño, O. (2008). Desarrollo de un alimento de humedad intermedia de fréjol (Phaseolus vulgaris L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *58*(2), 193–200.

Fonseca, S. C., Gil, L., Manso, M. C., & Cunha, L. M. (2018). Modelling the influence of storage temperature and time after cFonseca, S. C., Gil, L., Manso, M. C., & Cunha,

L. M. (2018). Modelling the influence of storage temperature and time after cutting on respiration rate of diced red onions (Allium cepa L. cv. . *Postharvest Biology and Technology*, *140*(October 2017), 27–33. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.003

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: A review. *Journal of Food Engineering*, *52*(2), 99–119. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6

Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(12), 4284–4296. https://doi.org/10.1021/jf060303y

Gómez, R. A., Fendel, B. S. D. E., Farías, C. M., Rafael, J., & Natera, M. (2013). Efecto del cloruro de calcio sobre láminas de mango (Mangifera indica L .) variedad Keitt deshidratadas osmóticamente por pulso de vacío. *Revista Científica UDO Agrícola*, *13*(1), 135–139.

González, A., Cáez, G., Moreno, F., Rodríguez, N., & Sotelo, I. (2012). Análisis combinado acústico-mecánico durante el almacenamiento de cebolla (allium fistulosum) mínimamente procesada. *Scientia Agropecuaria*, *2*, 117–122. Retrieved from www.sci-agropecu.unitru.edu.pe

Haisman, D. R., & Clarke, M. W. (1975). The interfacial factor in the heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves. *Journal of the Science of*

Food and Agriculture, *26*(8), 1111–1126. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740260809

Han, C., Ji, Y., Li, M., Li, X., Jin, P., & Zheng, Y. (2016). Influence of wounding intensity and storage temperature on quality and antioxidant activity of fresh-cut Welsh onions. *Scientia Horticulturae*, *212*, 203–209. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.004

Hartman, P. E., & Shankel, D. M. (1989). Antimutagens and Anticarcinogens : A Survey of Putative Interceptor Molecules, *82*(1 990).

Herreo, A., & Avila, M. R. De. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos : Tecnologías no térmicas. *Rev. Med .Univ. Navarra*, *50*, 71–74.

Hodges, D. M., & Toivonen, P. M. A. (2008). Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*, *48*(2), 155–162. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.016

Hong, G., Peiser, G., & Cantwell, M. I. (2000). Use of controlled atmospheres and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed green onions. *Postharvest Biology and Technology*, *20*(1), 53–61. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00112-5

Jokić, A., Gyura, J., Lević, L., & Zavargó, Z. (2007). Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Engineering*, *78*(1), 47–51. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.003

Kim, H. J., Feng, H., Toshkov, S. A., & Fan, X. (2006). Effect of Sequential Treatment of Warm Water Dip and Low-dose Gamma Irradiation on the Quality of Fresh-cut Green

Onions. *Journal of Food Science*, *70*(3), M179–M185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07147.x

Koca, N., Karadeniz, F., & Burdurlu, H. S. (2006). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, *100*, 609–615. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.079

Kołota, E., Adamczewska-Sowińska, K., & Uklańska-Pusz, C. (2012). Yield and nutritional value of japanese bunching onion (allium fistulosum l.) depending on the growing season and plant maturation stage. *Journal of Elementology*, *17*(4), 587–596. https://doi.org/10.5601/jelem.2012.17.4.03

Kusmita, L., Puspitaningrum, I., & Limantara, L. (2015). Identification , Isolation and Antioxidant Activity of Pheophytin from Green Tea (Camellia sinensis (L .) Kuntze). *Procedia Chemistry*, *14*, 232–238. https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.033

Langlet, M., Benali, M., Pezron, I., Saleh, K., Guigon, P., & Metlas-Komunjer, L. (2013). Caking of sodium chloride: Role of ambient relative humidity in dissolution and recrystallization process. *Chemical Engineering Science*, *86*, 78–86. https://doi.org/10.1016/j.ces.2012.05.014

Leon, L. L. (2015). Evaluación de la vida útil de la cebolla de rama (Allium fistulosum L .) en polvo almacenada en dos envases a temperatura ambiente, 1–97.

Li, X., Long, Q., Gao, F., Han, C., Jin, P., & Zheng, Y. (2017). Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit. *Postharvest Biology and*

Technology, *124*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.09.009

Lister, C. (2007). *The nutritional attributes of Allium species*. Christchurch, New Zealand. https://doi.org/10.13140/2.1.4265.4402

Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Gao, Z. (2017). *Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables*. *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 64). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.005

Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2011). Measurement and modeling of respiration rate of Guava (cv. Baruipur) for modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Properties*, *14*(3), 609–628. https://doi.org/10.1080/10942910903312403

Manuela Belén Silveira Rodríguez, S. M. M. y B. M. B. (2003). ALIMENTOS FUNCIONALES Y NUTRICIÓN ÓPTIMA. ¿CERCA O LEJOS? *Salud Pública*, *77*, 317–331.

Mercali, G. D., Ferreira Marczak, L. D., Tessaro, I. C., & Zapata Noreña, C. P. (2011). Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (Musa sapientum, shum.). *LWT - Food Science and Technology*, *44*(1), 82–91. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.011

Moretti, C. L., Mattos, L. M., Calbo, A. G., & Sargent, S. A. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, *43*(7), 1824–1832. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.013

Natsume, Y., Satsu, H., Kitamura, K., & Okamoto, N. (2004). Assessment system for dioxin absorption in the small intestine and prevention of its absorption by food factors, *21*, 375–377.

Nguyen-the, C., & Carlin, F. (1994). *The Microbiology of Minimally Processed Fresh Fruits and Vegetables*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 34). https://doi.org/10.1080/10408399409527668

Nguyen, N., Long, V., Rigalma, K., Coroller, L., & Dadure, R. (2017). Modelling the effect of water activity reduction by sodium chloride or glycerol on conidial germination and radial growth of fi lamentous fungi encountered in dairy foods. *Food Microbiology*, *68*, 7–15. https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.06.014

Nisha, P., Singhal, R. S., & Pandit, A. B. (2004). A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (Spinacea oleracea L.) and the effect of salt therein. *Journal of Food Engineering*, *64*(1), 135–142. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.021

Noreña, J. J., Aguilar, P. A., Esteban, C. L., Tamayo, P. J., Franco, G., & Benjumea, F. (2016). *Modelo Tecnológico para el cultivo de cebolla de rama Allium fistolosum, en el departamento de Antioquia*.

Ortega-quintana, F. A., Pérez-sierra, O. A., & López-acosta, L. L. T. E. A. (2017). Modelado Matemático de la Transferencia de Calor del Proceso de Escaldado de Zanahoria (Daucus carota L .) Mathematical Modeling of Heat Transfer of Blanching

Process of Carrot (Daucus Carota L .), *28*, 3–10.

Ozdemir, M., Ozen, B. F., Dock, L. L., & Floros, J. D. (2008). Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, *41*(10), 2044–2050. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.010

Pacheco, W., Restrepo, D., & López, J. (2011). Evaluación de un Extensor Graso sobre las Propiedades de Calidad del Chorizo Tipo Antioqueño. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, *64*(45), 6265–6276.

Page, N., González-Buesa, J., Ryser, E. T., Harte, J., & Almenar, E. (2016). Interactions between sanitizers and packaging gas compositions and their effects on the safety and quality of fresh-cut onions (Allium cepa L.). *International Journal of Food Microbiology*, *218*, 105–113. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.11.017

Pin, C., & Ross, T. (1999). Validating and comparing predictive models ´, *48*, 159–166.

Pinchao, Y. A., & Andrade, J. C. (2016). Procesamiento de Arvejas (Pisum sativum L .). Parte 4 : Optimización del Proceso de Escaldado de Arvejas (Pisum sativum L .) Variedades Sureña y Andina en base a la Inactivación de Peroxidasa Processing Peas (Pisum sativum L .). Part 4 : Blanching Proc, *27*(4), 43–52. https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400005

Polatoğlu, B., Beşe, A. V., Kaya, M., & Aktaş, N. (2011). Moisture adsorption isotherms and thermodynamics properties of sucuk (Turkish dry-fermented sausage). *Food and*

Bioproducts Processing, *89*(4), 449–456. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.06.003

Pretel, M. T., Souty, M., & Romojaro, F. (2000). Use of passive and active modified atmosphere packaging to prolong the postharvest life of three varieties of apricot (Prunus armeniaca, L.). *European Food Research and Technology*, *211*(3), 191–198. https://doi.org/10.1007/s002170050022

Rahman, M. S. (2008). Osmotic Dehydration of Foods. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of food preservation* (Second Edi, pp. 403–432). Boca Raton: CRC Press.

Raigón M.D y Navarro Calveras L. (2012). Estimación de modelos para evaluar la pungencia en cebolla. *Agricola Vergel*, 1–6.

Ramírez, H. P. (2004). *La Cebolla de Rama (Allium fistulosum) y su Cultivo*. *Corpoica*. Tibaitatá, Mosquera – Colombia.

Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S., & Niranjan, K. (2005). Developments in osmotic dehydration. In D. . Sun (Ed.), *Emerging technologies for food processing* (pp. 221–250). London, UK: Elsevier Academic Press.

Rezzan, K. (2009). The effects of cut-type and heat treatment on fresh-cut green onions quality. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, *5 (3)*(3), 428–433. Retrieved from http://idosi.org/aejaes/jaes5(3)/20.pdf

Rodríguez, M. S. R. y J. A. G.-L. R. (2004, November). En búsqueda de alternativas productivas para los regadíos de Castilla y León: los productos de 4a y 5a gama. *9o Congreso de Economía de Castilla y León: Comunicaciones*, 280–295. Retrieved

from file:///C:/Users/W7/Downloads/Documento_completo#56.pdf

Rosana Rotondo; Jorge Adrián Ferratto e Inés Teresa Firpo. (2008). Hortalizas minimamente procesadas o de IV Gama. *Agromensajes de La Facultad*, *26*. Retrieved from http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/3AM26.htm

Sáchez León, G. D., Pinzón Ramirez, H., Clímaco Hío, J., Herrera Heredia, C. A., Martínez Lemus, E. P., Quevedo Garzón, D. H., … Ortiz Piñeros, Luz Stella Montaña, Carlos Eduardo Valderrama Navas, Yhovana Pinzón Perdomo, Luz Mireya Rodríguez Valenzuela, J. (2012). Manual de la Cebolla de Rama. Antioquia: Donaldo Alonso Donado Viloria.

Sair, A. ., Masud, T. S., & Rafique, A. (2017). Microbiological variation amongst fresh and minimally processed vegetables from retail establishers - a public health study in Pakistan. *Food Research*, *1*(December), 1–7.

Sánchez, G., & María Rosa Casales y María Isabel Yeannes. (2010). Uso de glicerol y ácido en pasta de pez palo (percophis brasiliensis) desarrollada por factores combinados. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *20*(3), 28–32.

Schmalko, M. E., Scipioni, P. G., & Ferreyra, D. J. (2007). Effect of Water Activity and Temperature in Color and Chlorophylls Changes in Yerba Mate Leaves MATE LEAVES. *International Journal of Food Properties*, *8*(December 2014), 313–322. https://doi.org/10.1081/JFP-200060250

Seefeldt, H. F., Løkke, M. M., & Edelenbos, M. (2012). Effect of variety and harvest time

on respiration rate of broccoli florets and wild rocket salad using a novel O 2 sensor. *Postharvest Biology and Technology*, *69*, 7–14. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.01.010

Singh, B. K. (2018). Welsh Onion (Allium fistulosum L .): A Promising Spicing-Culinary Herb of Mizoram. *Indian Journal of Hill Farming*, *30*(February), 201–2018.

Singh, B., Panesar, P. S., Nanda, V., & Bera, M. B. (2008). Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in sodium chloride solution. *International Journal of Food Engineering*, *4*(2). https://doi.org/10.2202/1556-3758.1141

Singh, B., Panesar, P. S., Nanda, V., & Kennedy, J. F. (2010). Optimisation of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. *Food Chemistry*, *123*(3), 590–600. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.075

Soto Vargas, Verónica Carolina; González, Roxana Elizabeth; Mirta Sance, María; Burba, José Luis; Beatriz Camargo, A. (2010). Efecto de la interacción genotipo-ambiente sobre la expresión del contenido de alucina y ácido pirúvico en ajo (Allium sativum L .), *42*(5567), 15–22. https://doi.org/382837647002

Srilaong, V., Soontornwat, A., & Yamauchi, N. (2013). The Effect of Temperature on the Quality of Japanese Bunching Onion (Allium fistulosum L . ‘ Kujyo ’).

Streit, N., Zepka, L. Q., & Jacob-lopes, E. (2015). Producción de pigmentos naturales (clorofila-a) en biorrefinerias agroindustriales. *Ciencia y Tecnología*, *8*(2), 27–34.

Sung, Y. Y., Kim, S. H., Kim, D. S., Park, S. H., Yoo, B. W., & Kim, H. K. (2014). Nutritional composition and anti-obesity effects of cereal bar containing Allium fistulosum (welsh onion) extract. *Journal of Functional Foods*, *6*(1), 428–437. https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.11.009

Sung, Y. Y., Yoon, T., Kim, S. J., Yang, W. K., & Kim, H. K. (2011). Anti-obesity activity of Allium fistulosum L. extract by down-regulation of the expression of lipogenic genes in high-fat diet-induced obese mice. *Molecular Medicine Reports*, *4*(3), 431–435. https://doi.org/10.3892/mmr.2011.451

Syamaladevi, R. M., Tang, J., Villa-rojas, R., Sablani, S., Carter, B., & Campbell, G. (2016). Influence of Water Activity on Thermal Resistance of Microorganisms in Low-Moisture Foods : A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food SafetyReviewsinFoodScienceandFoodSafety*, *15*, 353–370. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12190

Tappi, S., Tylewicz, U., Romani, S., Siroli, L., Patrignani, F., Dalla Rosa, M., & Rocculi, P. (2016). Optimization of Vacuum Impregnation with Calcium Lactate of Minimally Processed Melon and Shelf-Life Study in Real Storage Conditions. *Journal of Food Science*, *81*(11), E2734–E2742. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13513

Temiz, A., & Ayhan, D. K. (2017). Enzymes in Minimally Processed Fruits and Vegetables. In F. Yildiz & R. C. Wiley (Eds.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (Second, pp. 93–252). Boston: Springer.

Varoquaux, P., & Wiley, R. C. (2017). Biological and Biochemical Changes in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. In G. V. Barbosa-Cánovas (Ed.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables* (Second, pp. 153–186). New York.

Vermeulen, A., Marvig, C. L., Daelman, J., Xhaferi, R., & Nielsen, D. S. (2014). Strategies to increase the stability of intermediate moisture foods towards Zygosaccharomyces rouxii : The effect of temperature , ethanol , pH and water activity , with or without the in fl uence of organic acids. *Food Microbiology*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.01.003

Xiaoli Li , Ruiqing Zhou, Kaiwen Xu 1, Jie Xu, Juanjuan Jin, Hui Fang, and Y. H. (2018). Rapid Determination of Chlorophyll and Pheophytin in Green Tea Using Fourier Transform. *Molecules*, *23*, 1–13. https://doi.org/10.3390/molecules23051010

Yamamoto, Y., Aoyama, S., Hamaguchi, N., & Rhi, G.-S. (2005). Antioxidative and Antihypertensive Effects of Welsh Onion on Rats Fed with a High-Fat High-Sucrose Diet. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *69*(7), 1311–1317. https://doi.org/10.1271/bbb.69.1311

Zwietering, M. H. (1999). Validation of predictive models describing the growth of Listeria monocytogenes. *International Journal of Food Microbiology*, *46*, 135–149.