

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES
MÉTODOS DE COCCIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE
 β -CAROTENO EN ZANAHORIAS, FOLATOS EN
ESPÁRRAGOS Y SUS PROPIEDADES FÍSICAS**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN ALIMENTOS, MENCIÓN
GESTIÓN, CALIDAD E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

GONZALO ANTONIO COSTA LUENGO

DIRECTOR DE TESIS
Dr. JAIME ORTIZ VIEDMA

Santiago de Chile, 2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACIÓN DE TESIS DE MAGISTER

Se informa a la Dirección de la Escuela de Graduados de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la Tesis de Magíster y Memoria de Título presentada por el candidato

GONZALO ANTONIO COSTA LUENGO

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Alimentos, mención gestión, calidad e inocuidad alimentaria:

Director de Tesis:

Dr. Jaime Ortiz Viedma

Co-director de Tesis:

Dr. Pablo Cortés Segovia.

Comisión Evaluadora de Tesis:

Mag. Cs. Nalda Romero

Dra. Paula Jiménez

Dra. Cielo Char

Agradecimientos

A mi esposa y mis padres por el apoyo y ánimo en todo momento.

Al profesor Dr. Jaime Ortiz Viedma, por su disposición a apoyarnos en este proyecto.

Al profesor Dr. Pablo Cortés Segovia, por guiarnos en el proceso y por el financiamiento del proyecto.

A Óscar Castillo por instarme a tomar este programa y Marcelo Cádiz por facilitarme los tiempos de estudio.

LA PRESENTE MEMORIA ES PARTE DEL PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN INTERNO UFT.

Efecto de diferentes técnicas culinarias sobre la pérdida de vitaminas en matrices vegetales.

Contenido

Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
1.2 Marco teórico	10
1.2.1 Espárragos (<i>Asparagus officinalis</i>)	11
1.2.2 Propiedades nutricionales del folatos	12
1.2.3 Zanahorias (<i>Daucus carota</i>).....	13
1.2.4 Propiedades nutricionales de β -caroteno.....	14
1.2.5 Textura de los alimentos	15
1.2.6 Color en alimentos	16
1.2.7 Procesamientos térmicos	18
1.2.8 Tipos de cocciones	18
1.2.9 Cocción al vapor.....	18
1.2.10 Cocción por microondas.....	20
1.2.11 Comportamiento de las vitaminas en los procesamientos térmicos.....	21
2. Hipótesis.....	22
3. Objetivos	22
3.1 Objetivo general	22
4. Objetivos específicos.....	23
5. Material y Métodos	24
5.1 Materias primas	24
5.2 Reactivos químicos	24
5.3 Equipos e instrumentos.	25
5.4 Materiales.....	25
5.5 Preparación de las muestras	26
5.6 Determinación de los tratamientos térmicos por microondas y vapor	27
5.7 Sistema de cocción al vapor	29
5.8 Determinación de vitaminas por HPLC	30
5.9 Determinación de β -caroteno en zanahorias	30
5.10 Determinación de folatos en espárragos.....	32
5.11 Análisis de textura de las muestras.	34
5.12 Análisis de imágenes por Sistema Visión por Computador.....	35
5.13 Análisis estadístico.....	38
6. Resultados	39
6.1 Efecto de la cocción al vapor en el contenido de β -caroteno.....	39
6.2 Efecto de la cocción en microondas en el contenido de β -caroteno.....	39
Fig. 17 Transferencia de calor por microondas versus convección por vapor	41
6.3 Efecto del secado a vapor en el contenido de folatos en espárragos	42
6.4 Efecto de la cocción en microondas en el contenido de folatos en espárragos	43
6.5 Análisis de textura para zanahorias.....	45
6.6 Análisis de textura espárragos.....	47
6.7 Análisis de color por SVC.....	48
6.7.1 Cambios de color en las zanahorias.	48
6.9 Cambios de color en los espárragos.	50
6.13 Relación entre la pérdida de textura y la pérdida de vitaminas.....	52

7. Conclusión.....	54
8. Bibliografía.....	55
10. Tablas	62
Tabla 1. ANOVA para β -caroteno por Cocción vapor.....	62
Tabla 2. Pruebas de rangos para β -caroteno por cocción al vapor.....	62
Tabla 3. ANOVA para Folatos en espárragos cocción al vapor	62
Tabla 4. Prueba de múltiples rangos, diferencia de medias cocción vapor.....	62
Tabla 5. ANOVA de valores HPLC de β -caroteno para cocción de zanahoria en microondas.	63
Tabla 6. Pruebas de múltiples rangos cocción zanahoria en microondas	63
Tabla 8. Pruebas de Múltiples rangos	64
Tabla 9. ANOVA para medias de cocciones de zanahorias vapor y microondas	64
Tabla 10. Tabla de medias para cocciones en zanahorias	64
Tabla 11. Pruebas de múltiples Rangos (LSD)	65
Tabla 12. ANOVA para medias de cocciones de espárragos Vapor y Microondas.....	65
Tabla 13. Tabla de medias para cocciones en espárragos	65
Tabla 14. Prueba de múltiples Rangos (LSD).....	66
Tabla 15. Cambios en los parámetros de color de zanahoria según tipo de cocción.	66
Tabla 16. Cambios en los parámetros de color de espárragos según cocción microondas ..	67
Tabla 17. Cambios en los parámetros de color de espárragos según cocción vapor.....	67
Tabla 18. Cambios en los parámetros de color de zanahoria diferencias ambas cocciones. 67	
Tabla 19. Cambios en los parámetros de color de espárragos diferencias ambas cocciones.68	
Tabla 20. Diferencia de magnitud de color en espárragos	68
Tabla 21. Diferencia de magnitud de color en espárragos	68
Tabla 22. Resultados de fuerza de corte de zanahoria, medias totales, corte de xilema y floema en cocción al vapor y cocción en microondas, 0 minuto, 2,5 minutos y 5 minutos..	68
Tabla 23. Resultados de corte de espárragos, medias totales en cocción al vapor y microondas en tiempos diferentes. Vapor: 0, 4 y 6 minutos, microondas: 0, 8 y 10 minutos.	69
11. Anexos.....	69
Gráfico 1. Comparación de corte de la masa xilema v/s floema de la zanahoria en cocción al vapor.....	69
Gráfico 2. Comparación de fuerza de corte de la masa xilema v/s floema de la zanahoria en cocción en microondas.	70
Gráfico 4. Fuerza de corte masa de espárragos crudos, a 4 minutos y 6 minutos cocción en microondas.	71
Gráfico 5. Sistema visión por computador: diferencias de luminosidad en zanahorias cocidas en vapor y microondas por tiempo de cocción.....	71
Gráfico 6. Sistema visión por computador: diferencias de color a^* (valor positivo se acerca a rojo/calor negativo se acerca a color verde) en zanahorias cocidas en vapor y microondas mismo tiempo de cocción.....	72
Gráfico 7. Sistema visión por computador: diferencias de color b^* (valor positivo se acerca a amarillo y valor negativo se acerca a azul) en zanahorias cocidas en vapor y microondas mismo tiempo de cocción.....	72
Gráfico 8. Sistema visión por computador: Luminosidad cocción de espárragos en microondas comparación con luminosidad cocción de espárragos en vapor distintos tiempos de cocción.....	73

Gráfico 9. Sistema visión por computador: color a* (valor positivo se acerca a rojo/valor negativo se acerca a color verde) en espárragos cocidos en vapor y microondas, distintos tiempos de cocción. 73

Gráfico 10. Sistema visión por computador: color b* (valor positivo se acerca a amarillo/valor negativo se acerca a azul) en espárragos cocidos en vapor y microondas, distintos tiempos de cocción. 73

Comentado [cc1]: Donde dice "Materiales" Colocar "Materias primas" porque se repite Materiales en la página siguiente. Verificar los números de página del índice.

Comentado [GACL2R1]:

Comentado [cc3]: Comenzar la numeración desde el Resumen. Borrar Univ. de Chile y Facultad

Comentado [cc4R3]: Los nombres científicos de espárragos y zanahorias van con cursiva. Si no se puede, subrayarlos.

Resumen

Actualmente, entre los métodos más utilizados para cocinar alimentos se destacan la cocción al vapor y el calentamiento por microondas. La aplicación de estos métodos debe considerar el menor daño del valor nutricional y vitamínico de los alimentos junto a la conservación de sus atributos sensoriales. El objetivo fue conocer los efectos de la aplicación de estos métodos de cocción en el contenido de vitaminas y en los atributos físicos tales como color y textura de alimentos vegetales. Para esto, se sometió a cocción de vapor y microondas, zanahorias por su aporte de β -caroteno de naturaleza liposoluble y espárrago por su aporte de folatos de naturaleza hidrosoluble y así determinar la pérdida vitamínica junto a cambios de color y textura. Para cuantificar la pérdida de β -caroteno y folatos, se utilizó cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a un detector UV (HPLC-UV). Se evaluó los cambios de textura con texturómetro, expresando la fuerza de corte en Newton (N) y los cambios de color mediante Sistema de Visión por Computador (SVC) y un posterior análisis de los parámetros de color L^* , a^* , b^* y ΔE , hab^* , C^* . Los resultados indicaron que la cocción de zanahorias en microondas produjo una retención de β -caroteno de un 71% de promedio, mientras que con la cocción de vapor de agua la retención fue de un 64%. La cocción al vapor de espárragos tuvo una retención de folato en promedio 58% en comparación al microondas que fue de un 41% del contenido inicial. La pérdida de resistencia al corte en zanahoria fue cercana al 10% siendo semejante en ambos tipos de cocción. Por otro lado, en espárragos la pérdida de resistencia al corte fue más radical para ambos sistemas de cocción. En espárragos cocidos al vapor la resistencia al corte disminuyó un 25% y en el microondas un 38%. En ambos tipos de vegetales hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el parámetro de color ΔE , hab^* y C^* en función del tiempo. El análisis estadístico demostró una fuerte proporcionalidad entre la pérdida de vitaminas y la evolución de los cambios físicos de color y textura. La evidencia generada indica que el sistema de cocción al vapor, presentó una mayor preservación del folato, la textura y color de ambos vegetales, por otro lado, el sistema microondas produjo menor pérdida de carotenos en zanahorias. Los resultados obtenidos, pueden constituir una base inicial para la adecuada preparación de alimentos en servicios colectivos o servicios de alimentación.

Palabras claves: cocción al vapor, microondas, β -caroteno, folatos, textura, color.

Abstract

Among the most used methods to cook food, steam cooking and microwave heating stand out. The application of these methods must consider the least damage to the nutritional and vitamin value of foods together with the conservation of their sensory attributes. The objective was known the effects of the application of these cooking methods on the content of vitamins and physical attributes such as color and texture of vegetables. For this, carrots were subjected to steam and microwave cooking for their contribution of β -carotene of a fat-soluble nature and asparagus for their contribution of folate of a water-soluble nature and thus determine the loss of vitamin together with changes in color and texture. To quantify the loss of β -carotene and folate, high performance liquid chromatography coupled to UV detector (HPLC-UV) was used. Texture changes were evaluated with texturometer, expressing the shear force in Newton (N) and color changes using a Computer Vision System (SVC) and subsequent analysis of the color parameters L^* , a^* , b^* and ΔE , h_{ab} and C^* . The results indicated that microwave cooking of carrots produced an average β -carotene retention of 73%, while steaming the average retention was 64%. Steaming asparagus had an average retention of folate of 58% compared to microwave cooking, which was 41% of the initial content of the samples. Changes in shear strength in carrots were close to 10%, being similar in both types of cooking. On the contrary, in asparagus the differences in the shear force were more radical for both cooking systems. In steam-cooked asparagus, shear strength decreased by 25% and in microwave by 38%. In both types of vegetables there were significant differences ($p < 0.05$) in the color parameters as a function of time. Statistical analysis showed a strong proportionality between vitamin loss and the evolution of physical changes in color ΔE , h_{ab} , C^* and texture. The evidence generated indicates that the steam cooking system presented a greater preservation of folate, texture and color of both vegetables, on the other hand, the microwave system produced less loss of carotenoids in carrots, which can constitute an initial basis for the adequate preparation of food in collective and/or domestic food services.

Key words: steaming, microwave, β -carotene, folate, texture, color.

1. Introducción

Las distintas operaciones culinarias de los alimentos tales como, limpieza, corte y cocción, conllevan inevitablemente a que estos sufran pérdida de nutrientes y vitaminas esenciales para la salud humana. En el procesamiento térmico de cocción es donde el alimento sufre las mayores pérdidas de componentes esenciales. Durante este procedimiento en particular, es que los alimentos modifican su valor nutricional (Achón Tuñón et al., 2018).

Por otro lado, se sabe que la inclusión en la dieta de frutas, verduras y hortalizas, entre otros alimentos, es considerado como una característica de una alimentación saludable, variada y equilibrada. En la preparación culinaria de frutas y verduras, generalmente el color y la textura son las características que las personas más consideran, ya que son asumidos como elementos de calidad (Ogliano - Ellegrini, 2008). Sin embargo, las características extrínsecas como color, textura, etc., no son las únicas que se deban tomar en cuenta en la elección de los alimentos, sino que también se deben considerar las propiedades nutricionales de los alimentos que junto a su correcto procesamiento harán una combinación fundamental en el momento de obtener una alimentación saludable.

Al procesar un alimento es importante considerar la naturaleza de éste, se debe conocer su valor nutricional e identificar su principal aporte (Kahlon et al., 2008) y a la vez seleccionar el mejor método que mantenga su integridad nutricional. Es aquí, donde radica la importancia del alimento, en el aporte que este pueda brindar en la mantención y en la recuperación de la salud de las personas (Aguirre Calvo et al., 2010). Por lo tanto, se debe cuidar el alimento desde el momento en que se cosecha, transporta y almacena. Por otro lado, también es muy relevante que los métodos de preparación de alimentos para personas pacientes en condiciones de salud normal y/o especiales consideren el control del tiempo y la forma en que se tratará el producto. Por lo cual, al revisar guías de técnicas culinarias, junto con prescripciones dietoterapéuticas, minutas de servicios de alimentación colectiva hospitalarias y no hospitalarias, se observa que las prácticas más utilizadas en el uso doméstico y en servicios de alimentación son los sistemas de preparación de alimentos mediante cocción convencional, además de cocción por vapor y microondas (Journal et al., 2014).

Debido a esto, resulta de gran importancia el estudio de los efectos de estos procesos en el contenido de micronutrientes esenciales para una nutrición saludable.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar y comparar la estabilidad térmica de las vitaminas; β -caroteno en zanahorias y folatos en espárragos, sometidos ambos alimentos a dos diferentes tipos de cocción: al vapor y microondas. Además, se determinaron los cambios de textura y color en ambos alimentos. Los resultados podrán ser utilizados como referencia en la preparación de otros alimentos vegetales con características similares en cuanto a vitaminas y atributos físicos de color y textura presentes en la alimentación colectiva y/o cocina doméstica.

1.2 Marco teórico

Existen distintas áreas de estudio con relación a los alimentos, las que varían según el ámbito de interés, siendo el valor nutricional de los alimentos uno de los más importantes (Basulto et al., 2015). Considerando los actuales niveles de mal nutrición que existen en la población, el valor nutricional de los alimentos debe ser un tema de cuidado a todo nivel. Con el fin de mantener y preservar los nutrientes de los alimentos, este aspecto debe ser considerado tanto por los profesionales que se dedican a la producción industrial, semi-industrial y culinaria de los alimentos. (Achón-Tuñón et al., 2018; Basulto et al., 2012).

Los aspectos de calidad de los alimentos, generalmente se asocian a las características externas y visibles de estos (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Sin embargo, se debe considerar la protección de la composición nutricional de los alimentos con el objetivo final de mantener la salud de los consumidores (González Díaz, 2007; Vanaclocha & Requena, 2003).

Si bien los esfuerzos de la salud pública están orientados a la mal nutrición por exceso, existe otra mal nutrición que se ha visto oculta, que es el déficit de micronutrientes, principalmente en niños y en adultos. De ahí la preocupación por conocer los procesos de transformación de los alimentos y así dar inicio a directrices generales de preparación de estos, asegurando que los procedimientos térmicos aplicados proporcionen la mínima pérdida de los micronutrientes de los alimentos (Baile, 2015; Murphy et al., 1975; Ratner, 2012).

1.2.1 Espárragos (*Asparagus officinalis*)

El *Asparagus officinalis*, llamado popularmente esparraguera o espárrago común, es una especie de la familia *Asparagaceae* (figura 1). Es una planta herbácea perenne de follaje muy ramificado y aspecto plumoso. Su cultivo ha ido creciendo en Chile, llegando a un incremento su plantación. Las plantaciones en el país corresponden a poco más de 3.000 hectáreas destinadas a consumo interno y exportación de producto fresco principalmente a Estados Unidos y México. Según la ODEPA los espárragos son la principal hortaliza exportada durante los últimos años (ODEPA 2021). Los espárragos, corresponden a una hortaliza altamente perecedera, rica en vitaminas y minerales que se encuentran como componentes naturales de este alimento, favorables para la salud y/o que previenen enfermedades asociadas al desarrollo fetal o bien su consumo favorece el mantenimiento del estado fisiológico del individuo por medio de la formación de glóbulos rojos (Kirschenbilder et al., 2015).



Figura 1. Espárragos (*Asparagus officinalis*).

Uno de esos componentes nutricionales presentes en el espárrago corresponde al folato. El folato es la forma en cómo se encuentra de manera natural el folatos en los alimentos como los espárragos (National Institutes of Health (NIH), 2016). Esta vitamina del complejo B, necesaria para producir el material genético, división celular, participa también en la formación de los eritrocitos por lo que, el consumo insuficiente podría producir anemia megaloblástica. Sin embargo, su función más importante y conocida es la participación en el

desarrollo del tubo neural en la prevención del desarrollo de espina bífida, de ahí su suplementación en la harina, debido al deficiente consumo de esta vitamina en la población. De acuerdo con la tabla de composición química de alimentos chilenos, el espárrago posee 98,10 mcg. de folatos en 100 gramos de producto, como aparece en la Tabla 1 (Zacarías y Barríos, 2013). En Chile en el año 2000 se incorporó a la harina, debido a que los cereales componen principalmente la base de la alimentación chilena (National Institutes of Health (NIH), 2016).

Tabla 1. Contenido de Macronutrientes (g/100g), Caroteno y Folatos del espárrago.

Alimento (100 g)	Calorías	Proteínas	Hidratos Carbono	Fibra Dietética	Lípidos	Caroteno EAR	Folatos mcg
Espárrago	25,0	2,5	4,4	1,6	0,3	83,0	98,1

1.2.2 Propiedades nutricionales del folato

Es una vitamina hidrosoluble, conocida como Vitamina B9, forma parte de la familia de las vitaminas del complejo B. También es conocida como folato, folacina, foldina y vitamina M, aunque folato y folatos son sus nombres genéricos. Su fórmula química es $C_{19}H_{19}N_7O_6$ tal como aparece en la figura 2.

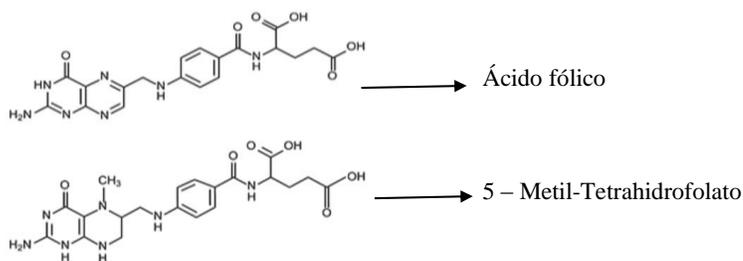


Figura 2. Estructura química del ácido fólico y el 5-MTHF.

Es muy sensible a la luz, al calor y a la oxidación. Las personas expuestas a los rayos UV sufren una rápida disminución de folato en sangre. El folato tiene pocos efectos secundarios incluso cuando se toma en altas cantidades. La absorción de folatos se puede reducir en las

personas que consumen alcohol en exceso, las que utilizan grandes cantidades de antiácidos o toman antibióticos, los que toman aspirina de forma regular y en grandes dosis o aquellas que toman anticonceptivos orales (Suárez de Ronderos, 2003).

El folato participa como factor de regeneración y de producción celular en la médula ósea por su relación con la síntesis de proteínas. Es esencial para el crecimiento y desarrollo humano y necesario para el funcionamiento de los nervios y del cerebro. Puede ayudar a reducir los niveles sanguíneos del aminoácido homocisteína. Las mujeres embarazadas tienen una mayor necesidad de folatos ya que ayuda al crecimiento de la placenta y del feto, ayudando a prevenir defectos de nacimiento, especialmente los del cerebro y la columna vertebral. Las mujeres embarazadas y las mujeres en edades fértiles deben tener especial cuidado en consumir suficientes folatos. En la mayoría de los alimentos, el folato se encuentra en forma de poliglutamato. Las espinacas, las verduras de hojas verdes, los espárragos y las legumbres son buenas fuentes de vitamina B9. También lo son los productos fortificados y algunos productos que contienen harina, suplementada en folatos. Otras fuentes de vitamina B9 son los plátanos, los melones, los limones y las levaduras.

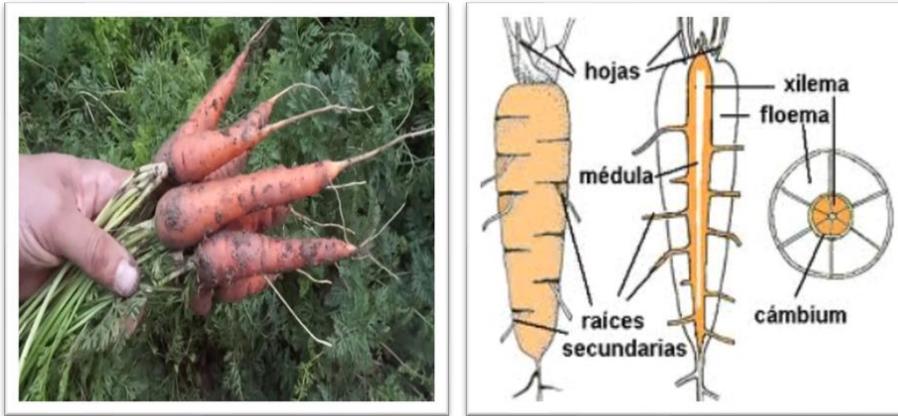
1.2.3 Zanahorias (*Daucus carota*)

Daucus carota subespecie *sativus*, llamada popularmente zanahoria, es la forma domesticada de la zanahoria silvestre, especie de la familia de las *umbelíferas*, también denominadas *apiáceas*, y considerada la más importante y de mayor consumo dentro de esta familia la que se observa en la figura 3. Es oriunda de Europa y Asia sudoccidental. Se considera una raíz y como raíz primaria que se forma de unidad orgánica alcanzando un máximo de 30 cm antes de 28 días, luego viene el proceso de desarrollo caracterizado por el proceso de engrosamiento, proliferando las células parenquimatosas en las que se almacena sacarosa y azúcares de reserva (R. G. Hernández et al., 2010).

Además, estas células poseen pigmentos como clorofila y los carotenoides, además de antocianinas y licopeno, elementos que cuya presencia y concentración determinan el color de esta raíz (Kirschenbilder et al., 2015). Existen numerosas variedades siendo la más dominante en Chile es la *Chantenay*, además de los cultivos híbridos, como la variedad ábaco la cual se ha mejorado en cuanto a su rendimiento comercial y de un color especial por su alto contenido de carotenoides, su crecimiento uniforme y su firmeza.

Comentado [CM5]:

Comentado [CM6]: El folato participa en la regeneración y producción en la médula ósea??, no se entiende



a.

b.

Figura 3. a). Zanahorias (*Daucus carota*), b). Zonas morfológicas xilema y floema.

1.2.4 Propiedades nutricionales de β -caroteno.

La zanahoria ha sido reconocida como un alimento de un gran valor nutricional gracias a su contenido de carotenoides (β -caroteno principalmente). El β -caroteno es el principal aporte de carotenoide provitamina A, la que se degrada a retinol en el organismo y se expresa como Equivalente Activo de Retinol (EAR) (Beltrán et al., 2012). En la figura 4 se observa la estructura del β -caroteno. El aporte de carotenos en la dieta, ha sido destacado desde los años 80's demostrando que este tipo de alimentos que poseen β -caroteno son ricos en pigmentos y además en antocianinas, clorofila y flavonoides, que además de ser antioxidantes, participan en la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer. En la zanahoria, la cantidad de carotenoides va desde 10 hasta 1000 veces, como lo describe Beltrán et al. (2012) señalando a este alimento como uno de los de mayor cantidad de β -caroteno que cualquier otro (Beltrán et al., 2012). De acuerdo con la Tabla de Composición de Alimentos la zanahoria posee 2454 EAR por 100 gramos de producto, como aparece en la Tabla 2.

Comentado [CM7]: Cual característica??, que contenga B-caroteno??, explicar

Comentado [GACL8R7]:

Tabla 2. Contenido de Macronutrientes promedio (g/100g), Caroteno y Folatos de la zanahoria. Tabla de Composición de Alimentos.

Alimento (100 g)	Calorías	Proteínas	Hidratos Carbono	Fibra Dietética	Lípidos	Vitamina A EAR	Folatos mcg.
Zanahoria	45	1,1	10,5	4,0	0,1	2454	13,8

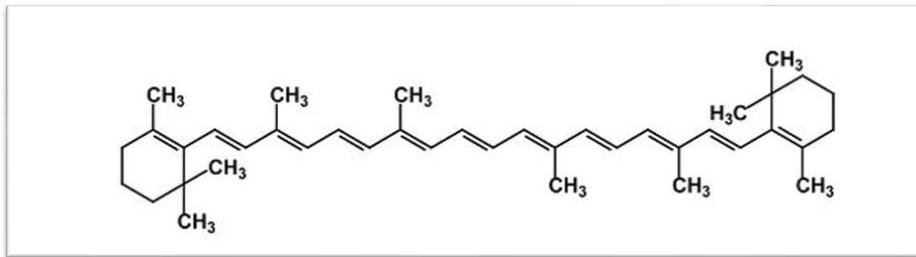


Figura 4. Estructura de β -caroteno.

1.2.5 Textura de los alimentos

La textura es considerada uno de los mayores atributos de calidad, utilizado en la industria de los alimentos, frescos y procesados, que se considera para evaluar la aceptabilidad del alimento. Entre los atributos característicos que son evaluados en la industria, se identifica la textura y la dureza, debido que estas dos características estiman frescura (Torres & Acevedo, 2015). Hoy en día, se ha generalizado el uso de ensayos mecánicos que se correlacionan con las percepciones sensoriales. Por ejemplo, los ensayos instrumentales tratan de medir empíricamente y buscan imitar lo que ocurriría sensorialmente como, por ejemplo, la masticación, los que tienden a ser más exactos que otros métodos como el penetrómetro. Gracias a este tipo de análisis objetivos con variaciones mínimas y de fácil comprensión se pueden determinar parámetros como dureza, masticabilidad y demás variables con el fin de formular estándares para los alimentos y mejorar la calidad de estos. La textura de los alimentos es una de las características más importantes a la hora de seleccionar un alimento (Xu et al., 2014). Las zanahorias son muy sensibles a las condiciones de almacenamiento perdiendo textura debido a la pérdida de humedad y cambios en la temperatura, aun

refrigeradas, sufriendo cambios aún mayores con la sobre cocción. Principalmente cuando se habla de vegetales, la textura nos demuestra fresca, dicho de otra manera, corresponde a un parámetro de calidad. El texturómetro recopila pruebas pudiendo simular la mordedura de un alimento (Szczesniak, 2002). Existen disponibles varias formas y tamaños de sonda para la medición de las propiedades reológicas de los alimentos, en el estudio se utilizó la de corte. Por ejemplo, con la prueba de corte se puede evaluar la fuerza de corte sobre matriz, simulando la masticabilidad. De esa manera, esta prueba podrá determinar el perfil de textura. (Caballero et al., 2018; Granados et al., 2014; Torres & Acevedo, 2015). La prueba de recuperación lenta (método de medición combinada de 3 etapas) se realiza primero comprimiendo una fuerza definida, la que es igual al máximo de fuerza que es necesaria para alcanzar el corte correspondiente al 25%. En el momento que se alcanza la fuerza definitiva, la carga se mantiene constante durante un tiempo definido, esta etapa es la etapa de fluencia. Luego se arrastra la carga hasta reducirla a cero. Luego de que las fuerzas se mantienen a cero se comienza la etapa de recuperación. La etapa de recuperación tarda lo mismo que la etapa de arrastre. Durante el proceso de recuperación lenta, se registra la fuerza de corte, se identifican los valores de tiempo.

1.2.6 Color en alimentos

El color de los alimentos es otro de los atributos principales a la hora de evaluar la calidad de los alimentos, ya que es la primera sensación que se tiene de un alimento (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Los pigmentos como la clorofila, los carotenoides y antocianinas son los principales responsables de este atributo de calidad y su evaluación puede realizarse instrumentalmente para determinar la percepción visual. Para la evaluación del color es necesario conocer la relación del color, la luz, la geometría del alimento, entre otras características. Por lo tanto, el espacio de color CIELab, es utilizado en el área de los alimentos, con un sistema de unidades para expresar color, ya que correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana usando los espacios tridimensionales de color y las coordenadas de color L^* , a^* y b^* en las que se puede correlacionar las diferencias de color numéricas a las propias evaluaciones visuales. El espacio CIELab, está definido por 3 coordenadas rectangulares como ya se hizo mención, L^* es luminosidad, donde 0 es el negro y 100 es el blanco, las coordenadas a^* de rojo/verde donde

+a indica rojo, -a indica verde, b* coordenadas amarillo/azul donde +b indica amarillo y -b indica azul (Granados et al., 2014; Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014; Ogliono & Ellegrini, 2008).

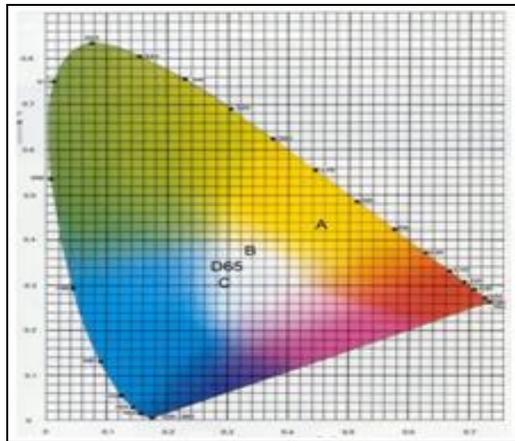


Figura 5. Colores espectrales representados en coordenadas x, y, z de acuerdo con el sistema CIE. Las gráficas A, B, C y D65 corresponden a la posición de las diferentes fuentes de iluminación (Adaptado de Minolta, 1994)

Por otro lado, a partir de L^* , a^* , b^* es posible calcular el tono (h_{ab}^*) y pureza (C^*) de la muestra con las siguientes ecuaciones;

$$\text{Pureza } C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad \text{ec. 5}$$

$$\text{Tono } h_{ab}^* = \text{arctang}(b^*/a^*) \quad \text{ec. 6}$$

La tonalidad varía entre 0° a 90° = rojo a amarillo; 90° a 180° = amarillo a verdosa; 180° a 270° = verdes a azules; 270° a 360° = azul a púrpura.

Los instrumentos de medición de color, incluidos el colorímetro pueden cuantificar estos atributos de color de forma sencilla. Así puede determinar el color de un objeto dentro del espacio de color y mostrar los valores para cada coordenada. CIE (Commission Internationale

de L`eclairage) Comisión Internacional de Iluminación, por su sigla en francés, que indica el espectro de colores visible por el ojo humano en las coordenadas x, y, z.

1.2.7 Procesamientos térmicos

El contenido vitamínico y los atributos físicos de color y textura de un alimento preparado están íntimamente relacionados con el tipo de procesos térmicos aplicado. Por ejemplo, están los procesos de cocción al agua, al vapor, al horno, al microondas, secado con aire caliente, ahumado, etc. En este caso se describirán la cocción al vapor y la cocción al microondas.

1.2.8 Tipos de cocciones

La cocción puede modificar las propiedades sensoriales, atributos físicos y la calidad nutricional de los alimentos. Esto porque en los procesamientos térmicos los nutrientes de los alimentos pueden ser lixiviados al estar en contacto con el agua o porque el nutriente puede ser destruido térmicamente. La temperatura puede desencadenar alteraciones que afectan el nivel nutricional, el color de los alimentos y su textura. La cocción al microondas y la cocción al vapor han sido evaluados y reconocidos como tipos de cocción que deberían preservar de mejor manera las vitaminas, como el β -caroteno, el ácido ascórbico, los folatos y otros elementos como la clorofila (Hassan et al., 2000).

1.2.9 Cocción al vapor

La cocción al vapor es un método de cocción que consiste en cocinar los alimentos únicamente con vapor de agua a aproximadamente una temperatura menor a 100° C, sin sumergirlos en el agua misma ni en aceite. Para esto, suele utilizarse un recipiente con agujeros o un colador de mayor tamaño, en donde van los alimentos, y este recipiente se coloca arriba de una olla que contiene agua hirviendo, la cual no debe tocar a los alimentos del primer recipiente como se observa en la figura 6. Comúnmente se usa este método de cocción como una opción más saludable, ya que los alimentos cocidos al vapor pierden menos nutrientes por lixiviación que los hervidos. En la gastronomía occidental la cocción al vapor se

usa generalmente en vegetales, debido a sus bondades en relación al cuidado de los micronutrientes (Amaya et al., 2015).



Figura 6. Cocción al vapor tradicional.

La base es una rejilla que permite pasar al vapor hasta el alimento. Esta técnica garantiza un flujo constante del vapor (Zhaoyuan, 2015).



Figura 7. Vaporera moderna

En los últimos años, se encuentran vaporeras de materiales innovadores, como la silicona platino, que destacan por ser flexibles, resistentes a las altas temperaturas, plegables, antiadherentes y fáciles de limpiar en el lavavajillas como se observa en la figura 7.

Las vaporeras de silicona, facilitan la cocción de los alimentos de acuerdo al principio de este tipo de procesamiento térmico. Los alimentos no están en contacto con el agua, sino el vapor que se desprende, por lo que mantiene sabor y vitaminas, minerales y los principios aromáticos se conservan mejor, la fibra no se reblandece resultando más digestiva y no se altera la forma y la textura siempre y cuando se controle el tiempo de cocción y este sea el indicado. (Gustavo & Mora, 2007; Journal et al., 2014).

1.2.10 Cocción por microondas

El horno microondas hoy en día es casi un imprescindible en la cocina de cualquier hogar. Es rápido, cómodo y muy útil para el ritmo de vida que se lleva en la actualidad. Funcionamiento en los alimentos. Su funcionamiento es simple, un magnetrón transforma la energía eléctrica en microondas, como aparece en la figura 8. Cuando las microondas chocan con la comida, estas agitan las moléculas de agua y grasa y ese movimiento genera calor.

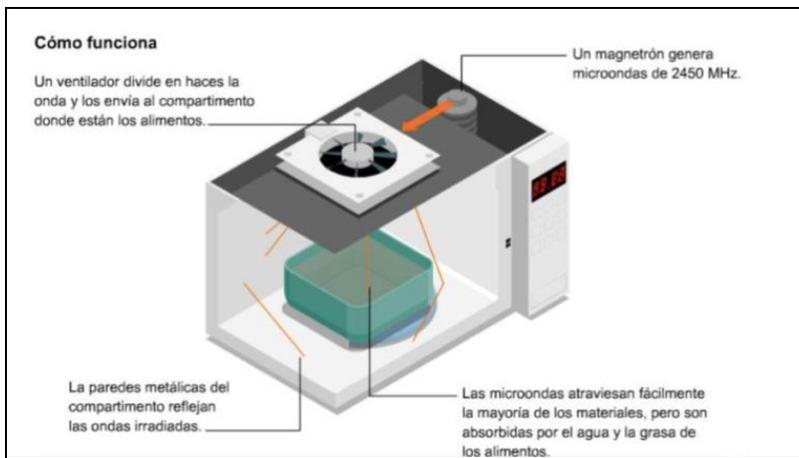


Figura 8. Funcionamiento de microondas (Díaz Morcillo et al., 2004)

Las ondas de radio son absorbidas por el agua, las grasas y los azúcares presentes en los alimentos, llamado calentamiento dieléctrico o calentamiento electrónico. Las moléculas de agua, como moléculas con dipolos eléctricos se intentan alinear generando este movimiento y produciendo el calor debido a la excitación de las moléculas. Esta agitación de las moléculas de agua de los alimentos no representa ninguna alteración en la composición del alimento, excepto por la deshidratación del alimento por el excesivo calentamiento del alimento generando evaporación del agua (Díaz Morcillo et al., 2004).

El horno microondas se ha extendido en diferentes usos. Se ha comenzado a utilizar tanto a nivel industrial en procesos como de pasteurización y esterilización y a nivel doméstico en procesos sencillos como descongelar, calentar y en menor medida cocinar alimentos (Li et al., 2016). El uso industrial del microondas a nivel alimentario se ha utilizado para el secado de

alimento, inactivación enzimática, desinsectación de grano para consumo humano y esterilización de alimentos. Debido a las ventajas que aporta el microondas frente a procedimientos convencionales, se utiliza para productos que requieran una elevada velocidad de proceso y que necesiten un aporte de calor externo. A diferencia del horno convencional es el producto el que calienta el horno y no el horno el que calienta el producto. Es decir, la generación de calor se produce en el propio producto lo que reduce enormemente el tiempo necesario para obtener en zonas interiores una determinada temperatura (Moncada & Gualdrón de Hernandez, 2006).

1.2.11 Comportamiento de las vitaminas en los procesamientos térmicos.

Los carotenoides son altamente inestables al oxígeno, la luz y el calor. Se estima que los pigmentos de los alimentos se desnaturalizan entre los 50 y 60° C variando el deterioro en relación con la duración del tratamiento térmico y la especie vegetal y pH del medio (Bureau et al., 2015). Los carotenoides de naturaleza lipofílica, altamente susceptibles al procesamiento térmico, alterando los atributos de calidad visual y organoléptica, en especial con los colores amarillos, naranjos y rojas. Los carotenoides pueden sufrir oxidación acoplada en presencia de lípidos. El efecto de la composición lipídica se ha demostrado que el cambio del perfil lipídico de un medio poliinsaturado a otro monoinsaturado mejora la estabilidad de los carotenoides, entre ellos el β -caroteno. En cuanto a la temperatura y el efecto sobre los carotenos, se ha evaluado el efecto del calentamiento de β -caroteno a 50° C o 100° C durante media hora donde se aprecia que no hay grandes pérdidas, a 150° C las pérdidas sí son notorias, resultan de mayor manera en el α -caroteno que en el β -caroteno. Estos resultados han servido para estudiar el escaldado en agua hirviendo previo a la obtención del zumo o pulpa de zanahoria, determinándose así la retención de un 35% de β -caroteno con respecto al producto fresco, mientras que el producto no escaldado retuvo sólo un 18% (Moncada & Gualdrón de Hernandez, 2006). Se ha determinado últimamente que, a menor tiempo de cocción, temperatura de cocción y contacto con el agua mayor es la retención de carotenoides. Además, se ha demostrado que, durante el proceso de cocción, se produce isomerización del β -caroteno disminuyendo la disponibilidad biológica de β -caroteno al momento de ser consumido. Los carotenos con mayor actividad biológica son aquellos que tienen todos sus dobles enlaces en

forma del isómero *trans*, que se transforman parcialmente en la forma *cis* durante los tratamientos térmicos, con lo que se pierde parte del poder vitamínico de los carotenos. Por otro lado, la cocción mejora la bioaccesibilidad del β -caroteno que se encuentra en los cromoplastos de la zanahoria, donde a menudo se asocia con proteínas y/o membranas. La cocción destruye parcialmente las paredes y membranas celulares y desnaturaliza parcialmente a las proteínas, liberando nutrientes y favoreciendo la bioaccesibilidad, permitiendo que el β -caroteno pueda liberarse de la matriz de la zanahoria y hacerse accesible para su absorción (Moyano et al., 1999; Pellegrini et al., 2010; Char, 2017). Con relación al folato los estudios indican que es relativamente estable al calor, pero muy lábil a la luz. El folato es estable, pero si se expone a la luz podría perder su actividad biológica, sufriendo foto-degradación. Sin embargo, no existen demasiados estudios que describan o estudien solo a los folatos, ya que generalmente se asocia a otras vitaminas como la vitamina C y vitaminas del complejo B, debido a las características similares que estas vitaminas poseen y también se relaciona con la clorofila presente en los vegetales verdes (Lopera Cardona & Gallardo Cabrera, 2010).

En base a los antecedentes discutidos el presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto de los procesos térmicos de cocción al vacío y por microondas sobre la concentración de beta-caroteno en zanahorias y folatos en espárragos junto a los cambios en sus atributos físicos de color y textura.

2. Hipótesis

“La cocción al vapor tradicional controlada, produce menor pérdida de β -caroteno en zanahoria y de folatos en espárragos, así como los cambios de color y textura de estas matrices alimentarias, comparada con la cocción al microondas”

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Estudiar el efecto de los procesos de cocción al vapor y microondas sobre el contenido de vitaminas (β -caroteno y folatos) y propiedades físicas de zanahorias y espárragos. Este modelo

Comentado [cc9]: Esto esta bien

experimental podrá aportar información para el diseño de directrices utilizables en alimentación colectiva y preparaciones caseras.

4. Objetivos específicos

- Determinar la pérdida de β -caroteno en zanahoria y folatos en espárragos, cocidos al vapor y microondas a diferentes tiempos
- Evaluar los cambios de textura que sufren las matrices con los procesos de cocción, vapor y microondas, a las que son sometidas.
- Caracterizar físicamente los cambios de color de las muestras vegetales debido a las cocciones,
- Determinar posibles relaciones entre la pérdida de micronutrientes y propiedades físicas de ambos alimentos sometidos a cocción por microondas y vapor.

5. Material y Métodos

5.1 Materias primas

- Espárragos frescos, adquiridos en supermercado Jumbo, en atados de 500 gramos, producto de origen chileno Fundo San Ignacio, Región de Ñuble.
- Zanahorias frescas en bolsa, adquiridas en supermercado Jumbo, bolsa de 1 Kg. Fundo huertos Carolina, Colina, Región Metropolitana.

5.2 Reactivos químicos

- Acetonitrilo marca Merck.
- Metanol grado HPLC marca Merck.
- Estándar all-trans Retinol, Vitamina A marca Sigma.
- n-Hexano p.a. grado HPLC marca Merck
- Etanol absoluto p.a. marca Merck
- Solución de hidróxido de potasio 50%
- Ácido ascórbico
- ButilHidroxi Tolueno BHT
- Agua tridestilada grado HPLC
- Estándar de folatos marca Sigma
- Dipotásico de fosfato trihidratado ($K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$) p.a.
- Fosfato monobásico de potasio, Buffer (KH_2PO_4) p.a.
- Acetato de sodio
- Disodio fosfato
- Tetrabutilamonio Hidrógeno Sulfato
- Agua desionizada.
- $C_{16}H_{36}N \cdot HSO_4$

5.3 Equipos e instrumentos.

- Equipo de sistema de cromatografía líquida, HPLC con detector UV DIONEX modelo ULTIMATE 3000 con bomba de gradiente cuaternaria LPG-3400SD, Autosampler con compartimento para columna ACC-3000 detector de arreglo de diodos modelo DAD-3000 y detector de índice de refracción modelo RefractoMax 521, Thermo Fisher Scientific.
- Balanza analítica 0,1 mg de precisión, marca W3100-201 Accuris Instruments USA.
- Baño de ultrasonido Elmasonic S.
- Centrífuga 3000 rpm refrigerada 4°C. BellCentMicro-200T.
- Agitador Vórtex Maxi Mix, modelo M16710-33 Thermolyne.
- Bomba de filtración al vacío con embudo Buchner con bomba de mango y matriz Erlenmeyer.
- SPE Vacuum Manifold
- Rotavapor Hei-VAP Advantage, Heidolph.
- Agitador magnético con placa calefactora. VELP Scientifica.
- Texturómetro TA-XT plus. Stable Micro Systems.
- Computador Dell XPS 13 X9360.
- Adobe® Photoshop® - Guía de colores PANTONE®
- Cámara Canon A-30

5.4 Materiales

- Columna cromatográfica Synergi 4u MAX-RP80A (150 x 4,60 mm)
- Jeringa Hamilton para HPLC de 50 uL
- Viales para HPLC de 1,5 mL de color ámbar
- Tubos de SPE (Strata SAX) (6 mL)
- Filtro Milipore para fase móvil (0,45 um x 47 mm)
- Pipetas aforadas de 3, 4 y 5 mL
- Propipeta Merck.
- Micropipetas de 20, 200 y 1000 uL Merck

- Puntas de micropipeta Merck.
- Matraces aforados color ámbar de 10, 25, 100 y 250 mL
- Vasos de precipitados de 50 mL
- Frascos de vidrio tapa rosca de 1 L
- Probeta de 250 mL
- Tubos de centrifugación 50 y 15 mL
- Gradillas para tubos
- Embudos de vidrio
- Piseta
- Pipetas Pasteur
- Etiquetas para tubos de ensayo.

5.5 Preparación de las muestras

Los espárragos se compraron en el supermercado Jumbo en paquetes de 500 gramos, se limpiaron, lavaron eliminando las partes no comestibles y desinfectaron con cloro, 50 ppm durante 5 minutos. Luego se enjuagaron y secaron, para eliminar residuos de cloro, protocolo que debe ser realizado en todo proceso culinario para evitar que pueda llegar a los consumidores y producir cloraminas en el organismo, el cual es un compuesto cancerígeno.

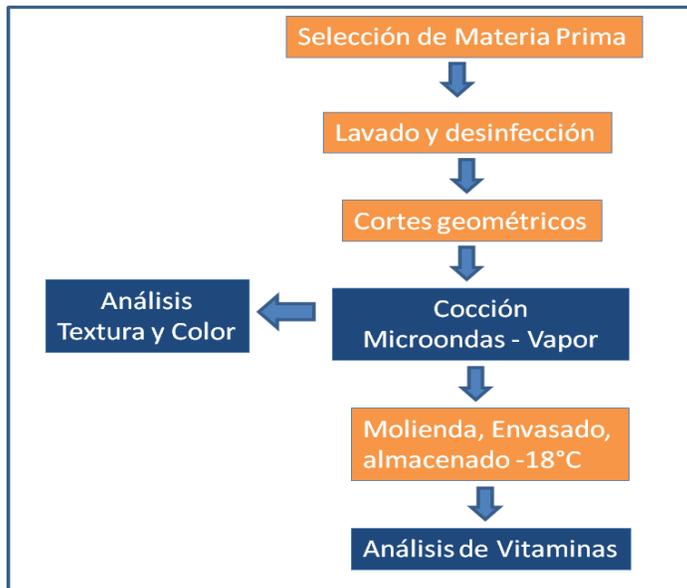


Figura 9. Flujograma preparación de muestras zanahoria.

Las muestras para análisis HPLC se molieron y se congelaron a -18°C hasta su utilización. Las zanahorias se compraron en el supermercado Jumbo, bolsa de 1 kilo, se limpiaron, lavaron y desinfectaron utilizando el mismo protocolo que en los espárragos. Posteriormente se cortaron en cortes de bastones, lo más uniforme posible, con cortes de 4 cm x 1 cm, tanto para los procesos de cocción, textura y análisis color por sistema de visión computacional (SVC) como se muestra en la figura 9. Las muestras para análisis HPLC se molieron y se congelaron a -18°C hasta su utilización. Las pruebas se realizaron en la cocina de la Escuela Culinaria Cordon Bleu perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Finis Terrae.

5.6 Determinación de los tratamientos térmicos por microondas y vapor.

En la tabla 3, se presentan las condiciones de tiempo-temperatura de los procesos de cocción al vapor y microondas. Los tiempos fueron seleccionados previamente realizando distintas pruebas de cocción utilizando como referencia la menor alteración del color y textura deseable del producto.

Tabla 3. Métodos de cocción de matrices y tiempos determinados.

Método de cocción zanahoria	Vapor / Potencia	Tiempo (minutos)
Microondas LG® 100% potencia	700 voltios	0 - 2,5 - 5
Vapor horno Rational®	100% vapor	0 - 2,5 - 5
Método de cocción espárrago	Vapor/ Potencia	Tiempo (minutos)
Microondas LG® 100% potencia	700 voltios	0 - 4 - 6
Vapor horno Rational®	100% vapor	0 - 8 - 10

Cocción al vapor: Los ensayos previos de laboratorio, indicaron que el rango de tiempo de cocción al vapor más adecuado para los espárragos, fue entre los 8 minutos de cocción al vapor, ya que se obtuvo un producto considerado culinariamente como “al dente” y a los 10 minutos al vapor, se obtuvo un producto cocido, aceptable para su consumo (esto es no “recocido”) y de color y textura deseable (Tabla 3).

Cocción al Microondas: El proceso al microondas resultó muy similar, se cocieron los espárragos a diferentes tiempos, hasta determinar que a los 4 minutos se obtenía un producto “al dente” y a los 6 minutos un producto cocido, manteniendo su color y textura (Tabla 3).

Respecto a las zanahorias, se realizó el mismo procedimiento que con los espárragos, hasta determinar que a los 2,5 minutos en cocción al vapor y al microondas se obtuvo un producto “al dente” con un buen color y textura. Luego a los 5 minutos se obtuvo un producto cocido, manteniendo su color y textura deseable (Tabla 3).

Además del tipo de transferencia de calor de cada sistema de cocción microondas y vapor, en la diferencia de tiempos de cocción, entre los espárragos y las zanahorias, se podría considerar la cantidad de fibra dietaria o dietética que posee cada alimento. El espárrago posee en promedio 46,9 gramos de fibra por 100 gramos de producto, en cambio la zanahoria tiene 19,8 gramos de fibra por 100 gramos de producto crudo, según Tabla de Composición Química de

Alimentos Chilenos (INTA, 2019). Esta diferencia en el contenido de fibra inclusive de agua interna puede haber influido en los tiempos de cocción del espárrago y zanahoria.

5.7 Sistema de cocción al vapor

Para las cocciones en vapor se utilizó un horno de calor combinado, el que permite dentro de la misma cámara de cocción, llevar a cabo procesos de cocción al vapor y cocción en calor seco, de fabricación alemana marca Rational TM, se observa en la figura 11. Para las cocciones en microondas se utilizó un microondas marca LG TM, 700 voltios de capacidad de fabricación china. Para los análisis químicos, las muestras se procesaron con Mini pimer y licuadora marca Oster TM de fabricación china.

Para la cocción de las zanahorias se utilizaron en total 27 muestras para la cocción de vapor y 27 para la cocción de microondas para los 3 diferentes tiempos 9 veces con tres réplicas; 0, 2,5 y 5 minutos.

Para las muestras de los espárragos se realizaron 27 muestras de la cocción a vapor de espárragos 27 muestra de cocción al microondas a diferentes tiempos definidos como, 0, 8 y 10 minutos y cocción microondas 700 voltios 100% de potencia a tiempos 0, 4 y 6 minutos, como se muestran en la tabla 3. La retención de las vitaminas fue calculada de acuerdo con la fórmula de retención de nutrientes de Murphy et al. (1975) (ec. 1).

Retención de nutriente (%) =

$$\frac{\text{Contenido de nutriente}/100 \text{ g de alimento cocido}}{\text{Contenido de nutriente}/100 \text{ g de alimento crudo}} \times 100$$

Contenido de nutriente/100 g de alimento crudo

Rendimiento porcentual en peso =

$$d = \frac{\text{masa de alimento cocido}}{\text{masa de alimento crudo}} \times 100$$

Comentado [CM10]: Cómo se obtuvo ese número de 27 muestras??



Figura 11. Horno Rational TM

5.8 Determinación de vitaminas por HPLC

A continuación, se señalan los procedimientos de extracción de las vitaminas en estudio para β -caroteno en zanahorias y folatos en espárragos.

5.9 Determinación de β -caroteno en zanahorias

La ingesta de vitamina A se calcula a partir de carotenoides, expresada en ER y EAR utilizando el método de Moreiras y cols., que aporta los datos de carotenos provitamínicos totales. Desde el punto de vista nutricional, existen 3 provitaminas A: β -caroteno, alfa-caroteno y β -criptoxantina, por lo que la ingesta de vitamina A en la dieta, se ha expresado como ER y EAR (21). Para la expresión de los datos se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{EAR} = \mu\text{g retinol} + 1/12 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno} + 1/24 \mu\text{g } \alpha\text{-caroteno} + 1/24 \mu\text{g } \beta\text{-criptoxantina ec. 2}$$

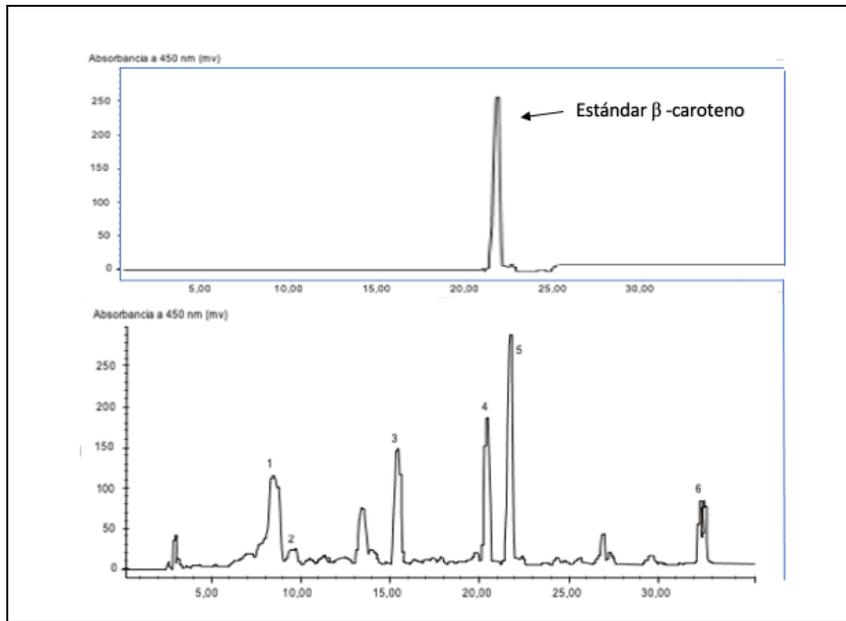


Figura 12: Figura 12 A: Cromatograma de la solución estándar de β -caroteno. B: Cromatograma de carotenos en las muestras de zanahorias. 1. Licopeno 2. Zeaxantina 3. Beta-criptoxantina 4. Alfa-caroteno 5. Beta-caroteno 6. Luteína.

Para el análisis de β -caroteno por HPLC con detector UV se utilizó el método propuesto por Hernández y Aldana descrito a continuación (Hernández et al., 2011).

Se pesaron 20 gramos de muestra de zanahoria, en matraz de base plana, se ubicó un magneto y se adicionó 70 ml de etanol. Se colocaron los tubos de reflujo y se agitó la mezcla hasta su ebullición con corriente de nitrógeno. Luego se agregaron 20 ml de solución KOH al 50% y se saponificó la mezcla por 30 minutos con agitación moderada. Antes de finalizar la etapa se enjuagó el contenido con 50 ml de agua en 3 porciones. La solución se enfrió a temperatura ambiente y luego se filtró al vacío. Luego se colocó inmediatamente el contenido en embudo de decantación de 250 ml y se adicionó 50 ml de hexano p.a. para comenzar la extracción. Se agitó la mezcla por 20 segundos y al separarse las fases se colocó la capa superior, la fase orgánica, en matraz de 250 ml de base redonda que contenía 0,5 g de ácido ascórbico. Se efectuó 9 veces más la extracción y se juntaron los extractos en el matraz de 250 ml. Se

evaporó a sequedad el solvente haciendo uso de un rotavapor con baño de agua a 40°C, se diluyó inmediatamente con metanol grado HPLC el residuo y se llevó el volumen en un matraz volumétrico de 10 ml. Finalmente se pasó la solución final por un filtro de 0,2 mm llevándolos a viales ámbar de 2 ml, los que fueron puestos en el autosampler de un cromatógrafo HPLC DIONEX, modelo ULTIMATE 3000 THERMO. Compuesto por bomba de gradiente cuaternaria, LPG-3400SD, autosampler con compartimiento para columna ACC-3000, detector de arreglo de diodos modelo DAD-3000. Columna Acclaim TM 120 C18 5 μm 120 Å4,6x 150 mm. La temperatura de la columna a 25°C. Fase móvil, Buffer fosfato y aforar a un litro con agua desionizada. Flujo de 1,0 mL/minuto. Para la curva de calibración se utilizó la solución estándar de β -caroteno (Sigma), realizando la curva en triplicado, con 6 niveles de concentración del analito en el rango entre 1,0 y 10 $\mu\text{g/mL}$ R^2 : 0,998. En la figura 12 se muestra cromatograma obtenido de la solución estándar de β -caroteno, concentración de 100 $\mu\text{g/mL}$ a una longitud de onda 453 nm y tiempo de retención de 5,370 minutos.

5.10 Determinación de folatos en espárragos.

Para el análisis de folatos se utilizó un equipo HPLC DIONEX, modelo ULTIMATE 3000 THERMO. Compuesto por bomba de gradiente cuaternaria, LPG-3400SD, autosampler con compartimiento para columna ACC-3000, detector de arreglo de diodos modelo DAD-3000. Columna Acclaim TM 120 C18 5 μm 120 Å4,6x 150 mm. La temperatura de la columna a 25°C. Fase móvil, Buffer fosfato y aforar a un litro con agua desionizada. Flujo de 1,0 mL/minuto. Para la determinación de los folatos se utilizó el método Osseyi (ISP, 2008). El método consiste en la extracción de folatos con difosfato de potasio trihidratado 0,1 M, purificación con cartuchos de extracción en fase sólida (SPE) y posterior identificación de los folatos por medio de la instrumentación HPLC. Se pesaron 20 gramos de muestra de espárrago, homogenizado, se pusieron en el tubo de centrifugación de 50 ml, protegida de la luz durante el proceso. Luego se agregan 20 ml de solución de extracción, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 0,1M, utilizando pipeta aforada de 20 ml, agitando para evitar la formación de grumos. Se somete la muestra a rotavapor a 180 rpm/min y ultrasonido por periodos alternativos de 10 minutos durante un periodo de 1 hora, se somete a centrifugación a 3000 rpm durante 25 minutos a 4°C (1008 fuerza g). Se trasvasija el sobrenadante a tubos de 50 ml y se rotulan las

muestras. Se agrega la solución de extracción al precipitado que se logró con la centrifugación y se agita en un vortex durante 30 segundos para lograr la disolución.

Se realiza una segunda extracción de acuerdo con el procedimiento y se reúnen los extractos de la primera y segunda extracción y luego se agitan y homogenizan en vortex por 20 segundos para la purificación con SPE. Los resultados fueron expresados en mcg de Equivalentes dietario de folato (1 EDF = 1 mcg de folatos).

A partir de los estándares de folatos (Sigma 97%) utilizados se prepararon 6 concentraciones entre 0,800 a 100 ppm con un R^2 de 0,9784 usando como solución Buffer KH_2PO_4 (pH 6,5). En la figura 13 se muestra el cromatograma obtenido de la solución de estándares de folatos en concentración de 100 ug/mL a una longitud de onda de 290 nm, sus formas monoglutámicas presentes en vegetales y hortalizas, THF, 5-MTHF, las que se pueden detectar en fluorescencia o ultravioleta. Además, se muestra el cromatograma de una muestra de espárragos donde se encontró 5-Metiltetrahydrofolato a un tiempo de retención 17,908 minutos.

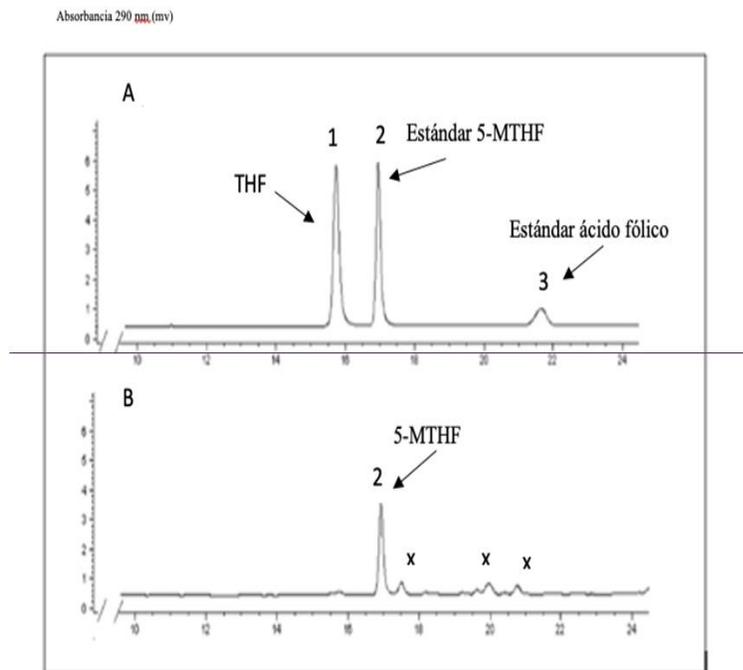


Figura 13. A: Cromatograma de la solución mezcla de estándar de folatos, 1: Tetrahidrofolato; 2: 5-Metiltetrahidrofolato; 3: Ácido fólico. B: Cromatograma de folatos en las muestras de espárragos, 2: 5-MTHF; x: peaks No Identificados (NI)

Comentado [CM11]: No identificados??

5.11 Análisis de textura de las muestras.

Se utilizó un texturómetro TA-XT2 Stable microsystems UK. Los resultados fueron registrados y calculados por el software Texture Expert 1.2. Analizados por macros escritos y registrados en el mismo software y el procesamiento y evaluación de los datos por medio de Excel. Para la prueba de corte se utilizó la sonda HDP/BS.

Comentado [CM12]: los resultados fueron calculados por...
Aclarar no se entiende bien

Se cortaron las zanahorias en bastones de 1x6 centímetros. Se analizó para zanahorias crudas, cocidas a 2,5 minutos y cocidas a 5 minutos al vapor, 2,5 minutos cocidas en microondas y 5 minutos cocidas en microondas. Los cortes de zanahoria se dejaron enfriar, hasta tener una temperatura interior de 20° C. Los cortes fueron hechos con una velocidad en el pre-test de 0,1 mm/s y la velocidad de la sonda fue de 1,0 mm/s. después de la medición (Caballero et al., 2018; Guillén et al., 2017).

Para los espárragos, se realizaron cortes manteniendo la forma cilíndrica de la matriz, con cortes de 6 cm de largo, cortes que se realizaron posteriores a la cocción.

La fuerza de corte y la fuerza de corte específica se calcularon a partir de la relación entre la fuerza de corte máxima y el corte de diámetro de corte. Para las dos matrices se realizó la misma prueba, con el mismo cálculo de fuerza de corte, considerando que de acuerdo con las características de cocción de ambas matrices presentarían características similares. El movimiento de la cuchilla de metal fue perpendicular y el filo de la cuchilla fue de 3 mm de espesor sobre placa de 75 mm de diámetro, como se muestra en la figura 14. Los cortes se realizaron en el centro de los bastones.

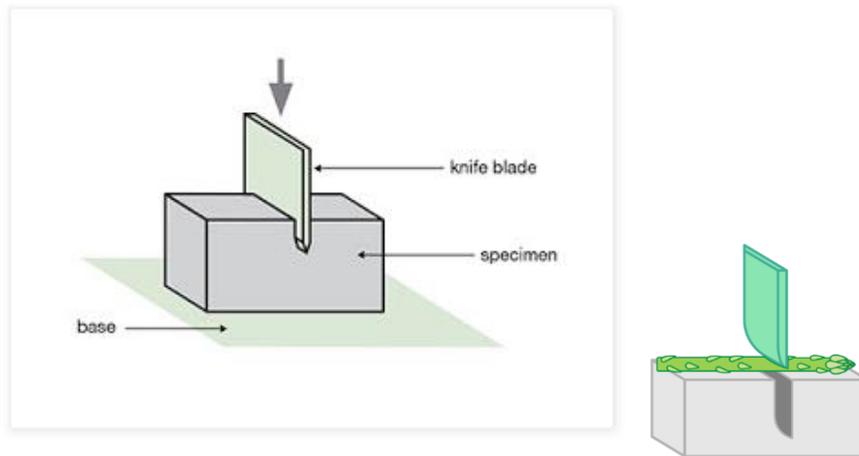


Figura 14. Modelo de texturómetro, prueba de corte.

5.12 Análisis de imágenes por Sistema Visión por Computador

El análisis de SVC permite acercarnos al estándar de calidad que un consumidor debería percibir de un producto de acuerdo con la apariencia visual, lo que será un factor determinante en la aceptabilidad del producto considerando el patrón de los colores, brillo, etc. Esta imagen del alimento es el resultado de la interacción de la luz sobre el objeto, las características óptimas del producto y como el observador captura e interpreta la información (Crossen & Crossen, 2017).

Para el análisis del Sistema de Visión por Computador, se utilizó una lámpara halógena de luz D65 y un ángulo de observación de 45° grados. La CIE definió varias fuentes de iluminación normalizadas en función de su curva de distribución espectral y de la temperatura del color (Figura 5). En cuanto a las condiciones de observación se estableció el iluminar la muestra con un ángulo de 45° y observar perpendicularmente, situando al observador a 45,7 cm de

Comentado [cc13]: Estaba la información desordenada. Para que se entienda coloqué este párrafo al principio (dejarlo acá).

distancia de la muestra, a la que se observa a través de un pequeño orificio, de tal manera que el ángulo de la visión sea de 2.

Este sistema de análisis computacional de imágenes utiliza el programa Photoshop que puede mostrar 3 espacios de color, RGB (red, green, blue), CMYK (cian, magenta, amarillo y negro) y CIELab L*, a*, b*. Este último se utiliza para medir colores en investigación alimentaria (Wallace et al., 2014); (Papadakis et al., 2000)(Moyano et al., 1999). Se utiliza el estándar de relación ojo-cerebro-color, construyendo sistemas artificiales capaces de interpretar escenas naturales de manera tridimensional. Se obtiene la imagen de un alimento determinado y luego vienen dos pasos. El primero es el muestreo de la escena y en segundo lugar la cuantificación de la muestra, asignando un punto de valor del rango en el que varía la muestra cómo se señala en la figura 5.

En detalle el SVC utiliza un esquema que consiste en 5 etapas. 1. Adquisición de la imagen del objeto de estudio. 2. Procesamiento de la imagen, mejorando la calidad de la imagen, aplicando filtros o aumento del contraste, se suaviza la imagen, cuantificación de las características de la imagen. 3. Segmentación, donde se identifica el objeto de estudio. 4. Análisis y medición de los atributos de interés del objeto. 5. Interpretación de los valores de la medición.

Las muestras se colocan sobre una mesa junto con un porta lámpara de escritorio retráctil utilizando como fuente de luz una lámpara fluorescente de vidrio prensado con reflector parabólico de aluminio de 38 octavos de pulgada de diámetro máximo (PAR38), marca General Electric, 120V, 60Hz, 20w, con una temperatura de color $T_c = 6500 \text{ }^\circ\text{K}$ (simulador de la luz del día D65).

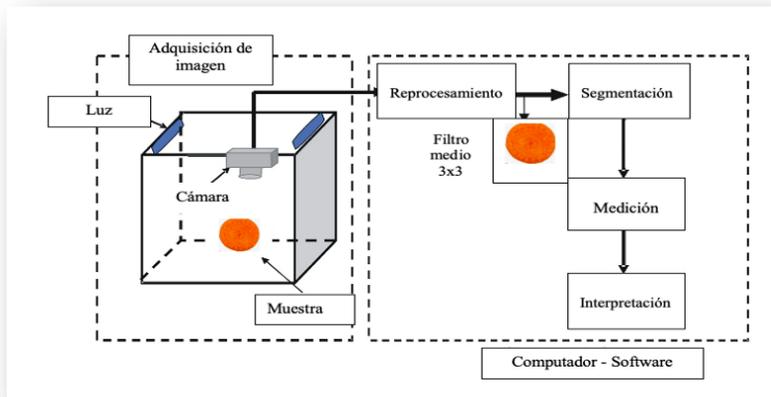


Figura 6. Componentes de un sistema de visión por computador y análisis de imágenes.

El reflector se hace incidir sobre papel digital marca Xerox de 150 g.m-2, liso, de alta blancura y mate a una distancia de 15 cm. Un fondo oscuro hace decrecer el colorido aparente de los colores (Martínez-Verdú 2001). La cámara, Canon A30, se ubica sobre un soporte y la geometría de las direcciones de iluminación/observación de 45°/0° (Figura 6). Su aplicación es una herramienta fundamental, utilizada en el control de calidad del color para frutas, verduras, carnes y enlatados.

En CIELab, además de indicar las coordenadas de color se puede identificar la diferencia total de color de las muestras ΔE^* que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad \text{ec 3}$$

Donde; ΔL^* ; Δa^* ; Δb^* indican la diferencia entre el valor medido y el valor de referencia para cada parámetro. ΔE^* sólo indica magnitud de la diferencia total de color, pero no indica si el color es correcto.

Se debería encontrar en las zanahorias un color cercano al naranja, color particular de los alimentos que contienen carotenos, el que podría presentar una pérdida por la oxidación que se

Comentado [cc14]: Los delta indican la diferencia entre el valor medido y el valor de referencia para cada parámetro. No es la diferencia del rojo al verde en delta a* ni del amarillo al azul en delta b*

sucede por el proceso de cocción. Se debería encontrar color verde en los espárragos, color característico en las plantas debido a la presencia de clorofila la que podría cambiar a verde oscuro debido a la oxidación de la clorofila, que se oxida con los procesos térmicos como la cocción (Pezoa, 2010).

Para identificar la diferencia entre los colores de los alimentos se debe identificar los valores de L^* , a^* y b^* , de las muestras al inicio de cada proceso térmico. Luego de determinado el estándar, las matrices son comparadas al finalizar el proceso térmico con el patrón. Mediante el sistema SVC se midió la diferencia de color mediante la comparación numérica de una muestra y el estándar. Se midieron las diferencias en coordenadas absolutas de color y se determinó el valor de Delta * L^* , a^* y b^* y la diferencia total de color ΔE , mediante la ecuación de diferencia conjunta, llamada Diferencia de color CIE 2000 calculada con el teorema de Pitágoras (ecuación 3).

5.13 Análisis estadístico

Los resultados se analizarán con el programa Statgraphics centurión. Los resultados para la cocción se realizarán aplicando la prueba de ANOVA de rangos múltiples para las muestras de comparación de las medias de β -caroteno y folatos. Primero, se evaluarán el efecto de los parámetros experimentales (tiempo y proceso) sobre el contenido de vitaminas, color y textura mediante ANOVA considerando los niveles respectivos indicados en la sección de procesamiento de las muestras. La prueba de rango múltiple se aplicará utilizando el procedimiento LSD de la prueba de Fisher. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$. Se determinó la regresión simple entre la textura y los contenidos de beta-caroteno y folatos) para los distintos tiempos de tratamiento (cocción), con R como parámetro del grado de correlación.

6. Resultados

6.1 Efecto de la cocción al vapor en el contenido de β -caroteno

En la tabla 4, se presenta la variación de la concentración de β -caroteno durante la cocción al vapor de zanahorias comparado con cocción al microondas de muestras homogéneas del mismo lote. De acuerdo con los resultados se pudo observar una disminución significativa ($p < 0,05$) del contenido de β -caroteno en zanahorias luego de 2,5 y 5 minutos de cocción al vapor. La disminución de β -caroteno a los 2,5 minutos de tratamiento fue de $18,2 \pm 0,3$ y a los 5 minutos fue de $16,5 \pm 0,19$, equivalentes a una retención de 68% y 60%, respectivamente (Fig. 16). De acuerdo con los resultados se demuestra que la pérdida de vitaminas se ve influenciada por el tipo de aplicación de calor durante la cocción y el tiempo aplicado, lo que ha sido señalado por Reddy y Love (1999) quienes indicaron que cualquier proceso culinario puede ser perjudicial y afectar la calidad nutricional de los alimentos. Por otro lado, estudios anteriores han demostrado que la absorción de algunos componentes como las vitaminas liposolubles de los alimentos se puede ver favorecido por el proceso de cocción, sobre todo de licopenos y carotenoides (Van Het Hof et al., 2000). Lo anterior se debería a que en ciertas condiciones el proceso térmico modifica las paredes celulares de los alimentos vegetales, liberando el contenido de caroteno y a la vez es capaz de provocar la fusión de la estructura cristalina de los carotenoides haciéndolos más biodisponibles en estado líquido, (Hassan & Atiquzzaman, 2000).

6.2 Efecto de la cocción en microondas en el contenido de β -caroteno

En la tabla 4, se presentan los resultados de la prueba para la cocción de zanahorias en el microondas comparado con la cocción al vapor. Al comparar las medias de ambos tipos de cocciones se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) del contenido de β -caroteno de zanahorias a medida que aumenta el tiempo de cocción, la cual fue de menor significancia en el proceso de microondas. Este efecto se puede verificar de forma más evidente al comparar la retención de β -caroteno obtenida en ambos procesos (Fig. 16). De esto se puede decir que la cocción al microondas es favorable a tiempos cortos, ya que a tiempos mayores la radiación

electromagnética de las microondas degrada los carotenos a una mayor velocidad acercándose el efecto del calor transferido por el vapor de agua.

Tabla 4. Contenido de β -caroteno en cocción por vapor y microondas de zanahorias

Zanahorias	Vapor	Microondas
Tiempo cocción minutos	β -caroteno EAR/100g	β -caroteno EAR/100g
0	25,1 \pm 0,21aA	25,1 \pm 0,21aA
2,5	18,2 \pm 0,3 bB	21,0 \pm 0,31 dD
5	16,5 \pm 0,19 cC	17,5 \pm 0,23 eE

Medias \pm DS del contenido de β -caroteno. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los procesos. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas en el mismo proceso. ($p < 0.05$) Test LSD de Fisher nivel de confianza 95%.

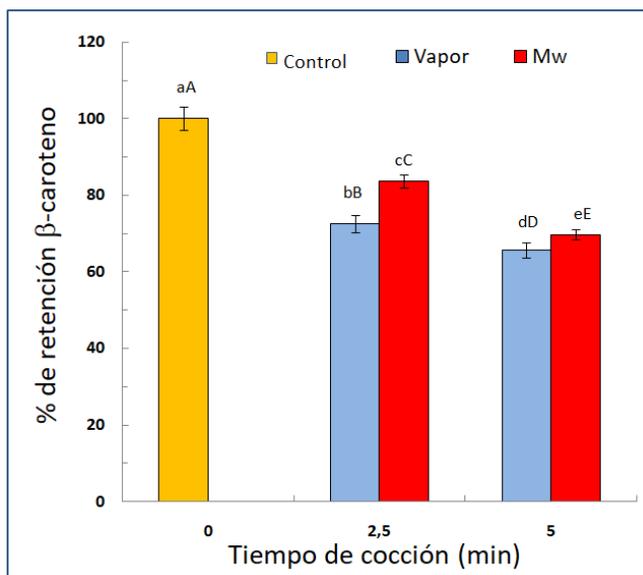


Figura 16. Retención (%) de β -caroteno luego de la cocción por vapor y microondas de zanahorias. Medias \pm DS del contenido de β -caroteno. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los procesos. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas en el mismo proceso. ($p < 0.05$) Test LSD de Fisher nivel de confianza 95%.

Según Mueller (1990) cualquier proceso incluyendo el microondas, que manipule al alimento en su manera cruda hasta su preparación, afecta el alimento en su composición nutricional. Lo mismo indica Fernández et al. (2008), mencionando que la cocción de alimentos en microondas podría generar pérdida no sólo de las propiedades externas, sino que también podría producirse pérdida de nutrientes.

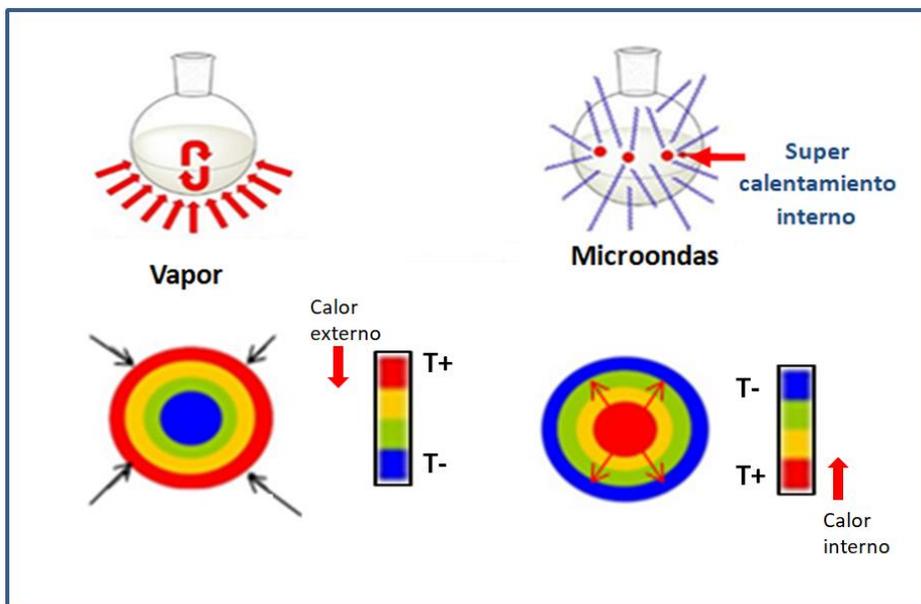


Fig. 17 Transferencia de calor por microondas versus convección por vapor

Por otra parte, otros autores (Basulto et al., 2014) han indicado que la cocción en microondas, al igual que otros tipos de cocción, puede favorecer la biodisponibilidad de los carotenos. La FDA (Fsis, 2019) y un estudio del Departamento de Alimentos y Ambiente de Hong Kong (Quaglio and Messi, 2000) señalan que el microondas es un método seguro para la cocción de los alimentos dependiendo de la naturaleza de las vitaminas, siendo más susceptibles las vitaminas hidrosolubles a la radiación y la presencia de agua lo que no sería beneficioso para la biodisponibilidad de este tipo de vitaminas. En cambio, las vitaminas lipofílicas, como los carotenoides, tendría a ser menos sensibles a la radiación (Amaya et al., 2015). Por otro lado,

se ha mencionado que en la cocción en microondas se debe evitar el uso de agua, ya que sería una cocción similar a la de hervir el alimento (Basulto, 2006; Journal et al., 2014). El microondas actúa principalmente en el calentamiento de moléculas hidrofílicas generando una gran velocidad de transferencia de calor producido por la agitación de las moléculas de agua desde el interior del alimento hacia la estructura exterior del alimento. Comparativamente el efecto térmico del vapor transfiere el calor por convección desde el exterior hacia el centro del alimento ocurriendo a una velocidad más lenta (Figura 17).

6.3 Efecto del secado a vapor en el contenido de folatos en espárragos

En la tabla 5 se muestran los compuestos de folatos encontrados en el espárrago, expresados como Equivalentes de folato dietario (EFD).

Tabla 5. Compuestos de folatos en el espárrago (EFD/100g).

Muestra	THF	5-MTHF	5-FTHF	EFD
Espárrago control	NI	150,2 ± 2,0	NI	150,2 ± 2,0

Formas de folato: THF: tetrahidrofolato, 5-MTHF: 5 metiltetrahidrofolato, 5-FTHF: 5-formiltetrahidrofolato, se expresan en EFD: Equivalentes de folato dietario. NI No Identificado

Los folatos en los alimentos se pueden encontrar de distintas formas. Se consideran los folatos totales, de acuerdo a las sumas de las formas monoglutámicas, como el tetrahidrofolato (THF), 5-Metiltetrahidrofolato (5-MTHF) y 5 formiltetrahidrofolato (5-FTHF). En este caso la extracción realizada en los espárragos corresponde a de 5-MTHF, la más estable y de mayor proporción en las hortalizas, siendo las otras formas muy minoritarias. Coincidentemente con lo que se menciona en la literatura, donde el 5 metiltetrahidrofolato (5-MTHF) y el tetrahidrofolato, son las formas monoglutámicas de mayor presencia en las verduras y hortalizas. (Olivares et al. 2006).

Comparando los dos métodos utilizados se observó que, en la cocción al vapor de los espárragos, la pérdida de folatos fue menor que la cocción por microondas, aun cuando la

cocción al vapor fue de un tiempo más prolongado que la cocción por microondas (Pinzón, 2017; Yuan et al., 2009) lo que se explica por el efecto de las ondas electromagnéticas que actúan agitando las moléculas de agua y las moléculas hidrofílicas como los folatos. Otros estudios como el de Suaterna (2007) mencionan que, el proceso de fritura presenta una alta estabilidad de las vitaminas hidrosolubles, sin embargo, se debe considerar la formación de compuestos tóxicos como acrilamida, furanos y compuestos glicosilados dañinos para la salud. Además, la mayoría de los estudios se han enfocado en la determinación de condiciones de operación para minimizar las pérdidas de componentes esenciales y la mantención de los atributos sensoriales de color, textura, etc. (Mathias-Rettig and Ah-Hen, 2014; Martínez-Cruz, 2017). El vapor, es considerado como un método muy noble con las cualidades nutricionales de los alimentos. El vapor preservaría de mejor manera los nutrientes que hervir directamente los alimentos. Algunos autores (Moncada & Gualdrón de Hernández, 2006) han determinado que la pérdida de vitaminas se produce de mayor manera en la cocción al agua y en menor medida la cocción al vapor. Sin embargo, también se ha evidenciado que mientras se aumenta el tiempo de cocción, cualquiera sea el método, la pérdida de vitaminas hidrosolubles es inevitable (Basulto y Baladía, 2012b).

6.4 Efecto de la cocción en microondas en el contenido de folatos en espárragos

En la tabla 6, se muestran los valores de folatos en el espárrago cocidos por ambos métodos utilizados.

Tabla 6. Contenido de folatos en cocción por vapor y microondas de espárragos

Espárragos	Vapor	Espárragos	Microondas
Tiempo cocción (min)	Folato como EFD/100g.	Tiempo cocción (min)	Folato como EFD /100 g.
0	150,2 ± 2,0aA	0	150,2 ± 2,0 aA
8	110,4 ± 1,4b B	4	80,8 ± 1,4 dD
10	77,8 ± 1,1cC	6	58,3 ± 3,3 eE

Medias +/- DS del contenido de folatos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los procesos. Letras mayúsculas distintas (A, B, C) indican diferencias significativas en el mismo proceso. ($p < 0.05$) Test LSD de Fisher nivel de confianza 95%.

En el caso de los espárragos, la sobre-cocción en microondas, generó en el tiempo una pérdida significativa ($p < 0,05$) de folato, variando la retención entre un 69% y 46% del contenido de folato o EFD inicial (Fig. 18).

Los efectos del calentamiento por microondas en la pérdida de folatos en espárragos son inversos a la pérdida de β -caroteno en zanahoria, siendo la degradación de folato mayor al presentado por β -caroteno. Esto pudo ser debido al mayor el tiempo de exposición al calor generado por las microondas en espárragos y a la mayor propiedad hidrofílica de los folatos que lo hace más sensible a la interacción de las moléculas de agua sobrecalentada.

Comentado [NMRP(15): En eje Y debería poner % Retención de 5-MTHF

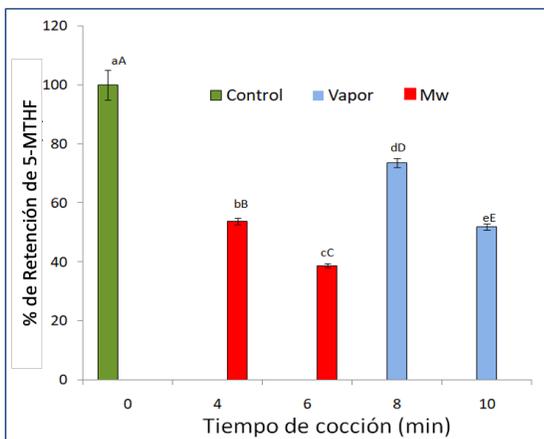


Figura 18. Retención (%) de folato 5-MTHF en espárragos luego de la cocción por vapor y microondas (Mw). Medias +/- DS del contenido de EFD. Letras minúsculas (a, b, c) distintas indican diferencias significativas entre los procesos. Letras mayúsculas distintas (A, B, C) indican diferencias significativas en el mismo proceso. ($p < 0.05$) Test LSD de Fisher nivel de confianza 95%.

Igualmente, la cocción al vapor prolongada en el tiempo tendió a disminuir la retención de 5-MTHF (Fig. 18). Por otro lado, los análisis solo detectaron cantidades a nivel de trazas de los otros tipos de folatos tanto en las muestras de espárragos crudas como cocidas. Según Basulto

(2015), el contenido de folato se podría ver favorecido en algunos procesos de cocción, dependiendo de tiempo y forma de cocción. No obstante, a lo que se refiere a las vitaminas hidrosolubles, como es el caso de 5-MTHF, la cocción al vapor tiende a ser un mejor método que la cocción realizada al microondas o sumergiendo el alimento en agua caliente (Achón et al., 2018; Basulto et al, 2006, Mueller, 1990). En otros estudios se ha visto que el vapor retiene un 88% de los nutrientes cuando el proceso es controlado en el tiempo (Moncada, 2006), en este estudio la retención de folato fluctuó entre un 68% y un 60% siendo la pérdida directamente proporcional con el tiempo de cocción.

Debido a que el microondas mueve las moléculas de agua del propio alimento, haciendo que el alimento se cocine desde adentro hacia afuera, el 5-MTHF de naturaleza hidrosoluble se vio mucho más afectado que el β -caroteno (de naturaleza liposoluble). Basulto (2012) mostró resultados similares en vitaminas hidrosolubles como pérdida de Vitamina C en el brócoli, folatos en apio, espárragos, acelga entre otras verduras y hortalizas. En este estudio el β -caroteno disminuyó en un 16% a los 2,5 minutos, pero luego la disminución fue sobre un 30% a los 5 minutos. King y De Pablo (1987), investigaron la pérdida de vitaminas en el procesamiento de alimentos y observaron cómo los procesos térmicos favorecían la retención de las vitaminas liposolubles en especial el β -caroteno (King and De Pablo, 1987; Jiang et al., 2018). Para seleccionar el método de cocción, dependerá el volumen de la preparación, ya que si esta es de gran tamaño, el microondas no es el método más óptimo y además se debe considerar el contenido de agua del alimento, el cual influye en la pérdida de nutrientes. Según Kumar and Aalbersberg (2006) el microondas y el vapor son los métodos menos agresivos con las propiedades físicas (sensoriales) y nutricionales de los alimentos. Como lo indicó Achón et al. (2018) los métodos de cocción deberían coexistir en armonía funcional (gastronomía) y salud.

6.5 Análisis de textura para zanahorias.

La textura junto con el color, son características sensoriales de gran importancia para el consumidor a la hora de seleccionar los alimentos (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Comentado [CM16]: Para seleccionar el método de cocción se debe considerar el volumen de la preparación (que significa esto??) y

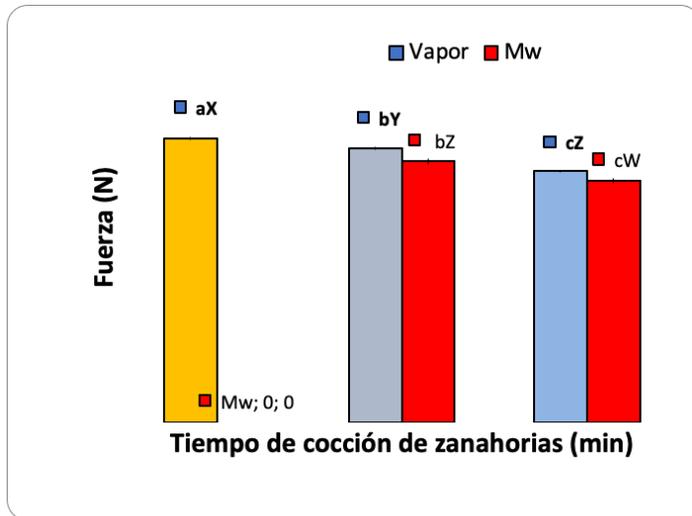


Figura 19. Fuerza de corte aplicada en zanahorias cocción vapor y microondas.

Medias +/- DS de medias de fuerza de corte. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los procesos. Letras mayúsculas distintas (A, B, C) indican diferencias significativas en el mismo proceso. Mw = Cocción en microondas.

Desde el punto de vista de análisis de fuerza de corte del material, es importante hacer notar que el espárrago posee una morfología distinta a la zanahoria, a pesar que ambos son cilíndricos. No obstante, la zanahoria posee un centro o xilema mucho más marcado y definido. El xilema es el corazón y acumula principalmente los pigmentos carotenoides (López, 2015). El floema en cambio almacena glúcidos y es más sólido que el xilema posiblemente por un mayor contenido de fibra, al ser el xilema más duro que el floema las muestras se comportaron como un sistema de estructura mixta lo que generó irregularidad en su resistencia a la fuerza de corte en el producto crudo. Por otro lado, no se encontró diferencia en la fuerza de corte máxima entre el xilema y el floema de las zanahorias cocidas por ambos tipos de tratamiento (Anexo tabla 22). Además, se encontró que la cocción al microondas produjo un ablandamiento del tejido lo que se tradujo en una menor resistencia a la fuerza de corte ($p < 0.05$) comparada con la cocción en vapor (Fig. 19).

6.6 Análisis de textura espárragos

En la Figura 20, se muestran los resultados de las fuerzas de corte en espárragos para la cocción en vapor y microondas. El primer valor que aparece es el correspondiente al espárrago crudo, con una fuerza ejercida para producir el corte, de aproximadamente 47 Newton. Se observaron diferencias significativas en la fuerza de corte ($p < 0,05$) entre tiempos de cocción y tratamientos, las que fueron más evidentes que las presentadas en las zanahorias cocidas.

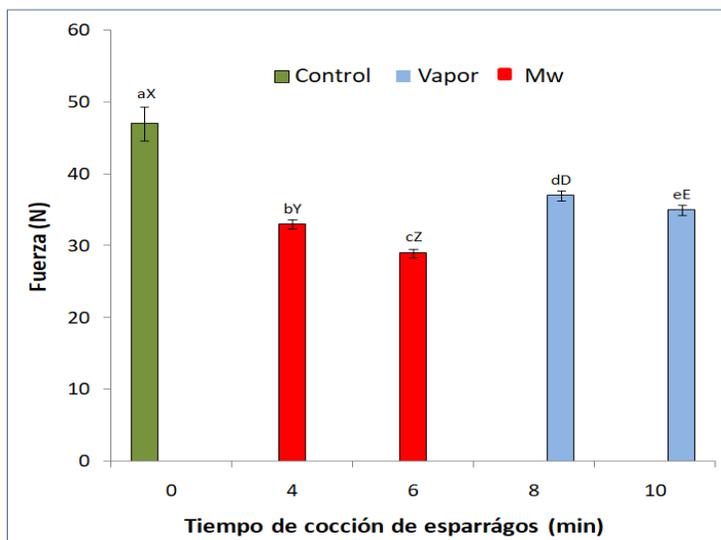


Figura 20. Fuerza de corte aplicada en espárragos, cocción al vapor y al microondas

Medias +/- DS de medias de fuerza de corte. Letras minúsculas distintas (a, b, c, e, f) indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los procesos. Letras mayúsculas distintas (X, Y, Z, D, E) indican diferencias significativas en el mismo proceso. Mw = Cocción en microondas

Los resultados indicaron que a medida que aumentó el tiempo de cocción se necesitó menor fuerza para producir el corte de los espárragos. Este efecto también se observó en las muestras cocidas al vapor, siendo mucho más significativo el efecto en la cocción en microondas. Como ya se comentó, el efecto térmico de las ondas electromagnéticas sobre las moléculas de agua daña indirectamente los tejidos de la fibra y las membranas de la célula vegetal debilitando la

resistencia de corte de la microestructura del alimento. Posiblemente, tanto en las muestras de zanahoria como en espárragos, el agua a nivel celular se vaporiza rápidamente rompiendo la estructura de la célula vegetal, este efecto sería menos significativo en la cocción al vapor (Fig. 20).

6.7 Análisis de color por SVC

6.7.1 Cambios de color en las zanahorias.

Tabla 7. Cambios en los parámetros de color de zanahoria según tipo de cocción.

Cocción	Coordenadas	Tiempo (min)		
		0	2,5	5
Vapor	L*	43,1 ± 4,5 ^{aX}	36,7 ± 7,2 ^{bY}	32,9 ± 2,6 ^{cZ}
	a*	24,8 ± 3,8 ^{aX}	19,4 ± 1,4 ^{bY}	17,3 ± 5,3 ^{cZ}
	b*	28,1 ± 6,4 ^{aX}	19,0 ± 7,8 ^{bY}	17,0 ± 1,4 ^{cZ}
Microondas	L*	43,1 ± 4,5 ^{aX}	39,9 ± 5,7 ^{bY}	35,0 ± 5,4 ^{cZ}
	a*	24,8 ± 3,8 ^{aX}	23,0 ± 1,9 ^{bY}	20,2 ± 3,3 ^{cZ}
	b*	28,1 ± 6,4 ^{aX}	21,9 ± 6,1 ^{bY}	19,3 ± 1,8 ^{cZ}

Promedio ± DSV (n = 27). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas de los parámetros en relación al tiempo (p<0,05). Letras mayúsculas distintas (X, Y, Z) indican diferencias significativas en el mismo proceso.

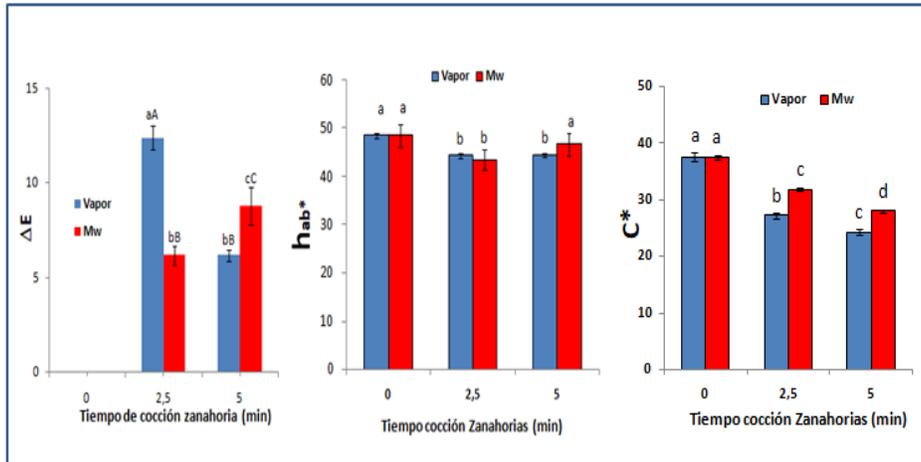


Figura 21. Cambios de ΔE , h_{ab}^* (tono) y C^* (pureza) para zanahoria cocida al vapor y microondas (Mw). Promedio \pm DSV ($n = 27$). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tiempos de cocción. Letras Mayúsculas (A, B, C) distintas indican diferencias entre en tiempos similares de cocción.

Comentado [CM17]: ?

La Tabla 7 y la figura 21, presenta la variación de los parámetros L^* , a^* , b^* y los módulos compuestos ΔE , h_{ab}^* y C^* , respectivamente y que fueron obtenidos mediante el análisis de color por SVC de las muestras de zanahorias cocidas por vapor y microondas a diferentes tiempos. Los resultados indicaron que para la zanahoria cruda se presentaron variaciones significativas de color para los parámetros L^* , a^* y b^* , dadas principalmente por una disminución del brillo del producto en el tiempo de cocción reflejado por el descenso del parámetro L^* . Por otro lado, la tendencia a disminuir del parámetro a^* , indica una pérdida leve del color rojo y tendencia al amarillo. Estos cambios se presentaron de igual manera en las zanahorias cocidas al vapor y en microondas.

Por otro lado, mediante el cálculo del parámetro ΔE (Fig. 21), se encontró que todas las muestras de zanahoria presentaron diferencias significativas en el cambio de coloración ($p < 0.05$) entre tratamientos y entre tiempos de cocción para un mismo tratamiento. Los valores superiores a $\Delta E = 5$, indicaron que el cambio de color fue detectable por el ojo humano, lo que fue más notorio en la cocción al vapor a los 2,5 min, pero a tiempo mayor el cambio fue más perceptible en las muestras cocidas al microondas. La tonalidad dada por h_{ab}^* en zanahoria cocida al vapor presento una variación significativa entre rojo y amarillo a

los 2,5 min ($0 < hab^* < 90$) coincidiendo con lo observado en ΔE . Por otro lado, C^* el indicador de la pureza del color tuvo una fuerte caída a los 2,5 y 5 min, lo que coincide con los otros parámetros, indicando una baja de la tonalidad natural del producto siendo más notoria en zanahoria cocida al vapor, posiblemente debido a la exposición de la superficie del producto al calor, a diferencia de lo que ocurre con el sistema microondas. Estos resultados concuerdan con la menor retención de carotenos, en el calentamiento al vapor, y por lo tanto se pueden asociar a una caída en las tonalidades del vegetal, que se presentó en mayor grado con este tratamiento.

6.9 Cambios de color en los espárragos.

La Tabla 8 y la figura 22, presenta la variación de los parámetros L^* , a^* , b^* y los módulos compuestos ΔE , hab^* y C^* , respectivamente y que fueron obtenidos mediante el análisis de color por SVC de las muestras de espárragos cocidas por vapor y microondas a diferentes tiempos. En general en espárragos las diferencias de los parámetros de color, L^* , a^* y b^* fueron significativas con el tiempo de cocción. Además, se observaron diferencias significativas entre los métodos de cocción. El brillo del espárrago representado por parámetro L^* tendió a disminuir con el tiempo, igualmente el color verde dado por a^* varió a un tono menor pero dentro del verde. Los valores de b^* , entre un color cercano al amarillo y azul fue menos intenso como se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Cambios en los parámetros de color de espárragos según cocción

Cocción	coordenadas	0 minutos	4 minutos	6 minutos
Microondas	L^*	$14,3 \pm 1,5^{aA}$	$13,3 \pm 2,4^{bA}$	$9,8 \pm 3,1^{cA}$
	a^*	$-25,6 \pm 4,1^{aA}$	$-28,9 \pm 4,0^{bB}$	$-34,6 \pm 6,3^{cB}$
	b^*	$19,4 \pm 4,0^{aA}$	$12,8 \pm 2,3^{bC}$	$9,5 \pm 6,9^{cC}$

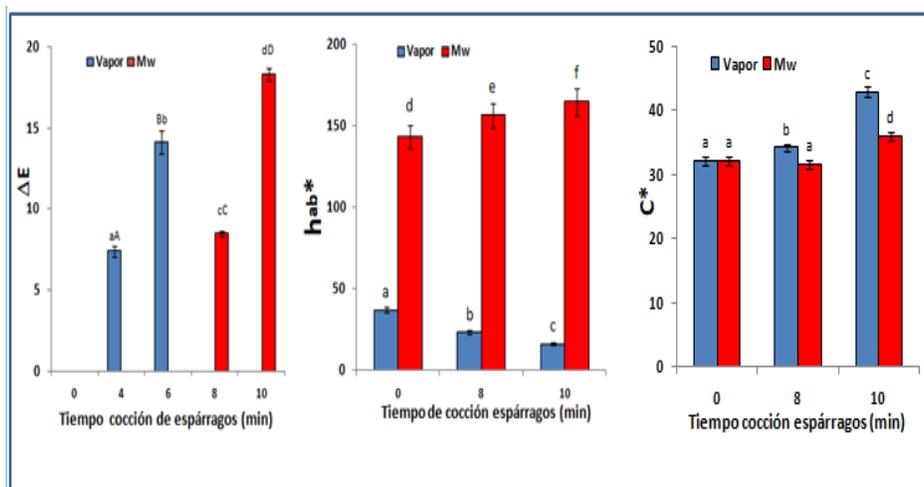
Cocción	coordenadas	0 minutos	8 minutos	10 minutos
Vapor	L^*	$14,3 \pm 1,5^{aA}$	$12,1 \pm 4,2^{bB}$	$8,3 \pm 2,6^{cB}$
	a^*	$-25,6 \pm 4,1^{aA}$	$-31,4 \pm 11,0^{bC}$	$-41,2 \pm 6,9^{cC}$
	b^*	$19,4 \pm 4,0^{aA}$	$13,6 \pm 5,2^{bD}$	$11,9 \pm 1,1^{cD}$

Promedio \pm DSV (n = 27). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas de los parámetros en relación al tiempo ($p < 0,05$). Letras mayúsculas (A, B, C) indican diferencias significativas entre los tratamientos.

Comentado [NMRP(18): Hacer análisis estadístico entre tratamientos

Por otro lado, la evaluación de ΔE indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) en la tonalidad del color, dado que los valores tuvieron la misma tendencia en las muestras cocidas por ambos métodos, caracterizado por una **disminución significativa de color de las muestras, siendo** este cambio significativo en las muestras tratadas por microondas a cortos tiempos (4 y 6 min) y en periodos largos de calentamiento en vapor (8 y 10 min). Lo que se corresponde con la mayor pérdida de textura y de folatos. Los cambios de color estarían relacionados con la degradación de pigmentos como clorofila y la destrucción de las membranas y tejidos vegetales (Suaterna, 2007). Tal como lo mencionan estudios previos a mayor tiempo de cocción, mayor será la pérdida del color (Bautista et al. 2016; Moncada and Gualdrón de Hernandez, 2006). Por otro lado, la tonalidad dada por h_{ab}^* , tendió a mantenerse constante entre verde y amarillo en los espárragos cocidos por microondas, esta tendencia fue significativamente diferente en la cocción al vapor ya que los valores fueron mucho menores, acercándose a amarillo y rojo ($h_{ab}^* < 90$), indicando que el vapor produce una mayor pérdida de color verde y mayor pardeamiento, posiblemente dada por la degradación de los pigmentos clorofílicos. Igualmente, los cambios de la pureza del color fueron mayores en las muestras cocidas al vapor que las cocidas por microondas.

Comentado [NMRP(19): No me cuadran estos tiempos de cocción. No son los indicados en cuadros anteriores ni en metodología



Comentado [NMRP(20): No me cuadran los tiempos graficados para MW y vapor, no son los indicados en cuadro 8 y anteriores

Figura 22. Cambios de ΔE para zanahoria cocida al vapor y microondas (Mw). Promedio \pm DSV (n = 27). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas entre los valores de las columnas. Letras Mayúsculas (A, B, C) distintas indican diferencias entre los cocciones en tiempos similares. ($p < 0,05$) Prueba LSD de Fisher indicar letras mayúsculas

6.13 Relación entre la pérdida de textura y la pérdida de vitaminas

Al evaluar las relaciones entre la pérdida de la textura y la retención de β -caroteno en zanahorias (de acuerdo con el análisis estadístico), existe una correlación significativa $r = 0,8138$ con una dispersión importante en la textura, como se muestra en la figura 23.

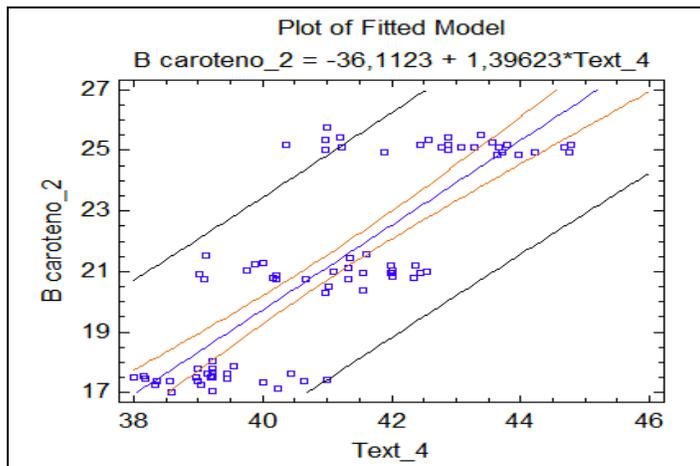


Figura 23. Relación entre pérdida de textura y retención de β -caroteno en zanahorias

Respecto a las muestras de espárragos y la relación entre la pérdida de textura y la pérdida de 5-MTHF en la cocción en microondas, se determinó una correlación significativa (una menor dispersión en relación con el resultado de las zanahorias) como se muestra en la figura 24. La correlación que existe entre la pérdida de textura y la pérdida de 5-MTHF corresponde a $r = 0,9945$.

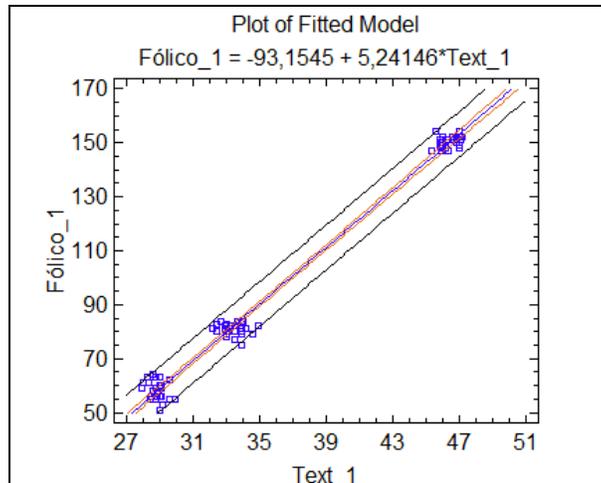


Figura 24. Relación entre la pérdida de textura y retención de 5-MTHF en la cocción en microondas.

Luego, para la cocción de los espárragos en vapor, también existe una correlación, entre la pérdida de textura y la pérdida de folatos. En la figura 25 se muestran se muestra la correlación de $r = 0,9335$. En este caso se muestra una mayor variabilidad, pero un alto valor r que obedece en parte a la compensación entre los 2 grupos de valores más bajos.

De acuerdo con los análisis estadísticos realizados, en ambas cocciones, con sus respectivos tiempos de procesamiento térmico, existe una correlación entre la pérdida de textura y la pérdida de vitaminas. En los resultados de las zanahorias la dispersión es mayor que en los espárragos y la correlación es algo menor que la que existe en los espárragos, ya que en los espárragos la correlación es estrecha. Sin embargo, en ambas matrices se muestra que a medida que disminuye el contenido de vitaminas también disminuye la textura en el producto. Además, se determinó que la pérdida se incrementa con el tiempo de cocción.

Comentado [CM21]: Falta la fig 25

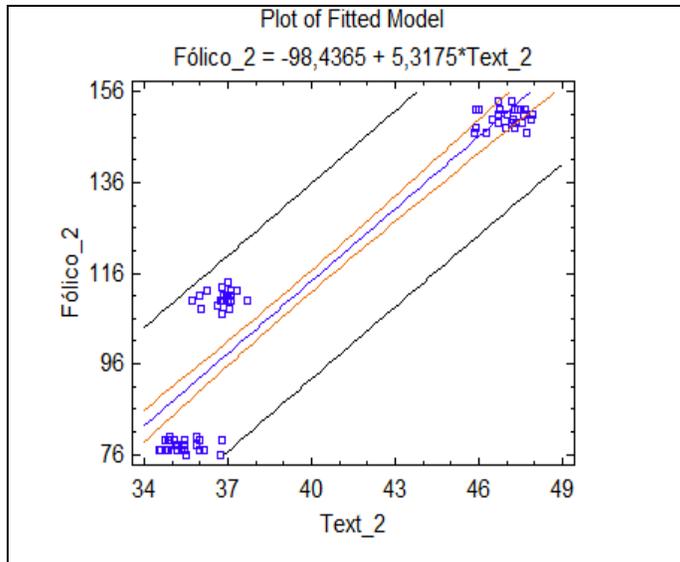


Figura 25. Relación entre la pérdida de textura y retención de 5-MTHF en cocción al vapor.

7. Conclusión

Los resultados de los procesos de cocción de la zanahoria, indicaron que hubo diferencias significativas en el contenido de β -caroteno entre el producto crudo y el cocido a los diferentes tiempos de cocción, para ambos procesos ensayados. Lo mismo, se determinó con el proceso de cocción de los espárragos. Se observó que a medida que aumenta el tiempo de cocción, el contenido de vitaminas disminuye de manera proporcional.

El método de cocción por microondas mostró que preserva de mejor manera el β -caroteno de naturaleza liposoluble, pero fue menos efectivo que la cocción al vapor en la protección del folato en este caso de 5-MTHF, de naturaleza hidrosoluble presente en los espárragos.

Al momento de elegir un proceso térmico para la cocción de un alimento, se debe considerar los factores como la naturaleza hidrosoluble o liposoluble de las vitaminas presentes en el alimento, el tiempo de cocción, el contenido de agua y fibra del alimento, entre otros.

Comentado [NMRP(22)]: Organicé mejor esta idea

Con relación a la textura, el vapor resultó un método de cocción menos dañino que el microondas. Respecto a la preservación del color del alimento, ambas cocciones presentaron cambios significativos en su tonalidad general.

Se encontró una correlación positiva entre la pérdida de textura de las matrices y la pérdida de vitaminas en los alimentos estudiados. A medida que aumentó el tiempo de cocción, aumenta la pérdida de textura y la pérdida de vitaminas del alimento. Con los resultados aquí expuestos, se ha logrado corroborar lo mencionado en la hipótesis de manera parcial. Los efectos de pérdida de nutrientes que produce la cocción al vapor en las matrices vegetales, son menores en cuanto a las pérdidas que se produce por la cocción al microondas. De igual manera sucede con la textura, el color y los parámetros analizados. Sin embargo, estas diferencias si bien en su mayoría fueron estadísticamente significativas, en algunas de las evaluaciones no mostraron mayores diferencias. Aun así, podemos afirmar que el vapor de manera controlado, produce menor pérdida de β -caroteno en zanahoria y de folatos en espárragos, así como los cambios de color y textura de estas matrices alimentarias, comparada con la cocción al microondas

Comentado [NMRP(23): Se entiende mejor así y está mejor redactada

8. Bibliografía

- Achón Tuñón, M., González González, M. P., & Varela-Moreiras, G. (2018). Criterios de armonía funcional entre gastronomía y salud: una visión desde la comunidad científica. *Nutricion Hospitalaria*, 35(4), 75–84. <https://doi.org/10.20960/nh.2131>
- Aguirre Calvo, M. L., Castillo D, C., & Le Roy O, C. (2010). Desafíos emergentes en la nutrición del adolescente. *Revista Chilena de Pediatría*, 81(6), 488–497. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062010000600002>
- Amaya, D. B. R., Pandrangi, S., LaBorde, L. F., Basulto, J., Moñino, M., Farran, A., Baladia, E., Manera, M., Cervera, P., Romero-de-Ávila, M. D., Miret, F., Astiasarán, I., Bonany, J., Gelabert, V., Ballesteros, J. M., Martínez, A., Palou, A., Labrador, J., Marques-Lopes, I., ... Guzmán, C. A. (2015). Captura de pantalla (237). *InformacionTecnologica*, 42(2), 1–25. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09919.x>
- Baile, J. I. (2015). Obesos pero malnutridos: Un grave problema en Latinoamérica. *Revista Médica de Chile*, 143(10), 1361–1362. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872015001000018>
- Basulto, Julio Asociación “5 al día” y fundación española de dietistas-nutricionista FEDN. 2015, Madrid, E. (n.d.). *Pérdida de vitaminas en procesos culinarios.pdf*.
- Basulto J, Baladia E, Manera M, Miserachs M, Babio N, Mielgo J, A. P. et al. (2012). *Pérdidas de nutrientes mediante la manipulación doméstica de frutas y hortalizas*. 1–20. <http://www.grep-aedn.es/documentos/FyH.pdf>
- Bautista, M., González, A., Guerra, C., González, J., & Espinoza-Mata, A. (2016). Influencia del tipo y tiempo de cocción en la degradación de clorofila en hortalizas. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 411–416. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/3/71.pdf>
- Beltrán, B., Estévez, R., Cuadrado, C., Jiménez, S., & Alonso, B. O. (2012). Base de datos de carotenoides para valoración de la ingesta dietética de carotenos, xantofilas y de vitamina a; utilización en un estudio comparativo del estado nutricional en vitamina a de adultos jóvenes. *Nutricion Hospitalaria*, 27(4), 1334–1343. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.4.5886>
- Bureau, S., Mouhoubi, S., Touloumet, L., Garcia, C., Moreau, F., Bédouet, V., & Renard, C. M. G. C. (2015). ¿Are folates, carotenoids and vitamin C affected by cooking? Four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables. *LWT - Food*

Science and Technology, 64(2), 735–741. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.016>

- Caballero, A. D., Dunoyer, A. T., Bustillo, J. M., Vergara, C., Guarín, R. G., & Castellanos, J. P. (2018). Evaluación de la dureza de diversos alimentos. *Revista Cubana de Estomatología*, 55(1), 34–41.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2012). *Microwave food processing – a review*.
- Char, C. 2017. Carrots (*Daucus carota* L.). En: “Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health”, Second Edition. Capítulo 46, pp. 969 – 978. E. M. Yahia (Ed.). John Wiley & Sons, Inc., London, UK. (ISBN: 978-1-119-15794-6). <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch46>.
- Crossen, E. W., & Crossen, E. W. (2017). *Textural, Color and Sensory Attributes of Fruits and Vegetables Dried Using Electric Forced-Air and Solar Dehydrators*.
- Díaz Morcillo, A., Monzó Cabrera, J., Domínguez Tortajada, E., & Requena Pérez, M. E. (2004). Principios Fundamentales y Aplicaciones del Calentamiento por Microondas. *Teleforum, January*, 1–3.
- Fernández, C., García, M., Tineo, Y., & Altomare, V. (2008). Efecto de la irradiación con microondas sobre las propiedades sensoriales de algunos productos cárnicos y marinos. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 31(ESPECIAL), 130–150. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400016&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Fsis, U. (2019). *Microwave Ovens and Food Safety*. 1–6.
- González Díaz, E. E. (2007). **Análisis comparativo de las propiedades organolépticas de zanahoria deshidratada con y sin pretratamientos osmótico.** Tesis para optar al título de Ingeniero químico, Universidad de San Carlos de Guatemala. Pdf, Article, 75.
- Granados, C., Acevedo, D., Cabeza, A., & Lozano, A. (2014). Análisis de perfil de textura en plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Informacion Tecnologica*, 25(5), 35–40. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500006>
- Guillén, S., Mir-Bel, J., Oria, R., & Salvador, M. L. (2017). Influence of cooking conditions on organoleptic and health-related properties of artichokes, green beans, broccoli and carrots. *Food Chemistry*, 217, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.067>
- Gustavo, A., & Mora, J. *La Cocina Al Vapor, 2007. Academia.Madrid, España, 1*, 1–25.

Hassan, M., & Atiquzzaman, M. (2000). Performance of TCP/IP over ATM networks. In *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (Vol. 50, Issue 3). Artech House. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Hassan, M., Atiquzzaman, M., & Heredia, F. J. (2000). Performance of TCP/IP over ATM networks. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (Vol. 54, Issue 2). Artech House. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Hernández, R. G., Candelas, C. M., Meza, V. J., & Minjares, F. R. (2010). Estabilidad en el color y la concentración de carotenos en zanahorias escaldadas a diferentes temperaturas. *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1481–1488.

Hernández, T. P., Aldana, M. I., & Rodríguez, L. I. (2011). Validación de un método para la determinación de β -caroteno en aceite de palma por HPLC con detector UV. *Alimentos Hoy*, 15(15), 32–39.

<https://www.redagricola.com/cl/el-esparrago-en-el-mundo-implicancias-para-chile/>.

Red agrícola. *El Espárrago En El Mundo, Implicancias Para Chile*. 2018.

ISP, S. Q. de A. y N. (2008). Procedimiento para determinar folatos en harina de trigo. Método UV-HPLC. *PRT-711.02-063, 1*, 1–8. <file:///Users/KatChown/Documents/canstockphoto1089753.pdf>

Jiang, H., Liu, Z., & Wang, S. (2018). Microwave processing: Effects and impacts on food components. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 58, Issue 14, pp. 2476–2489). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1319322>

Journal, S., Basulto, J., Moñino, M., Farran, A., Baladia, E., Manera, M., Bonany, J., Gelabert, V., Ballesteros, J. M., Martínez, A., Alonso, M., Riquelme, F., Polanco, I., & Rodríguez-artalejo, F. (2014). *Nutrición Humana y Dietética*, 18(2), 100–115. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.1.179>

Kahlon, T. S., Chiu, M. M., & Chapman, M. H. (2008). *Steam cooking significantly improves in vitro bile acid binding of collard greens, kale, mustard greens, broccoli, green bell pepper, and cabbage*, 28, 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2008.03.007>

King, J., & Pablo, S. de. (1987). Perdidas de vitaminas durante el procesamiento de los alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*, 15(3), 143–152.

Comentado [CM24]: ¿??

Comentado [CM25]: Está repetido

Comentado [CM26]: Está abreviado, uniformar referencias

- Kirschenbilder, E., Castagnino, A. M., Díaz, K. E., Rosini, M. B., & Falavigna, A. (2015). Cadena espárrago: producción de diferentes genotipos en su quinto año y comportamiento en poscosecha. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 99. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16933>
- Kumar, S., & Albersberg, B. (2006). Nutrient retention in foods after earth-oven cooking compared to other forms of domestic cooking {star, open} {star, open} Results of this work are printed as a technical report with limited distribution by the Institute of Applied Sciences at The University. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4), 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.06.006>
- Li, Q., Shi, X., Zhao, Q., Cui, Y., Ouyang, J., & Xu, F. (2016). Effect of cooking methods on nutritional quality and volatile compounds of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume). *Food Chemistry*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.068>
- Lopera Cardona, S., & Gallardo Cabrera, C. (2010). Estudio de la fotodegradación de folatos encapsulado en microesferas de goma arábiga y maltodextrina. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(4), 443–455. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152010000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- López, S. (2015). Fitotecnista Unidad De Aprendizaje: Anatomía De Plantas Cultivadas Responsable: *Universidad Autónoma Del Estado de México*, 1, 286. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32231/secme-5145.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/17500%0Ahttp://hdl.handle.net/20.500.11799/33933>
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Color in food as a measurable quality criterion. *Agro Sur. Ciencia de Los Alimentos*, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Moncada, L. M., & Gualdrón de Hernandez, L. (2006). Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos 1. *Revista de Investigación*, 6(2), 179–187. <http://www.redalyc.org/pdf/952/95260205.pdf>
- Moyano, M. J., Melgosa, M., Alba, J., Hita, E., & Heredia, F. J. (1999). Reliability of the bromthymol blue method for color in virgin olive oils. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(6), 687–692. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0160-x>
- Mueller, H. R. (1990). The effect of industrial handling on micronutrients. *Journal of*

- Nutritional Science and Vitaminology*, 36 Suppl 1, S47-55.
https://doi.org/10.3177/jnsv.36.4-supplementi_s47
- Murphy, E. W., Criner, P. E., & Gray, B. C. (1975). Comparisons of Methods for Calculating Retentions of Nutrients in Cooked Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23(6), 1153–1157. <https://doi.org/10.1021/jf60202a021>
- National Institutes of Health (NIH). (2016). ¿Qué es el folato? ¿Para qué sirve? *Office of Dietary Supplements*, 4. <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Folate-DatosEnEspanol.pdf>
- Ogliano, V. I. F., & Ellegrini, N. I. P. (2008). *Effects of Different Cooking Methods on Nutritional and Physicochemical Characteristics of Selected Vegetables*. 139–147.
- Papadakis, S., Abdul Malek, S., Kamdem, R. E., & Yam, K. (2000). A Versatile and Inexpensive Technique for Measuring Color of Foods. *Food Technology*, 54, 48–51.
- Pellegrini, N., Chiavaro, E., Gardana, C., Mazzeo, T., Contino, D., Gallo, M., Riso, P., Fogliano, V., & Porrini, M. (2010). Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4310–4321. <https://doi.org/10.1021/jf904306r>
- Pezoa, M. (2010). *Propuesta metodológica que permite evaluar la percepción de la calidad percibida desde los usuarios de salud*. 1–17. Departamento Estudios y Desarrollo. https://www.supersalud.gob.cl/documentacion/666/articulos-7318_recurso_1.pdf
- Profile, S. E. E. (2017). *La diversidad y calidad nutricional de los alimentos*. September 2013.
- Quaglio, P., & Messi, P. (2000). Microwave cooking and food safety. *Igiene Moderna*, 113(5), 379–389.
- Ratner, R. Nutrición y Salud. Déficit de Vitamina B. 2012. <http://medicina.udd.cl/files/2017/07/vitamina-B-294.pdf>
- Reddy, M. B., & Love, M. (1999). The impact of food processing on the nutritional quality of vitamins and minerals. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 459, 99–106. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4853-9_7
- Suárez de Ronderos, M. del P. (2003). Folatos: nutriente redescubierto. *Acta Médica Costarricense*, 45(1), 05–09.
- Suaterna Hurtado, A. C. (2011). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectivas En Nutrición Humana*, 11(1), 39–53. Recuperado a partir de

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutricion/article/view/9390>

- Torres, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2), 63–75. https://www.researchgate.net/publication/283352303_Analisis_del_Perfil_de_Textura_en_Frutas_Productos_Carnicos_y_Quesos
- TY - JOUR AU - Szczesniak, Alina PY - 2002/06/01 SP - 215 EP - 225 TI - Texture is a sensory property VL - 13 DO - 10.1016/S0950-3293(01)00039-8 JO - Food Quality and Preference ER -. (n.d.).
- Van Het Hof, K. H., West, C. E., Weststrate, J. A., & Hautvast, J. G. A. J. (2000). Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *Journal of Nutrition*, 130(3), 503–506. <https://doi.org/10.1093/jn/130.3.503>
- Vanaclocha, A., & Requena, J. (2003). Alteración de los alimentos. *Procesos de Conservación de Alimentos*, 35–45. <https://es.scribd.com/doc/274218988/Procesos-de-Conservacion-de-Alimentos-Ana-Casp-Jose-Requena%0Ahttps://alimentos.elika.eus/wp-content/uploads/sites/2/2017/10/7.Alteracion-de-los-alimentos.pdf>
- Wallace, C. A., Holyoak, L., Powell, S. C., & Dykes, F. C. (2014). HACCP - The difficulty with Hazard Analysis. *Food Control*, 35(1), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.012>
- Xu, F., Zheng, Y., Yang, Z., Cao, S., Shao, X., & Wang, H. (2014). Domestic cooking methods affect the nutritional quality of red cabbage. *Food Chemistry*, 161, 162–167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.025>
- Yuan, G., Sun, B., Yuan, J., & Wang, Q. (2009). Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 10(8), 580–588. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0920051>
- Zacarias Isabel, Barrios Lorena, G. C. G. (2013). Tabla de composicion de alimentos. In *Novartis Medical Nutrition*. <http://dieteticaieselgetares.wordpress.com/>
- Zhaoyuan, L. (2015). *China un tesoro culinario milenario Propuesta de una ruta culinaria por China para turistas europeos*. 1–51.

10. Tablas

Tabla 1. ANOVA para β -caroteno por Cocción vapor

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	161535	2	80767,3	8343,76	0,0000
Intra grupos	755,037	78	9,67996		
Total	162290	80			

Tabla 2. Pruebas de rangos para β -caroteno por cocción al vapor.

Cocción al vapor	Casos	Media	Grupos homogéneos
a3	9	198,481	x
a2	9	218,63	x
a1 (cruda)	9	301,667	x

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a1 – a2	*	83,037	1,68581
a1 – a3	*	103,186	1,68581
a2 – a3	*	20,149	1,68581

*indica diferencia significativa

Tabla 3. ANOVA para Folatos en espárragos cocción al vapor

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razon-F	Valor-P
Entre grupos	71008,2	2	35504,1	14028,44	0
Intra grupos	197,407	78	2,53086		
Total (Corr.)	71205,6	80			

Tabla 4. Prueba de múltiples rangos, diferencia de medias cocción vapor.

Muestras – tiempo de	Casos	Media de folatos	Grupos
----------------------	-------	------------------	--------

cocción			homogéneos
a3	9	77,8148	X
a2	9	110,444	X
a1 (crudo)	9	150,222	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a1 – a2	*	39,7778	0,861998
a1 – a3	*	72,4074	0,861998
a2 – a3	*	32,6296	0,861998

Tabla 5. ANOVA de valores HPLC de β -caroteno para cocción de zanahoria en microondas.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	114229,	2	571143,3	6063,25	0,0000
Intra grupos	734,741	78	9,41975		
Total (Corr.)	114963,	80			

Tabla 6. Pruebas de múltiples rangos cocción zanahoria en microondas

Muestras – tiempo de cocción	Casos	Media	Grupos homogéneos
a3	9	209,815	X
a2	9	251,44	X
a1	9	301,667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a1 - a2	*	50,227	1,663
a1 – a3	*	91,845	1,663
a2 – a3	*	41,625	1,663

Tabla 7. Resultados de ANOVA de valores de HPLC para los espárragos y pruebas de múltiples rangos cocción microondas.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor -P
Entre grupos	123790,	2	61894,9	9206,86	0,0000
Entre grupos	524,37	78	6,7227		
Total (Corr.)	124314,	80			

Tabla 8. Pruebas de Múltiples rangos

Muestras tiempo de cocción	Casos	Media	Grupos homogéneos
a3	9	58,3704	X
a2	9	80,8519	X
a1	9	150,222	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a1 – a2	*	69,3704	1,40489
a1 – a3	*	91,8519	1,40489
a2 – a3	*	22,4815	1,40489

Tabla 9. ANOVA para medias de cocciones de zanahorias vapor y microondas

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31379,0	5	6275,81	64184,41	0,0000
Intra grupos	1,17	12	0,0977778		
Total (Corr.)	31380,2	17			

ANOVA entre los grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cocciones de zanahorias con un nivel del 5% de significación.

Tabla 10. Tabla de medias para cocciones en zanahorias

Zanahoria	Casos	Media	Error Estadístico	Limite inferior
Microondas 0	3	301,2	0,180534	300,922
Microondas 2,5	3	251,4	0,180534	251,122
Microondas 5	3	209,733	0,180534	209,455
Vapor 0	3	301,2	0,180534	300,922
Vapor 2,5	3	218,4	0,180534	218,122
Vapor 5	3	198,433	0,180534	198,155
Total	18	246,728		

Esta tabla muestra la media de las cocciones de zanahoria. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad del muestreo. Los intervalos mostrados están basados en el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces.

Tabla 11. Pruebas de múltiples Rangos (LSD)

Vapor-Micro	Casos	Media	Grupos homogéneos
Vapor 5	3	198,433	X
Microondas 5	3	209,733	X
Vapor 2,5	3	218,4	X
Microondas 2,5	3	251,4	X
Microondas 0	3	301,2	X
Vapor 0	3	301,2	X

Tabla 12. ANOVA para medias de cocciones de espárragos Vapor y Microondas

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23003,1	5	4600,63	16430,81	0,0000
Intra grupos	3,36	12	0,28		
Total (Corr.)	23006,5	17			

ANOVA entre los grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cocciones de zanahorias con un nivel del 5% de significación.

Tabla 13. Tabla de medias para cocciones en espárragos

Espárragos	Casos	Media	Error Estadístico	Límite inferior
Microondas 0	3	150,433	0,305505	149,963
Microondas 4	3	80,6333	0,305505	80,1627
Microondas 6	3	58,904	0,305505	57,9627
Vapor 0	3	150,433	0,305505	149,963
Vapor 8	3	111,004	0,305505	110,063

Vapor 10	3	78,1373	0,305505	77,196
Total	18			

Tabla 14. Prueba de múltiples Rangos (LSD)

Vapor-Micro	Casos	Media	Grupos homogéneos
Microondas 6	3	58,4333	X
Vapor 10	3	77,6667	X
Microondas 4	3	80,6333	X
Vapor 8	3	110,533	X
Microondas 0	3	150,433	X
Vapor 0	3	150,433	X

Esta tabla muestra la media de las cocciones de espárragos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad del muestreo. Los intervalos mostrados están basados en el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces.

Tabla 15. Cambios en los parámetros de color de zanahoria según tipo de cocción.

Cocción	Coordenadas	Tiempo (min)		
		0	2,5	5
	L*	43,1 +/- 4,5 ^a	36,7 +/- 7,2 ^a	32,9 +/- 2,6 ^a
Vapor	a*	24,8 +/- 3,8 ^b	19,4 +/- 1,4 ^b	17,3 +/- 5,3 ^b
	b*	28,1 +/- 6,4 ^c	19,0 +/- 7,8 ^c	17,0 +/- 1,4 ^c
	L*	43,1 +/- 4,5 ^a	39,9 +/- 5,7 ^a	35,0 +/- 5,4 ^a
Microondas	a*	24,8 +/- 3,8 ^b	23,0 +/- 1,9 ^b	20,2 +/- 3,3 ^b
	b*	28,1 +/- 6,4 ^c	21,9 +/- 6,1 ^c	19,3 +/- 1,8 ^c

Promedio \pm DSV (n = 27). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas entre los valores de las columnas. (p<0,05) Prueba LSD de Fisher.

Tabla 16. Cambios en los parámetros de color de espárragos según cocción microondas

Cocción	coordenadas	0 minutos	4 minutos	6 minutos
	L*	14,3 +/- 1,5 ^a	13,3 +/- 2,4 ^a	9,8 +/- 3,1 ^a
Microondas	a*	-25,6 +/- 4,1 ^b	-28,9 +/- 4,0 ^b	-34,6 +/- 6,3 ^b
	b*	19,4 +/- 4,0 ^c	12,8 +/- 2,3 ^c	9,5 +/- 6,9 ^c

Promedio \pm DSV (n = 27). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas entre los valores de las columnas. (p<0,05) Prueba LSD de Fisher.

Tabla 17. Cambios en los parámetros de color de espárragos según cocción vapor

Cocción	coordenadas	0 minutos	8 minutos	10 minutos
	L*	14,3 +/- 1,5 ^a	12,1 +/- 4,2 ^a	8,3 +/- 2,6 ^a
Vapor	a*	-25,6 +/- 4,1 ^b	-31,4 +/- 11,02 ^b	-41,2 +/- 6,9 ^b
	b*	19,4 +/- 4,0 ^c	13,6 +/- 5,2 ^c	11,9 +/- 1,1 ^c

Promedio \pm DSV (n = 27). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias significativas. (p<0,05)

Tabla 18. Cambios en los parámetros de color de zanahoria diferencias ambas cocciones.

Cocción		Tiempo (min)		
		0	2,5	5
Vapor	ΔL^*	0	1,83	1,42
v/s	Δa^*	0	4,16	3,3
Microondas	Δb^*	0	2,62	1,54

Tabla 19. Cambios en los parámetros de color de espárragos diferencias ambas cocciones.

Cocción		Tiempo (min)			
		0	4	v/s 6	8 v/s 10
Vapor	ΔL^*	0	1,2	1,52	
v/s	Δa^*	0	2,46	6,55	
Microondas	Δb^*	0	-0,77	-2,38	

Tabla 20. Diferencia de magnitud de color en espárragos

	Microondas v/s vapor 4 y 6 minutos
ΔL^*	1,20
Δa^*	2,46
Δb^*	-0,77

Tabla 21. Diferencia de magnitud de color en espárragos

	Microondas v/s vapor 8 y 10 minutos
ΔL^*	1,52
Δa^*	6,55
Δb^*	-2,38

Tabla 22. Resultados de fuerza de corte de zanahoria, medias totales, corte de xilema y floema en cocción al vapor y cocción en microondas, 0 minuto, 2,5 minutos y 5 minutos.

Tiempo (min)	Media vapor	Medias microondas	Media xilema vapor	Media xilema microondas	Media floema vapor	Media floema microondas
0	43,223	43,223	43,128	42,757	43,101	42,896
2,5	40,003	41,023	41,102	39,899	40,699	38,776
5	39,198	39,206	39,204	39,106	38,312	37,99

Diferencia de promedio vapor y microondas 2,5 minutos 0,51 y DE 0,7212. Diferencia de promedio vapor microondas 5 minutos 0,004 y DE0,005656.

Tabla 23. Resultados de corte de espárragos, medias totales en cocción al vapor y microondas en tiempos diferentes. Vapor: 0, 4 y 6 minutos, microondas: 0, 8 y 10 minutos.

Tiempo (min.)	Medias vapor	Medias microondas
0		46,322
0	47,001	
4		33,409
8	36,835	
6		28,809
10	35,354	

Diferencia de promedios entre cocción vapor de 8 y 10 minutos, 1,481 y DE 9,130. Diferencia de promedios entre cocción microondas 4,6 y DE 12,383.

11.Anexos

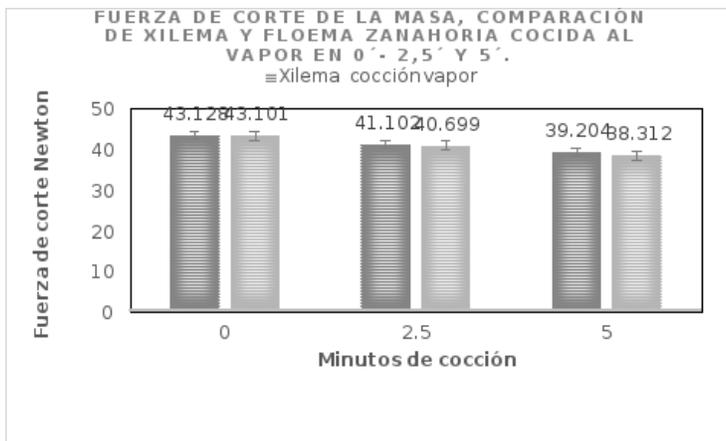


Gráfico 1. Comparación de corte de la masa xilema v/s floema de la zanahoria en cocción al vapor.

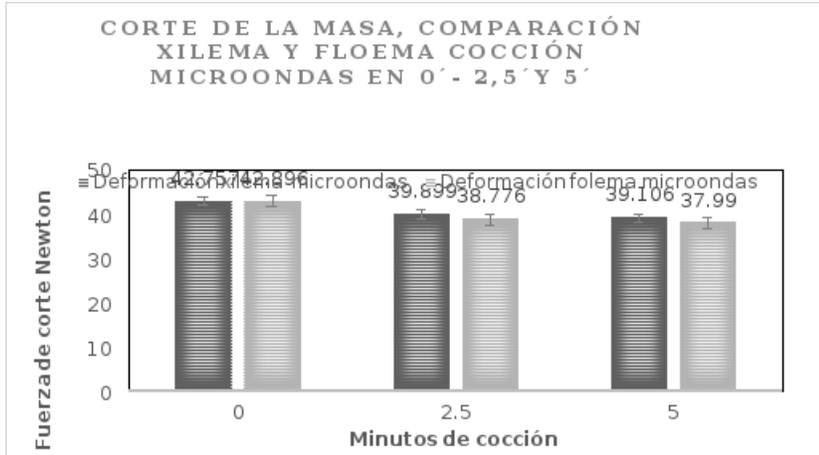


Gráfico 2. Comparación de fuerza de corte de la masa xilema v/s floema de la zanahoria en cocción en microondas.



Gráfico 3. Corte de la masa de espárragos crudos, 8 minutos y 10 minutos cocción en vapor.

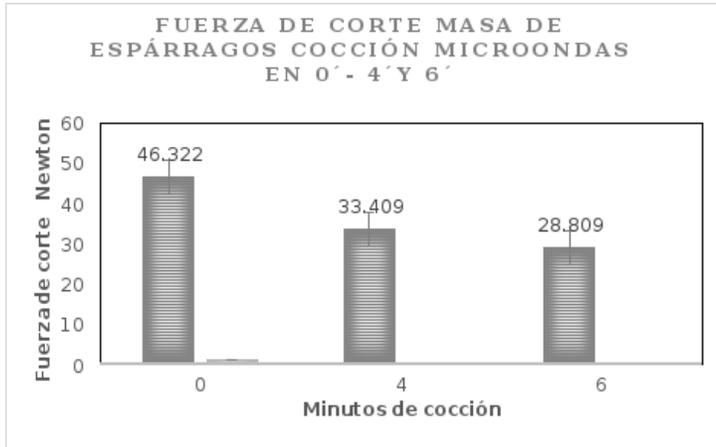


Gráfico 4. Fuerza de corte masa de espárragos crudos, a 4 minutos y 6 minutos cocción en microondas.

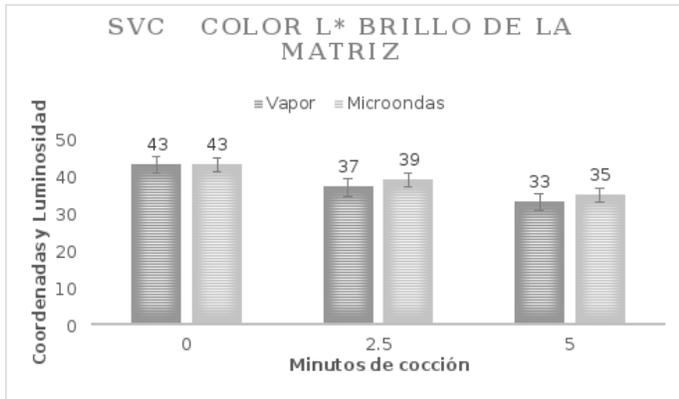


Gráfico 5. Sistema visión por computador: diferencias de luminosidad en zanahorias cocidas en vapor y microondas por tiempo de cocción.

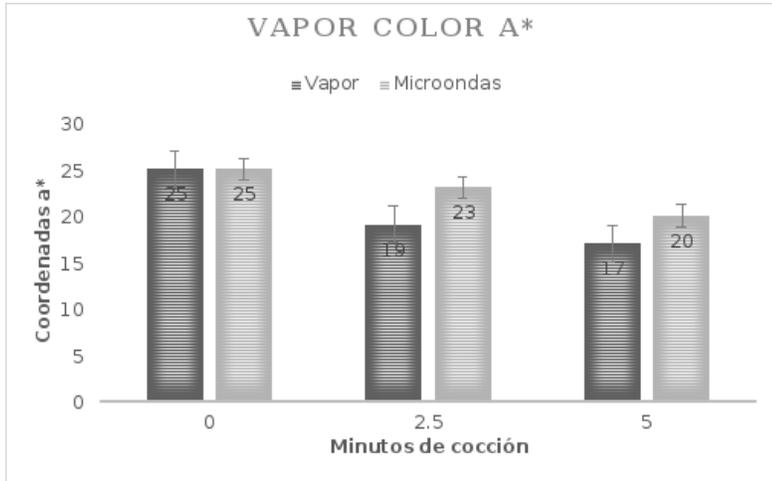


Gráfico 6. Sistema visión por computador: diferencias de color a* (valor positivo se acerca a rojo/calor negativo se acerca a color verde) en zanahorias cocidas en vapor y microondas mismo tiempo de cocción.

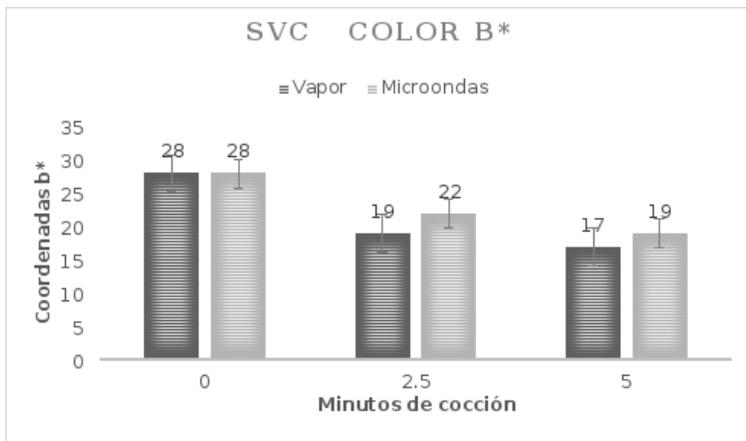


Gráfico 7. Sistema visión por computador: diferencias de color b* (valor positivo se acerca a amarillo y valor negativo se acerca a azul) en zanahorias cocidas en vapor y microondas mismo tiempo de cocción.

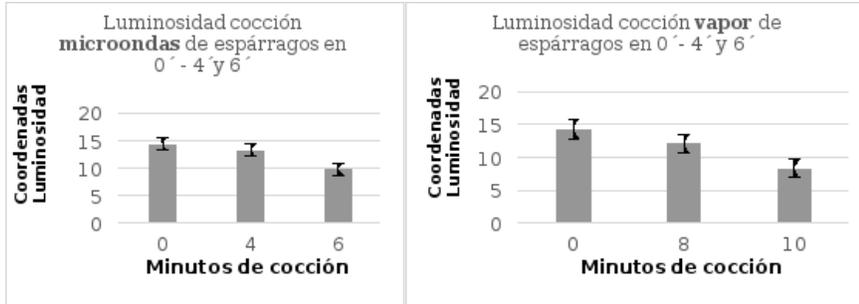


Gráfico 8. Sistema visión por computador: Luminosidad cocción de espárragos en microondas comparación con luminosidad cocción de espárragos en vapor distintos tiempos de cocción.

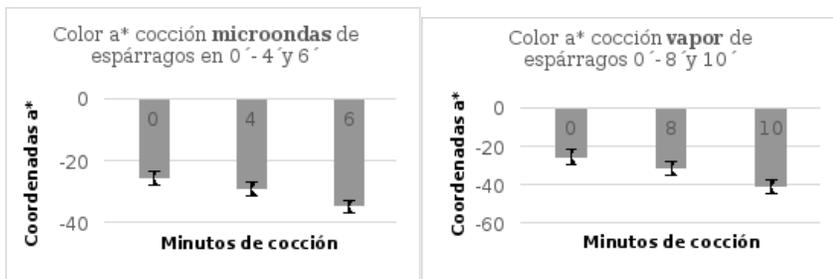


Gráfico 9. Sistema visión por computador: color a* (valor positivo se acerca a rojo/valor negativo se acerca a color verde) en espárragos cocidos en vapor y microondas, distintos tiempos de cocción.

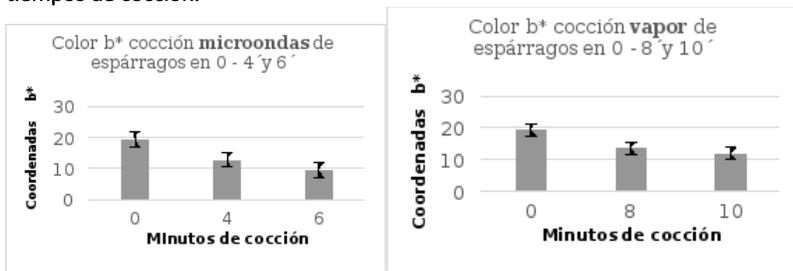


Gráfico 10. Sistema visión por computador: color b* (valor positivo se acerca a amarillo/valor negativo se acerca a azul) en espárragos cocidos en vapor y microondas, distintos tiempos de cocción.

