



Universidad de Valladolid

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Efectos del cocinado de los alimentos sobre los compuestos fitoquímicos y la actividad antioxidante

Grado en Nutrición Humana y Dietética

Curso 2019-2020

Facultad de Medicina

AUTORA: María Jiménez Prieto

TUTORA: María del Pilar Jiménez López

RESUMEN

Desde la invención del fuego, el ser humano ha aprendido diferentes formas de cocinar los alimentos. Con la evolución de la sociedad también se han desarrollado nuevos métodos, desde técnicas simples como el salazón hasta llegar a una serie de técnicas muy desarrolladas como el cocinado a alta presión.

El cocinado de los alimentos conlleva la aplicación de calor sobre ellos, la cual provoca una serie de cambios que pueden ser tanto positivos como negativos. Entre ellos, se pueden incluir un aumento de la seguridad alimentaria, una mejora de la digestibilidad y la biodisponibilidad de nutrientes o, por otro lado, una pérdida del valor nutricional, formación de sustancias no deseadas y cambios en la textura, entre otros.

Existen diferentes compuestos con funciones beneficiosas en el cuerpo humano entre los que se pueden destacar los antioxidantes y los fitoquímicos, presentes sobre todo en frutas y verduras. El tratamiento térmico sobre dichos compuestos puede producir determinadas alteraciones, lo que influye en su concentración y biodisponibilidad. Por ello, es clave conocer la forma de optimizar sus condiciones para así evitar que se produzcan pérdidas importantes de estos compuestos.

Se conocen una gran variedad de métodos de cocción, los cuales se llevan a cabo en diferentes condiciones, por lo que cada uno de ellos, puede provocar diferentes modificaciones en los alimentos que consumimos en nuestra dieta. Así, se puede conocer qué métodos de cocción son los ideales para potenciar estas características beneficiosas o qué métodos son los menos beneficiosos para ello.

En este trabajo se revisó la bibliografía disponible sobre los métodos de tratamiento térmico en diferentes vegetales seleccionados como la zanahoria, el calabacín, el brócoli, la coliflor y la alcachofa y se ha evaluado de manera exhaustiva qué componentes se conservan en mejor grado y bajo qué condiciones de tratamiento térmico.

Palabras clave: métodos de cocción, tratamiento térmico, alimentos, vegetales antioxidantes, fitoquímicos, carotenoides, glucosinolatos, polifenoles.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL COCINADO	1
1.2. ANTIOXIDANTES	4
1.3. FITOQUÍMICOS	5
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	7
2.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA EN LA BASE DE DATOS PUBMED	8
3. DESARROLLO DEL TEMA	9
3.1. ASPECTOS BENEFICIOSOS DEL PROCESADO DE LOS ALIMENTOS	9
3.1.1. FORMACION DE COMPUESTOS DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO	10
3.1.2. EFECTOS DEL PROCESADO EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS ALIMENTOS	11
3.2. EFECTOS DEL COCINADO SOBRE LOS FITOQUÍMICOS	16
3.2.1. CAROTENOIDES	16
3.2.2. GLUCOSINOLATOS	17
3.2.3. POLIFENOLES	18
3.3. EFECTOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE COCINADO SOBRE VEGETALES SELECCIONADOS	20
3.3.1. ZANAHORIA	20
3.3.2. CALABACÍN	22
3.3.3. BRÓCOLI	23
3.3.4. COLIFLOR	24
3.3.5. ALCACHOFAS	25
3.4. ALTERACIONES EN LOS COMPUESTOS FENÓLICOS	26
3.4.1. EFECTOS DEL COCINADO EN LOS COMPUESTOS FENÓLICOS	26
3.4.2. EFECTOS DEL COCINADO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE ..	29
4. CONCLUSIONES	31
5. BIBLIOGRAFÍA	32

1. INTRODUCCIÓN

El cocinado de los alimentos implica un tratamiento térmico, el cual, desencadena una serie de cambios en el estilo de vida y en la salud de la población, debidos al consumo de alimentos de alta calidad, seguros y nutritivos.

En los últimos años, el ser humano ha mostrado un gran interés en su correcta alimentación porque entiende que juega un importante papel para su salud. Se recomienda un consumo elevado de frutas y verduras ya que son fuente de una gran variedad de compuestos bioactivos que proporcionan efectos beneficiosos para la salud, destacando sus propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y antioxidantes. Un consumo elevado de estos dos grupos de alimentos se ha relacionado con un retraso en el proceso de envejecimiento y una disminución del riesgo de enfermedades como cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares, aterosclerosis, cataratas, trastornos de la función cognitiva y enfermedades neurológicas.⁽¹⁾

Generalmente, las frutas se consumen crudas pero la mayoría de las verduras se cocinan antes de ser consumidas mediante diferentes métodos de cocción. Esto provoca cambios significativos en su composición química, influyendo así, en la concentración y biodisponibilidad de estos compuestos.

Unos compuestos importantes presentes en frutas y verduras son los antioxidantes y los fitoquímicos, ambos con efectos beneficiosos sobre la salud. Los antioxidantes son sustancias capaces de impedir o retrasar el desarrollo de procesos de oxidación que se pueden desencadenar en el organismo, produciendo daño celular. Por ello, es importante optimizar las condiciones del procesamiento con el fin de evitar pérdidas mayores de estos compuestos en los alimentos.

El efecto del procesamiento térmico sobre los fitoquímicos debe ser evaluado caso por caso, teniendo en cuenta tres factores principales: la naturaleza química de la molécula, el ablandamiento de los vegetales y el tipo de procesamiento térmico. Dependiendo de las condiciones del proceso, de la morfología y de las características nutricionales de los diferentes vegetales, estos procesos pueden tener efectos positivos o negativos.

1.1. EL COCINADO

El cocinado implica la aplicación de calor sobre los alimentos lo que provoca modificaciones biológicas y físico-químicas que conducen a cambios sensoriales, nutricionales y cambios en la textura de los alimentos. Además, podemos destacar un aumento en la seguridad alimentaria como consecuencia de la eliminación de

microorganismos y la desactivación de factores antinutricionales, una mejora de la digestibilidad y de la biodisponibilidad de nutrientes y una formación de moléculas tras una serie de reacciones químicas, que van a aportar color, sabor y aromas a los alimentos. Por todo esto podemos definir la cocción como la operación que transforma física y químicamente el aspecto, la textura, el flavor, la composición y el valor nutritivo de los alimentos, por acción del calor, con objeto de mejorar sus características organolépticas. Pero la cocción también puede provocar efectos negativos en los alimentos que conducen a consecuencias no deseadas como pérdidas del valor nutricional que pueden afectar a vitaminas, minerales, formación de compuestos no deseados como puede ser la acrilamida, cambios de textura, en el color, etc.⁽¹⁾

Existe una gran variedad de métodos de cocción, que podemos agrupar en cocción en medio no líquido, en medio líquido, en medio graso, cocciones mixtas y cocciones especiales.⁽²⁾

- **Cocciones en medio no líquido o en medio seco.** Los alimentos se concentran debido a la evaporación de parte del agua, es decir, se produce un contacto directo con el foco de calor (brasas o el fuego en una parrilla, plancha o en un horno a alta temperatura). Ejemplo: hornear, gratinar, baño María, a la plancha.

- **Cocciones en medio líquido.** El medio de transferencia del calor es un fluido acuoso, es decir, agua, caldo corto o incluso vapor de agua. Ejemplos: escaldado o blanqueado (cocción incompleta en agua hirviendo durante un período de tiempo muy corto), cocido o hervido (cocción del alimento por inmersión en el medio acuoso), escalfado (poca cantidad de líquido por debajo del punto de ebullición), cocción al vapor (a presión normal o alta presión).

- **Cocciones en medio graso.** El medio que comunica el calor al alimento es un cuerpo graso que sea líquido a la temperatura de trabajo y que a su vez es un ingrediente que sufre también las transformaciones como los componentes del alimento y aporta sabor y textura al alimento. En este tipo de cocción es importante el empleo de aceites de elevada calidad que sean capaces de resistir altas temperaturas y que no hayan sido expuestos a un número elevado de tratamientos. Ejemplos: salteado (poca cantidad de grasa a fuego vivo), rehogado (poca cantidad de grasa a fuego lento) y la fritura (inmersión completa del alimento en el medio graso caliente), confitado (inmersión de un alimento en un tipo de grasa que puede ser: mantequilla clarificada, aceite de oliva, manteca de cerdo, etc. y cocinado a temperatura entre 60 y 90°C).

- **Cocciones mixtas.** El medio de cocción puede contener agua y grasa. Puede ser un líquido añadido, del propio alimento o de la guarnición que le acompaña. Ejemplos: estofado (poca grasa y a veces algo de agua, a fuego lento), braseado

(largo período de tiempo a fuego suave), guisado (empleo tanto de agua como de grasa).

- **Cocciones especiales.**

o **Cocción al vacío.** Es la asociación de un envasado hermético obtenido mediante vacío por extracción de aire realizado en un plástico termorresistente y de una cocción húmeda a temperaturas inferiores a 100°C, seguido de un enfriamiento previo al mantenimiento en frío.

o **Cocción al microondas.** Es la operación culinaria en la que los alimentos se calientan por la acción de las ondas electromagnéticas de alta frecuencia en virtud del comportamiento dieléctrico de algunos de sus compuestos. Trabajan a la presión atmosférica y nunca superan los 100°C en el alimento.

En los últimos años, se ha producido un aumento de la demanda por parte de los consumidores de un procesamiento mínimo de los alimentos, sin aditivos y estables. Es decir, alimentos más saludables, adecuados, frescos y naturales y, por tanto, menos procesados y con menos conservantes tanto naturales como químicos. Esto, ha desencadenado una motivación para investigar métodos de preservación de alimentos como alternativa a los tratamientos tradicionales, los cuales, han contribuido a garantizar un alto nivel de seguridad alimentaria, pero también pueden llevar a la degradación de alimentos, afectando a su calidad.

Como método de preservación de los alimentos se han estudiado técnicas no térmicas entre las que destaca el procesamiento a alta presión (HHP), mediante el cual, los alimentos son sometidos a presión hidrostática ultra alta. La preservación de los alimentos a alta presión reduce la carga microbiana al mismo nivel que las técnicas tradicionales, pero conservan nutrientes de mayor calidad. Por lo que la combinación de técnicas de alta presión con otros tratamientos durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos es una vía que podría emplear la industria alimentaria, ya que, a temperatura ambiente, solo mediante la aplicación de presión, no se puede llevar a cabo la inactivación de esporas bacterianas resistentes a altas presiones y diferentes enzimas.⁽³⁾⁽⁴⁾

La temperatura aplicada durante los tratamientos puede ajustarse a temperaturas por debajo de 0°C hasta temperaturas de más de 100°C con rangos de tiempo que pueden variar desde pocos segundos hasta más de 20 minutos.

El mismo autor expresa que las principales ventajas de esta técnica pueden resumirse en las siguientes:

- 1) Permite el procesamiento de alimentos a temperatura ambiente e incluso temperaturas más bajas.

- 2) Permite la transmisión instantánea de presión a través del alimento, independientemente del tamaño y la forma de este, haciendo que la reducción del tamaño sea opcional.
- 3) Como el procesamiento es isostático, el alimento se conserva de manera uniforme sin partículas escapando del tratamiento.
- 4) No rompe los enlaces covalentes por lo que se previene el desarrollo de sabores ajenos a los productos, manteniendo el sabor natural.
- 5) Causa la muerte de muchos microorganismos mientras elimina los daños por calor y el uso de conservantes/aditivos químicos, lo que conlleva una mayor calidad de los alimentos.
- 6) Se puede utilizar para formar ingredientes con propiedades funcionales novedosas.

Pero también podemos destacar algunas limitaciones como pueden ser las siguientes:

- 1) Las enzimas alimentarias y las esporas bacterianas son muy resistentes a la presión y requieren una presión muy alta para su inactivación o la combinación con otros tratamientos.
- 2) La actividad enzimática residual y el oxígeno disuelto da como resultado la degradación enzimática y oxidativa de ciertos componentes alimenticios.
- 3) La mayoría de los alimentos procesados a presión necesitan baja temperatura de almacenamiento y distribución para mantener su cualidades sensoriales y nutricionales.

1.2. ANTIOXIDANTES

El oxígeno, considerado esencial para la vida, también puede dañar el cuerpo debido al proceso en el cual se producen los radicales libres. Estos, son moléculas inestables altamente reactivas y de mucha energía con electrones no apareados.

Los radicales libres reaccionan con mucha facilidad y de forma rápida con otros compuestos, con el fin de capturar los electrones que necesitan para ganar estabilidad, atacando las moléculas estables más cercanas. Una vez que la molécula es atacada y pierde su electrón, se convierte en un radical libre, comenzando así con una reacción en cadena. Algunos radicales libres surgen durante el metabolismo. En algunas ocasiones son producidos por el sistema inmunitario del cuerpo con el objetivo de neutralizar virus y bacterias. Sin embargo, existen factores ambientales como la contaminación, la radiación, el humo del tabaco y los herbicidas, que pueden generar

radicales libres por lo que, por un lado, pueden producir beneficios, pero, por otro lado, pueden inducir una oxidación dañina y como consecuencia causar daños celulares graves, si se producen en exceso. Para tratar con los radicales libres, el cuerpo humano tiene un sistema de defensa que incluye varias enzimas y antioxidantes.⁽⁵⁾

Los antioxidantes son moléculas capaces de donar uno de sus electrones a los radicales libres, concluyendo así con la reacción en cadena porque no inician ni propagan la oxidación. Entonces, podemos definir los antioxidantes como sustancias capaces de estabilizar los radicales libres, es decir, capaces de prevenir o retrasar la oxidación de otras moléculas.⁽⁵⁾

Además, también es importante destacar el papel de los antioxidantes como conservantes. Según la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA), los antioxidantes son sustancias empleadas para conservar alimentos contra el deterioro, rancidez y decoloración causados por la oxidación.

Algunos de los antioxidantes más importantes son la vitamina C y E, carotenoides y compuestos fenólicos, especialmente flavonoides. En el caso de la vitamina C o ácido ascórbico, es un compuesto esencial que actúa como antioxidante natural en alimentos como frutas y verduras.⁽⁶⁾⁽⁷⁾

1.3. FITOQUÍMICOS

Los fitoquímicos son compuestos no nutrientes que componen las plantas y que pueden presentar beneficios, aunque algunos estudios han sugerido que un exceso de fitoquímicos puede ser perjudicial, los profesionales de la salud recomiendan que la mejor forma de consumirlos es partir de alimentos vegetales naturales y no de suplementos. Constituyen un grupo heterogéneo de sustancias en el que existen más de 1000 fitoquímicos conocidos y muchos desconocidos, de los que cabe destacar tres grupos: carotenoides, glucosinolatos y polifenoles, siendo estos últimos los más abundantes.⁽⁸⁾

Los **carotenoides** son isoprenoides de naturaleza extendida que podemos ver como pigmentos rojos, amarillos y naranjas en frutas y verduras. Existen más de 650 carotenoides, pero solo alrededor de 60 están presentes de forma regular en la dieta humana. Los más abundantes son β - caroteno, luteína, licopeno, α -caroteno, β -criptoxantina y zeaxantina, de los cuales, el β - caroteno representa más del 90% del total de los carotenoides.⁽⁸⁾

Además, son precursores de la vitamina A, por lo que son una fuente importante de esta, pero, también, son un potente antioxidante. El déficit de vitamina A

conduce al deterioro del funcionamiento celular ya que tiene un papel importante en numerosos procesos fisiológicos. Asimismo, previene la ceguera y promueve el crecimiento y la morbilidad y mortalidad en niños.

Por otra parte, los **glucosinolatos**, compuestos naturales del metabolismo secundario de las plantas, son un grupo de fitoquímicos principalmente presentes en vegetales del género Brassica, plantas de la familia Brassicaceae, como brócoli, coliflor, repollo y coles de Bruselas. Estos compuestos, son responsables del sabor característico y amargo de este tipo de vegetales. Existen más de 120 glucosinolatos diferentes identificados que se pueden clasificar según su estructura en alifático, aromático, x-metiltioalquilo y heterocíclico.⁽⁸⁾

Por último, los **polifenoles** son un grupo de fitoquímicos reconocidos como los más abundantes en nuestra dieta. Existen más de 8000 sustancias identificadas que se pueden dividir en diferentes grupos según su estructura química:⁽⁸⁾

- **Ácidos fenólicos:** contienen dos elementos, por un lado, el ácido hidroxicinámico que se encuentra en la pared celular vegetal y que está formado por un anillo aromático, un grupo alifático y un ácido carboxílico, y, por otro lado, estructuras hidroxibenzoicas, que son derivados fenólicos del ácido benzoico. Algunos compuestos fenólicos son el ácido cafeico, cumárico, vainílico, ferúlico y protocatéquico, presentes en casi todas las plantas.

- **Flavonoides:** son el grupo más común dentro de los polifenoles vegetales. Proporcionan gran parte de los precursores del color y sabor a frutas y verduras y son susceptibles al calor, por lo tanto, la exposición a altas temperaturas durante la cocción afecta mucho a su contenido. Existen 6 subclases principales de flavonoides: flavonas, flavonoles, flavanonas, catequinas, antocianidinas e isoflavonas.

- **Fitoestrógenos:** grupo de plantas polifenólicas no esteroideas que inducen respuestas biológicas y pueden imitar o modular la acción de los estrógenos endógenos. Las principales clases son isoflavonas, lignanos y estilbenos. Los más estudiados son las isoflavonas, pero los lignanos son más prevalentes en la dieta europea.

Históricamente, los polifenoles fueron considerados como antinutrientes porque algunos demostraron tener efectos adversos en el metabolismo humano, pero recientemente, el reconocimiento de las propiedades antioxidantes de estos, sugiere un planteamiento hacia los posibles beneficios para la salud.⁽⁵⁾

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En los últimos años, la sociedad ha experimentado un auge de los estilos de vida más saludables y en particular centrados en una buena alimentación. Esto es un reflejo de lo que ha preocupado a la comunidad científica y profesionales en las últimas décadas. A la hora de tener una óptima alimentación, no solo es importante una buena elección de los productos a consumir, sino también como sacar el máximo provecho de los nutrientes. En la lucha contra las enfermedades asociadas a la alimentación, no solo es necesario escoger los correctos alimentos, sino la correcta manera de cocinarlos.

El interés de este proyecto radica en la necesidad de tener un amplio conocimiento sobre los alimentos y cómo tratarlos para poder cumplir las demandas de una sociedad cada vez más curiosa y preocupada por lo que ingiere. El propósito principal es conocer los efectos tanto beneficiosos como perjudiciales del cocinado, y en especial del tratamiento térmico, sobre los alimentos y nutrientes. Cabe destacar la importancia de determinados compuestos dentro de alimentos, como, por ejemplo, los antioxidantes y fitoquímicos que forman parte de los mismos y que tienen propiedades que resultan beneficiosas para la salud del ser humano.

Por otro lado, es importante entender y dominar las diferentes técnicas culinarias para así, mejorar la calidad de nuestras comidas y hacer que sea una acción más satisfactoria.

Para desarrollar este trabajo, se revisó la bibliografía disponible sobre el tema y se establecieron los siguientes objetivos:

- Evaluar los diferentes métodos de cocinado.
- Estudiar las posibles alteraciones generadas en el procesamiento de ciertos alimentos.
- Conocer la influencia de los métodos de cocinado en la preservación de antioxidantes y fitoquímicos.
- Determinar los efectos de los distintos métodos de cocción en vegetales seleccionados.

2.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA EN LA BASE DE DATOS PUBMED

Para la elaboración de este trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos PubMed de las palabras clave en relación con el tema tratado. En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos para cada palabra, ordenados de más generales a términos específicos, y se detallan el número de referencias encontradas para trabajos experimentales y de revisión.

Términos búsqueda	Total	Últimos 10 años		Últimos 5 años	
		Trabajo experimental	Revisión	Trabajo experimental	Revisión
Cooking methods	12460	328	381	194	248
Heat treatment	98531	1762	3218	770	1679
Phytochemicals	22671	299	3944	146	2682
Antioxidants	593938	8124	24541	3468	13322
Effects + cooking methods + phytochemicals	65	0	8	1	5
Effects + cooking methods + antioxidants	601	17	19	6	11
Effects + cooking methods + antioxidants + vegetables	121	5	4	3	2
Effects + cooking methods + phytochemicals + vegetables	22	0	4	0	2

Tabla 1: Resultados de la búsqueda bibliográfica en PubMed

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la búsqueda podemos deducir que es necesario el aumento de estudios experimentales para determinar los efectos del cocinado tanto en los fitoquímicos como en los antioxidantes. Esto va a provocar un cambio en la experimentación muy interesante que puede promover determinados métodos para ciertos alimentos con la finalidad de preservar dichas moléculas.

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. ASPECTOS BENEFICIOSOS DEL PROCESADO DE LOS ALIMENTOS

El tipo de procesamiento o tratamiento culinario de los alimentos, como productos complejos que son en cuanto a su composición, es uno de los factores que van a modificar su valor nutritivo. Por tanto, el procesamiento térmico de los alimentos debe ser llevado a cabo de forma óptima para producir efectos beneficiosos y así compensar de la mejor manera posible efectos indeseados que se puedan producir.

El primer y más importante efecto beneficioso es la destrucción de compuestos y microorganismos no deseados. Para conseguir esto, destacan dos tipos de tratamientos térmicos, la pasteurización y la esterilización.

La **pasteurización** es el tratamiento térmico mínimo en el cual se combina tiempo y temperatura para inactivar las bacterias patógenas. En este proceso se alcanzarán temperaturas de hasta 70-80°C, que dependerán del tiempo del tratamiento, a menor temperatura, el tiempo del proceso será mayor. El otro tratamiento es la **esterilización**, que es un tratamiento más intenso, donde se utilizan temperaturas de 110-120°C y, por lo tanto, los tiempos son más reducidos dependiendo del tipo de tratamiento, en el cual, se inactivan tanto las células vegetativas como las esporas. En ambos procesos, siempre que los alimentos estén bien embalados y almacenados, estarán a salvo desde un punto de vista microbiológico. Sin embargo, en el caso de la esterilización, la calidad de los alimentos disminuye conforme transcurre el tiempo de tratamiento, teniendo una vida útil limitada.⁽¹⁾

También hay que destacar la inactivación de factores antinutricionales, es decir, la inactivación de aquellas sustancias que inhiben la utilización de los nutrientes o que son capaces de degradarlos, y por tanto aumentan las necesidades del organismo por un determinado nutriente. Por tanto, podemos decir que el calor aumenta la digestibilidad de los alimentos.⁽¹⁾

Otro efecto beneficioso importante del procesado es la prolongación de la vida útil de los alimentos, determinada por cambios microbianos, bioquímicos, químicos y físicos. Los cambios microbianos y enzimáticos pueden ser detenidos mediante su inactivación por la acción del calor, pero los cambios físicos y químicos siguen ocurriendo en los alimentos hayan recibido tratamiento térmico o no.⁽¹⁾

Otros efectos destacables son la mejora de la digestibilidad y de la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de compuestos deseados como compuestos saborizantes y agentes colorantes.

Es importante saber que los procesos térmicos son efectivos porque provocan un aumento de la velocidad de las reacciones. Las reacciones químicas, bioquímicas y microbianas aumentan con la temperatura, pero por encima de ciertos valores, tanto las enzimas como los microorganismos se inactivan. No todas las reacciones tienen la misma sensibilidad a la temperatura por lo que podemos explotar esta característica para obtener determinados beneficios.⁽¹⁾

Como consecuencia del tratamiento térmico se llevan a cabo una serie de reacciones denominadas reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático, la cual, puede producir compuestos deseables como la formación de melanoidina, o no deseables como la formación de acrilamida.

3.1.1. FORMACION DE COMPUESTOS DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO

La seguridad alimentaria aumenta de manera notable cuando se calientan los alimentos ya que conlleva la muerte de microorganismos o en otros casos, la inactivación de compuestos nocivos como pueden ser los inhibidores de tripsina en leguminosas o la acratoxina A en el café, que es una toxina producida por hongos que tiene efectos neurotóxicos, carcinógenos, genotóxicos, entre otros y que puede contaminar tanto el café como cereales, cacao, vino, etc. Hay acratoxina A, B y C y la más tóxica es la acratoxina A. La inactivación de las células se produce entre 60 y 80°C y en las esporas a temperaturas mayores de 100°C.⁽⁹⁾

Además de la seguridad alimentaria, hay otras razones por las que es fundamental la aplicación de calor sobre los alimentos como puede ser el aumento de la biodisponibilidad de los nutrientes o los efectos sobre la calidad sensorial. Gran multitud de alimentos, ganan atractivo cuando se calientan, debido en muchos casos a la reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático. Su nombre sirve para diferenciarlo del pardeamiento enzimático, el cual es rápido y se observa en frutas y verduras como consecuencia de su oxidación.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

Esta reacción, puede producir una serie de pigmentos de color pardo-oscuro y modificaciones en el olor y sabor de los alimentos, que en unos casos son deseables como ocurre en los asados, tostados y frituras y en otros, indeseables como cuando se produce la formación de colores oscuros que se desarrollan durante el almacenamiento. Además, también tienen una gran relevancia sobre las propiedades nutricionales de los alimentos.⁽¹⁰⁾

Los pigmentos responsables del color producido en las etapas finales de este conjunto de reacciones son las melanoidinas coloidales. Si se llevan a cabo de manera muy intensa, no solo puede producir sabores desagradables, sino que dan lugar a ciertas sustancias potencialmente tóxicas, denominadas premelanoidinas.⁽¹⁰⁾

Por otro lado, hay que tener en cuenta que, desde el punto de vista termodinámico, los alimentos son inestables, es decir, cualquier reacción si no se controla puede tener como consecuencia alimentos no aptos para el consumo. Un ejemplo sería la formación de acrilamida como resultado de la reacción de Maillard. Sin embargo, existen diferentes medidas para mitigar estos efectos peligrosos, las cuales, no son iguales en todos los grupos de alimentos. Por ejemplo, la mitigación de la acrilamida en el café está dirigida a satisfacer diferentes demandas en comparación con los cereales o patatas.⁽⁹⁾

La formación de acrilamida es ligeramente más dependiente de la temperatura que la formación de melanoidina, es decir, la formación de color. Esto implica, que reducir la temperatura reducirá la formación de acrilamida más que la formación de color. Por lo tanto, calentando a una temperatura más baja y un tiempo más largo, la formación de acrilamida se puede reducir manteniendo el mismo color. Esta es una de las formas de mitigar la formación de acrilamida, pero tiene un efecto negativo, y es que, las temperaturas de frituras bajas suelen aumentar la absorción del aceite durante la fritura.^{(1) (11)}

3.1.2. EFECTOS DEL PROCESADO EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS ALIMENTOS

Fibra dietética

La fibra dietética se define como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso.⁽¹²⁾

Según la solubilidad se puede clasificar en fibras solubles como las gomas, las pectinas, el almidón resistente, los mucílagos, algunas hemicelulosas y los polisacáridos no amiláceos e insolubles como la celulosa, algunas hemicelulosas y las ligninas. Estas sustancias, llevan a cabo funciones beneficiosas en el cuerpo humano. Además, puede aumentar la saciedad y acelerar el peristaltismo intestinal, lo que provoca la eliminación de toxinas intestinales y un mayor control del peso corporal.⁽¹³⁾

El tratamiento térmico puede afectar de manera significativa a la fibra, de hecho, en condiciones húmedas, determina la hidrólisis de esta, es decir, cuanto mayor es el tratamiento térmico, mayor es la hidrólisis que se produce.⁽¹⁾

La aplicación de calor es un método común empleado para el pretratamiento del salvado ya que, debido a la gran cantidad de enzimas que están presentes en su estructura, tiene una vida útil deficiente. Así, se pueden inactivar dichas enzimas para aumentar su vida útil, empleando métodos como el vapor, el asado, el microondas y la radiación infrarroja.⁽¹⁴⁾

Empleando el tratamiento a vapor a 121°C durante 1 hora y media, se redujo en gran medida el nivel de sustancias reductoras totales en el salvado de trigo y también se redujo la actividad de la lipasa, enzima que disgrega las grasas de los alimentos, lo que favorece su absorción en un 90% aproximadamente. Además, durante 180 segundos, se inactivan las enzimas endoxilanasas, que degrada el xilano y xilosa, peroxidasa, que cataliza la oxidación de sustratos orgánicos en inorgánicos y α -amilasa, que cataliza la hidrólisis de los enlaces α glucosídicos. En el caso del asado en horno con circulación de aire a 100°C durante 3-4 horas, también se redujo la actividad de la lipasa. Durante el calentamiento por microondas a 900 wátios durante 120 segundos disminuyó la actividad de la lipasa y el contenido en humedad del salvado de trigo, alargando así el período de almacenamiento.⁽¹⁵⁾

La utilización de la radiación infrarroja conlleva un tiempo de procesamiento corto, un consumo de energía bajo, un equipamiento simple, la ausencia de efectos toxicológicos o ambientales, y además reduce la cantidad de ácido fítico sin afectar al contenido en grasas, proteínas y compuestos fenólicos. Este ácido se encuentra en semillas, cereales y leguminosas y constituye la principal forma de almacenamiento de fósforo. Sin embargo, es capaz de atraer minerales esenciales impidiendo o dificultando su absorción.⁽¹⁴⁾

En el caso del salvado se observaron cambios en las propiedades funcionales y en su estabilidad, y se vio que el procesamiento térmico dotó al salvado de sabores. Se detectaron sustancias como las pirazinas en el salvado caliente, que son compuestos aromatizantes importantes generados en alimentos calientes, cuya formación aumenta con el tiempo y la temperatura del proceso. También, afectó a las propiedades reológicas de la harina. Comparándolo con el salvado sin calentar, la harina con salvado tratado térmicamente fue más estable con el tiempo y provocó menos ablandamiento y una menor absorción de agua. El salvado tratado con calor también afectó las propiedades nutricionales y de calidad de los productos de harina. Un ejemplo, es el caso de las galletas hechas con salvado tostado o salvado tratado con microondas, se vio que tenían una menor dureza en comparación con las galletas hechas con salvado no tratado, lo cual es bueno para la aceptabilidad del producto.⁽¹⁴⁾

Almidón

El almidón es un hidrato de carbono complejo y digerible del grupo de los glucanos. Está formado por cadenas de amilosa y amilopectina y constituye la reserva energética de los vegetales.

La aplicación de calor sobre alimentos que contienen almidón, es decir, sobre legumbres, cereales y patatas, provoca la gelatinización del mismo, aumentando así su digestibilidad. Este hecho, conlleva numerosos beneficios para los seres humanos ya que permite mejorar la calidad de las calorías que se están ingiriendo.⁽¹⁾

Proteínas

Las proteínas pueden verse afectadas por diferentes factores que influyan en su digestión y absorción. Algunas de ellas son resistentes a enzimas proteolíticas y atraviesan el intestino delgado permaneciendo prácticamente intactas. La tasa de digestión de las proteínas influye en la cantidad de proteínas que posteriormente se va a absorber en el intestino delgado.

El tratamiento térmico tiene un doble efecto sobre ellas. Por un lado, su desnaturalización puede favorecer la proteólisis, es decir, la degradación de las proteínas, aumentando así su digestibilidad. Esto ocurre en el caso de las proteínas vegetales, las cuales, son poco accesibles si no se aplica un determinado procesamiento. Por otro lado, provoca la formación de agregados de proteínas, las cuales, son menos digeribles que las que no han sido tratadas. Este es el caso de las proteínas animales.⁽¹⁾

Metabolitos vegetales secundarios

Este grupo comprende compuestos con un papel importante en la salud del ser humano, entre los cuales, destacan los **carotenoides**, **polifenoles** y **glucosinolatos**.

Diferentes procesos como el calentamiento, la maceración o fragmentación pueden provocar oxidación, degradación térmica u otras acciones que conlleven una disminución de los componentes de los alimentos procesados en comparación con alimentos frescos, que no han sufrido ningún tratamiento.⁽¹⁾

Carotenoides

Los tejidos vegetales comestibles contienen una gran variedad de carotenoides, proporcionando el color a los frutos rojos, amarillos y naranjas. Pero también, se encuentran en verduras de hoja verde, en las cuales, el color está enmascarado por la clorofila. De hecho, las mayores concentraciones de estas sustancias las podemos encontrar en aquellos tejidos que tienen una

gran cantidad de pigmentos de clorofila. Por ejemplo, las espinacas son un tipo de verduras ricas en carotenoides. ⁽¹⁾ ⁽¹⁶⁾

Durante el almacenamiento y la congelación de frutas y verduras estos compuestos se mantienen relativamente estables, provocando pocos cambios en su contenido, pero en el caso del tratamiento térmico, los cambios se intensifican. Generalmente, se produce un aumento en comparación con los respectivos alimentos crudos, mejorando así su disponibilidad, especialmente cuando factores como oxígeno, luz o calor permanecen en niveles bajos. Esto se debe a la inactivación de la lipooxigenasa, una enzima encargada de catalizar de manera indirecta la oxidación de estos vegetales. La oxidación produce aromas característicos de frutas y verduras maduras y/o alteradas, provocando entre otras, pérdidas de color y también, pérdidas de la actividad provitamina. ⁽¹⁶⁾

Una consecuencia de aplicar calor sobre los vegetales es el inicio de reacciones de isomerización cis-trans, que se produce cuando se llevan a cabo procesos como la esterilización. Para que esto no se produzca a niveles excesivos, la intensidad de los tratamientos debería minimizarse cuanto sea posible. Además, este tipo de reacciones afectan a la actividad de la provitamina A, pero en este caso, no hay repercusión sobre el color.

El procesamiento térmico puede interrumpir enlaces moleculares entre carotenoides y proteínas, por ejemplo, en el caso del brócoli, su ebullición provoca la liberación de β -caroteno de la matriz. Esto se produce como consecuencia de la desnaturalización de los complejos caroteno-proteínas, lo que conlleva a una mejora en la capacidad de extracción. De la misma manera, en las zanahorias se produce un ligero aumento del contenido de β -caroteno. ⁽¹⁾

La influencia de la matriz alimentaria afecta de manera diferente a los carotenoides de los alimentos. En el caso de las espinacas, en principio hay una mayor biodisponibilidad de luteína que de β -caroteno, pero cuando se produce la disrupción enzimática de la matriz, aumenta la biodisponibilidad del β -caroteno, mientras que la luteína se mantiene en los mismos niveles.

Glucosinolatos

Los glucosinolatos son compuestos naturales del metabolismo secundario de las plantas, principalmente de las Brassica, género de plantas de la familia Brassicaceae, como el brócoli, coles de Bruselas, repollo, coliflor, nabos, berza verde, etc. que tienen la capacidad de promover la salud en el ser humano. Para que puedan llevar a cabo su actividad, necesitan ser activados

por la enzima mirosinasa que se va a encargar de romper las paredes de los vegetales y así, liberar los compuestos funcionales de los diferentes compartimentos en los que se encuentran. El daño en el tejido vegetal es necesario para que se produzcan las roturas de las células y el sustrato pueda unirse a la enzima. ⁽⁶⁾

El tratamiento térmico influye en los glucosinolatos y también en la enzima mirosinasa, lo que provoca una alteración del sistema glucosinolatos-mirosinasa debido a la inactivación parcial o total de la enzima.

Los compuestos funcionales liberados se encuentran en mayor proporción cuando los vegetales se consumen en forma cruda, que contienen mirosinasa activa, que cuando se consumen después del procesamiento térmico, que contienen mirosinasa desnaturalizada. Aunque el calor provoque la inactivación de la enzima a temperaturas de 60°C aproximadamente, la liberación se sigue produciendo debido a la existencia de la enzima en la microbiota. ⁽¹⁷⁾

Los cambios durante el procesamiento dependen de la duración, el método de cocción, el tipo de matriz vegetal y la extensión de su disrupción celular y la estructura química de los precursores de glucosinolatos. ⁽¹⁷⁾

En el caso del escaldado, por ejemplo, realizarlo antes de congelarlas, reduce la carga microbiana e inactiva enzimas responsables de cambios de textura durante el almacenamiento en frío. ⁽¹⁷⁾

Polifenoles

Los polifenoles son un grupo numeroso de sustancias orgánicas que están involucrados en la defensa contra el estrés oxidativo, radiación ultravioleta o agresión por patógenos. Son compuestos altamente reactivos y buenos sustratos para diversas enzimas. Además, sufren un gran número de reacciones enzimáticas y químicas durante el almacenamiento y procesamiento de los alimentos. ⁽¹⁾⁽⁸⁾

Las consecuencias del procesamiento de un alimento pueden provocar una disminución, un aumento o pocos cambios tanto en su contenido como en su funcionalidad.

La aplicación de calor sobre las verduras conlleva un ablandamiento y ruptura de componentes de la pared celular con una liberación posterior de moléculas, lo que determina el grado de lixiviación de polifenoles hidrosolubles en agua durante los métodos de cocción o en el caso de la fritura, la destrucción de polifenoles por alta temperatura ⁽¹⁾

3.2. EFECTOS DEL COCINADO SOBRE LOS FITOQUÍMICOS

La cadena de producción de los alimentos engloba distintos pasos como el cultivo, el almacenamiento, el procesamiento, la preparación, etc. de vegetales, los cuales, pueden desencadenar cambios en los niveles de fitoquímicos.

El cocinado puede provocar modificaciones en los compuestos fitoquímicos de los vegetales, aumentando, manteniendo o disminuyendo su concentración. Según el tipo de tratamiento térmico y el tipo de vegetal que estemos utilizando, se pueden producir unos cambios u otros.

3.2.1. CAROTENOIDES

Según diferentes estudios revisados acerca del efecto del cocinado en los carotenoides, la cocción en medio líquido como el hervido es el método más estudiado, al que le sigue fritura, el microondas, la cocción al vapor, la cocción en medio seco como el horneado y, por último, las altas presiones. Estas diferencias pueden deberse a la separación de la estructura de celulosa y la desnaturalización de los complejos carotenoides-proteínas, posibilitando una mayor eficacia y extracción de los compuestos. ⁽⁸⁾

La estabilidad del contenido de carotenoides en los alimentos es muy variable, ya que se encuentra influido por las características de la matriz alimentaria como la composición química y el tamaño de las partículas, y de factores extrínsecos como por ejemplo el tipo y la intensidad del tratamiento térmico.

El tratamiento térmico provoca en algunos vegetales una disminución progresiva de su contenido en carotenoides a medida que se va aumentando el tiempo de cocción. Esto puede explicarse debido a que las cadenas de dobles enlaces que forman los carotenoides son susceptibles a diferentes factores como el oxígeno, el calor, el ácido y la degradación por la luz, a los cuales se hayan expuestos durante el procesamiento. También, hay que tener en cuenta que cocinar puede provocar una isomerización de la forma trans a la forma cis, haciendo que aumente su solubilidad en micelas y, además, tienen una mayor disponibilidad al atravesar la pared intestinal. Por lo tanto, este cambio, no tiene por qué ser una modificación negativa. ⁽⁸⁾

Dentro de los carotenoides, la luteína es el más estable y en ciertos alimentos como por ejemplo las coles de Bruselas, genera un mejor rendimiento que el β -caroteno. En este vegetal, la luteína aumentó su contenido más de un

18% después de hervir, produciéndose una disminución del β -caroteno entre el 6-9%.

En un estudio de zanahorias y tomates, los carotenoides estaban presentes en el cromoplasto en forma de cristaloides, mientras que en mango y papaya se encontraron en subestructuras globulares y tubulares en forma de cristal líquido, consiguiendo así, una mayor bioaccesibilidad. La bioaccesibilidad es un requisito previo para la absorción y es un paso crucial para la biodisponibilidad. ⁽¹⁸⁾

3.2.2. GLUCOSINOLATOS

Los glucosinolatos, definidos anteriormente, también se encuentran modificados como consecuencia de la acción del cocinado. En este caso el mayor número de estudios que se encontraron eran sobre el hervido, siguiéndole la cocción al vapor, microondas, alta presión, fritura y, por último, el horneado. ⁽⁸⁾

Las pérdidas pueden deberse a la acción enzimática y a la descomposición térmica que se lleva a cabo con el tratamiento térmico, pero, su causa principal es la lixiviación, es decir, el proceso por el que se extrae uno o varios solutos de un sólido en el agua de cocción. Cuanto mayor sea el volumen de agua en el que se lleva a cabo el procesamiento, mayor va a ser la lixiviación de los glucosinolatos, y, por tanto, la reducción de su concentración. Otra causa fundamental es el tiempo de cocción de los vegetales, cuánto más prolongado sea, mayor va a ser la degradación de los glucosinolatos. ⁽⁸⁾

Como norma general, el grado de pérdida depende del tipo de vegetal, de su concentración inicial, de la cantidad de agua que se utilice para el tratamiento térmico y, por último, del tiempo de cocción. ⁽⁸⁾

En el caso del microondas, la concentración de glucosinolatos se ve influenciada por diferentes factores como la lixiviación del agua de cocción y los efectos de la degradación térmica durante el proceso, es decir, cuánto mayor es la intensidad del microondas y mayor es el tiempo de cocinado, mayor va a ser la degradación en el alimento. Este método, puede utilizarse con o sin agua, por lo que se podría conseguir una mayor retención de glucosinolatos y sus productos de descomposición. ⁽⁸⁾

En la col roja, podemos encontrar dos tipos de glucosinolatos, uno es la sinigrina responsable de las características más relevantes en cuanto al sabor y el otro es la glucorafanina, que se convierte en sulforafano gracias a la enzima mirosinasa y actúa como antibiótico en las plantas. Se observaron niveles

elevados de glucosinolatos totales con todos los tratamientos de microondas aplicados, un tratamiento bajo a 180W, un tratamiento medio a 540W y un tratamiento alto a 900W. Con este método, los glucosinolatos MSB (metil sulfetil butano) no se encuentran prácticamente afectados mientras que el 2-propinelo, sufre aumentos en su concentración. Empleando este mismo tratamiento para otro vegetal como el brócoli, al tener una estructura mucho más frágil podría provocar pérdidas en el contenido de 2-propinelo.⁽¹⁹⁾

La pérdida de glucobrassicina fue entre 42% y 71%, notablemente más alta en comparación con otros glucosinolatos, En cambio, la glucorafanina, se vio más afectada por el procesamiento en el microondas de 62% y en menor medida por la cocción al vapor.⁽²⁰⁾

Cuando estos alimentos de la familia Brassicaceae se someten a cocción al vapor, a ebullición o cocción en el microondas, se producen reducciones importantes de su contenido en isotiocianatos. Hay otros estudios, que mostraron también niveles de isotiocianatos muy reducidos después del tratamiento a alta presión y la cocción en medio graso.⁽⁸⁾

3.2.3. POLIFENOLES

Los métodos de cocción de polifenoles más estudiados, como en el caso de los glucosinolatos, son el hervido, la cocción al vapor, le sigue el microondas, la cocción a altas presiones, la fritura y el horneado.⁽⁸⁾

Estos compuestos, tienen una buena estabilidad al calor cuando son expuestos a temperaturas altas debido a que cuando se produce una ruptura en el vegetal, el tratamiento térmico puede aumentar el número de grupos fenólicos libres. Esto se puede deber al aumento de la capacidad de extracción, a la hidrólisis de los glucósidos de flavonol que pueden estar presentes en el proceso o a la inactivación de enzimas oxidativas como la polifenol oxidasa. En el caso del licopeno presente en el tomate, al someterlo a la fritura, su contenido aumenta gracias a las altas temperaturas del tratamiento.⁽²¹⁾

Por otro lado, los polifenoles son propensos a la degradación en ciertas condiciones. Por ejemplo, en etapa postcosecha pueden sufrir degradación por diversos motivos como la oxidación en un medio alcalino, es decir, si se encuentran en un pH alcalino, se degradan. Otras acciones que se pueden llevar a cabo son la disminución de su contenido con la madurez del alimento, daños mecánicos por golpes, cortes, etc. En el caso del almacenamiento de alimentos en atmósferas modificadas y controladas, hay que cuidar rigurosamente los

porcentajes óptimos de los gases utilizados, porque si no se cumplen, pueden llevar a la degradación de los alimentos almacenados y en el caso del etileno es muy importante mantener este control, pues es un gas que acelera la maduración y la senescencia de ciertos alimentos como las frutas. Además, la temperatura de almacenamiento también influye, la refrigeración puede inducir a daños que dan lugar a la degradación de los compuestos fenólicos ya que algunos alimentos son sensibles al frío.⁽²²⁾⁽²³⁾

Se ha visto que el contenido de polifenoles en el hinojo disminuyó un 85-90% después del calentamiento con microondas, resultados comparables con los de Kaulman, en los que se observó una disminución de polifenoles en el repollo del 51-89%.⁽²²⁾⁽²⁴⁾

El contenido de polifenoles en los vegetales sufre modificaciones en mayor o menor medida dependiendo de cada caso, mostrándose una pérdida proporcional al tiempo de ebullición y a la cantidad de agua utilizada.

En un estudio realizado se mostró que las espinacas tienen mayor contenido fenólico, seguido del repollo y la col rizada. Estos alimentos, se mantuvieron durante 1 minuto en ebullición y se produjeron pérdidas entre el 12% y el 26% del contenido fenólico total. Por otro lado, se encontraron aumentos del contenido fenólico en judías verdes y brócoli mientras que se observaron pérdidas en el tomate después de someterlo a cocción en medio líquido como el hervido, cocción en medio seco como el horneado y cocción en medio graso como la fritura. En el caso de la col rizada, su contenido en polifenoles disminuyó con el tratamiento al horno, microondas y a presión, pero fue mayor en el caso de la cocción al vapor.⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾

En el caso de la fritura, donde se pueden producir reacciones de Maillard cuando se alcanzan temperaturas muy elevadas, podría conllevar también, una reducción de los niveles de polifenoles al mismo tiempo que aumentan los productos de la reacción de Maillard.⁽⁸⁾

Los vegetales orgánicos, es decir, aquellos vegetales a los que no se les ha añadido pesticidas, herbicidas y fertilizantes son mucho más sensibles al calor que los vegetales convencionales, es decir, aquellos que si han sufrido la adición de estos productos químicos. Los alimentos de hoja son sensibles al calor, produciéndose pérdidas de hasta un 44% en el caso de las espinacas, pero también, aumentos en el caso de la zanahoria, de hasta un 200%.⁽⁸⁾

También, se han encontrado diferencias entre vegetales que han sufrido un proceso de congelación y los que no, siendo más susceptibles al calor los primeros.

Es importante evaluar los efectos del tratamiento térmico en cada tipo de compuesto fenólico en lugar de evaluar el contenido total, ya que cada vegetal presenta patrones diferentes.

3.3. EFECTOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE COCINADO SOBRE VEGETALES SELECCIONADOS

Los tratamientos térmicos desempeñan una serie de funciones cuando se aplican sobre los alimentos, así, se consigue mejorar la digestibilidad, eliminar microorganismos y hacer los alimentos más apetitosos, entre otras.

Con el procesamiento, se producen transformaciones físicas y químicas que afectan al valor nutricional, variando según el tipo de cocinado y de determinados factores que influyen como son el tiempo, la temperatura, la presión, la velocidad, etc.

Además, el cocinado es una garantía sanitaria, elimina mohos, levaduras, bacterias, además de productos químicos utilizados en la agricultura o en la industria, reduce el contenido en sustancias ilegales empleadas en veterinaria como el clenbuterol o la oxitetraciclina, y contaminantes ambientales como hidrocarburos halogenados.

En este apartado vamos a hablar sobre las consecuencias que provocan los métodos de cocinado sobre la zanahoria, el calabacín, el brócoli, la coliflor y las alcachofas.

3.3.1. ZANAHORIA

Las zanahorias son un tipo de vegetal de color naranja debido principalmente, a la presencia en su composición de carotenoides que se ven afectadas por la variedad, la madurez y las condiciones en las que se encuentra durante su crecimiento, lo que quiere decir que existe una gran variabilidad de estos alimentos.

La fuerza necesaria para cortar este vegetal varía en función de las condiciones en las que ésta se encuentra, por ejemplo, se requiere una mayor fuerza cuando la zanahoria está cruda que después de aplicar un tratamiento térmico sobre ella. La aplicación de calor conlleva una disminución en la firmeza y, por tanto, el ablandamiento del alimento. Dependiendo del método de cocinado empleado podemos establecer diferentes variaciones. En el caso de la ebullición, el valor de la fuerza de corte fue significativamente menor en comparación con las zanahorias

tratadas al vapor o fritas, debido a un mayor grado de ablandamiento siendo este mayor al 96%.⁽²⁷⁾

El color de la superficie exterior se ve afectado después de todos los métodos de cocción, convirtiéndose en vegetales menos brillantes, rojos y amarillos y, además, en la parte interna, se produjo un aumento del color. El sabor de estos vegetales tratados al microondas es más intenso en comparación con el método de ebullición.⁽²¹⁾

En el caso del ángulo de matiz, se vio aumentado en las muestras hervidas tanto en las superficies internas como externas en comparación con la muestra cruda, mientras que la cocción al vapor y en la fritura, solo aumentó en las superficies externas. Este aumento, puede deberse a la disminución de la concentración de caroteno en el alimento. Además, en la parte externa la cantidad de caroteno es mucho mayor lo que puede explicar la gran pérdida de color y su cambio a un tono más amarillo.⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾

En cuanto al contenido de los carotenoides, se mostró un ligero aumento tras la ebullición y una ligera disminución después del freír. La luteína, aumentó tras la ebullición, mientras que en la cocción al vapor y la fritura disminuyó su contenido. El contenido en α -caroteno disminuyó significativamente después de todos los métodos de cocción, pero su retención fue menor en zanahorias cocinadas al vapor y en medio graso. En el caso de β -caroteno, su concentración se redujo levemente durante la cocción al vapor y la fritura, pero durante la ebullición no se produjeron cambios significativos. Esto quiere decir, que existe una mayor estabilidad de estos compuestos durante la ebullición en comparación con el resto de los métodos.⁽²⁷⁾

La temperatura tiene un papel fundamental en estos cambios. En la fritura, se alcanzan temperaturas muy elevadas lo que puede condicionar un aumento de las pérdidas debido a la naturaleza lipídica de los carotenoides y su inestabilidad. En el caso de la cocción al vapor y la ebullición, llevándolas a cabo a la misma temperatura, el vapor necesita un período de tiempo más prolongado para alcanzar un nivel adecuado en la ternura del vegetal. El aumento del tiempo del tratamiento supone una exposición mayor a parámetros como el oxígeno y la luz, provocando la disminución de los compuestos en el caso del vapor.

El fitoeno y fitoflueno, que son dos moléculas precursoras de los carotenoides, aumentan después de todos los métodos de cocción, pero en mayor medida después de la fritura de las zanahorias. Este aumento, puede deberse a la liberación de los carotenoides de los plastidios como consecuencia del ablandamiento de la matriz.⁽²⁹⁾

La ebullición es el método más perjudicial en el caso de los polifenoles ya que provoca una pérdida completa de estos compuestos, sobre todo por su difusión en el agua de cocción. Por otro lado, con la cocción al vapor y la fritura, se consiguieron

resultados menos negativos, como consecuencia de la pérdida del ácido clorogénico, éster del ácido cafeico y ácido quínico. Sin embargo, se mostraron aumentos significativos del mismo cuando este ácido se hidrolizaba en ácido cafeico y ácido quínico. Además, la pérdida de polifenoles también puede producirse por la unión entre los fenoles oxidados y proteínas o aminoácidos o también, por la polimerización de los fenoles oxidados.⁽²⁷⁾

Durante el tratamiento térmico, el ácido ascórbico o vitamina C, se puede degradar fácilmente en función de diferentes variables como luz, temperatura, pH, presencia de enzimas, oxígeno, entre otras. En las zanahorias crudas se encuentran niveles bajos de este ácido en comparación con otras verduras, viéndose ligeramente afectada durante la ebullición y la cocción al vapor, mientras que tras la fritura no se detectaron niveles de este compuesto. Su pérdida se debe principalmente a su lixiviación en el agua de cocción y a su degradación térmica.^{(7) (27)}

3.3.2. CALABACÍN

En el calabacín, al igual que en la zanahoria, se produce un ablandamiento de su estructura al aplicar cualquier método de cocinado, lo que supone una disminución en la fuerza de corte. Aunque el grado de ablandamiento es superior en las zanahorias que en el calabacín.

En el caso de la cocción al vapor, se produjo un cambio de color hacia tonos más verdes y tras la ebullición hacia tonos más amarillos en comparación con el resto de los tratamientos. El color disminuyó significativamente tanto en la parte externa como en la parte interna del vegetal. Además, el ángulo de matiz se redujo en la superficie externa tras la cocción al vapor y la fritura, lo que provoca una transformación de color verde a amarillo. Esta pérdida de color verde podría deberse a la transformación de clorofila en feofitina como resultado del tratamiento térmico, pero también, al cambio en la reflectancia de la superficie y profundidad de la penetración de la luz en tejidos vegetales hervidos, como causa de la pérdida de aire y otros gases disueltos y su reemplazo por agua y jugos celulares.^{(27) (30)}

El calabacín crudo muestra altas concentraciones de ácido ascórbico y bajas de carotenoides, en especial de luteína. Tras el procesamiento térmico se produjeron cambios en estos compuestos. En el caso de la ebullición y el vapor, se produjeron pérdidas de luteína mientras que hubo aumentos en el contenido de β -caroteno. Estas dos sustancias, se vieron afectadas de forma negativa por la fritura, en mayor medida la luteína, lo que quiere decir que requieren diferentes temperaturas para estabilizarse.

La pérdida de luteína puede implicar cambios en el color de la superficie externa e interna del alimento. ⁽²⁷⁾

En cuanto a los polifenoles, las mayores pérdidas se alcanzaron después de hervir y freír, perdiéndose de manera completa el ácido clorogénico sin incrementos del ácido cafeico. La pérdida de estos compuestos en el calabacín se produce de manera más rápida que en el caso de las zanahorias. ⁽²⁷⁾

El ácido ascórbico se vio afectado de manera similar, tanto en la cocción al vapor como en la fritura, obteniéndose pérdidas del 15% aproximadamente mientras que durante la ebullición no se mostraron cambios importantes. El calor provoca una pérdida del ácido ascórbico que puede ser dependiente del tiempo, es decir, cuanto más prolongado sea el tiempo del tratamiento, mayores pérdidas se van a observar. ⁽²⁷⁾

3.3.3. BRÓCOLI

Tras la aplicación de calor en el brócoli, se produce el ablandamiento de su estructura y, por lo tanto, la fuerza necesaria para cortar el alimento se minimiza. Esto ocurre de manera más significativa tras la ebullición, seguido del vapor y, por último, en la fritura. Dentro de la ebullición, se puede comparar entre la ebullición con inicio del proceso con agua ya caliente, produciéndose entonces una pérdida rápida de la firmeza del alimento, o la ebullición con inicio de la cocción con el agua fría con lo que se produce una pérdida lenta de la firmeza debida al lento aumento de la temperatura del agua. ⁽³¹⁾

Las verduras cocidas se encuentran relacionadas tanto con la concentración de pigmento como con la dispersión de la luz y la reflectancia de las superficies verdes. El color verde se reduce con el paso del tiempo tras los diferentes métodos de cocinado. Se produce una conversión de la clorofila, responsable del color verde del brócoli, a feofitina y pirofina, consiguiendo como resultado un color verde oliva. Por ejemplo, en la cocción al vapor y en el inicio de la ebullición con calor, se produce un aumento del color para después disminuir progresivamente según pasa el tiempo de cocinado. En cuanto al tallo, el verdor aumentó después de hervir, pero de una manera poco significativa comparándolo con la muestra en crudo. Si aplicamos la misma temperatura para el tratamiento al vapor y para ebullición, un menor tiempo en el caso de la ebullición puede suponer una degradación parcial de clorofila y, por tanto, una disminución de los cambios. ⁽³¹⁾

En cuanto al sabor, el vapor era el método que proporcionaba los vegetales más sabrosos, ya que se evita la lixiviación de los azúcares en el agua en comparación con la ebullición. La sinigrina, gluconapina y progoitrina son diferentes glucosinolatos que proporcionan el sabor amargo a los vegetales. Estos compuestos,

no se encontraron o si se encontraron fue en muy bajo contenido en el brócoli. Un estudio mostró que una mayor dulzura de los vegetales influye en la aceptabilidad del producto por parte de los consumidores. ^{(31) (32)}

El brócoli crudo contiene concentraciones intermedias de carotenoides, especialmente de luteína y concentraciones más elevadas de polifenoles, sobre todo de ácido clorogénico y ácido ascórbico. El contenido en carotenoides aumenta con el método al vapor y el hervido, pero en el caso de la fritura, se produce una reducción, determinada principalmente por las altas temperaturas.

La concentración de fitoeno y fitoflueno se triplicó en la cocción al vapor y el hervido mientras que, en la fritura, el fitoeno se perdió completamente y fitoflueno tuvo un comportamiento similar al caso del vapor y el hervido. Los flavonoides como la quercetina y el kaempferol se conservaron en mayor medida durante el procesamiento al vapor en comparación con el hervido y la fritura. El ácido ascórbico disminuyó en gran proporción al freír, pero durante la cocción al vapor la reducción fue mínima. ⁽²⁷⁾

En cuanto a los glucosinolatos, los principales en el brócoli son la neoglucobrassicina que se encuentra en concentraciones muy elevadas, glucobrassicina y glucorafanina. Esta última, se afecta en menor proporción durante la fritura. La cocción al vapor es el método más beneficioso para su conservación e incluso aumenta su contenido, mientras que, en la cocción en medio líquido y la fritura, estas moléculas se degradan. Estas sustancias, son solubles en agua y se pierden durante la cocción debido a su difusión en el agua. Además, se degradan con temperaturas altas como las que se alcanzan durante la fritura, lo que desencadena la formación de compuestos volátiles. ⁽²⁷⁾

3.3.4. COLIFLOR

En el caso de la coliflor, se vio una diferencia de textura entre el producto fresco, sin cocinar y el producto procesado. Se observó que, en el caso de las inflorescencias de la coliflor fresca, es decir sin procesar, tenían una mayor resistencia al corte que las inflorescencias sometidas al procesamiento en el microondas. En este caso, al haber sido sometidas a cocción se produce una pérdida de agua que tiene como resultado una menor dureza del vegetal al ser cortado. ⁽³³⁾⁽³⁴⁾

Aunque el procesamiento del alimento en microondas es más rápido y práctico, en este caso conduce a una pérdida significativa de textura. Los resultados podrían ser diferentes si se cambian los parámetros del microondas, como pueden ser el tiempo de cocción, el volumen de agua agregado y el tipo de cobertura del alimento. ⁽³³⁾⁽³⁴⁾

La humedad presente en las inflorescencias de la coliflor varió significativamente después del cocinado. La ebullición, provocó niveles de humedad más elevados como consecuencia del contacto directo con el agua. Además, el pH disminuyó tras los diferentes métodos de cocinado. ⁽³³⁾

Se observó que después de los diferentes tipos de tratamientos en las inflorescencias de la coliflor disminuyó su ligereza en comparación con la verdura fresca, que mostraron una mayor tendencia a la rigidez y a la presencia de compuestos intactos. Además, las inflorescencias de la coliflor orgánica exhibieron concentraciones de zeaxantina, criptoxantina y α -caroteno superiores tras el procesamiento al vapor en comparación tanto de la muestra en crudo como del resto de métodos estudiados. ⁽³⁵⁾

Los niveles de quercetina y kaempferol variaron después de la aplicación de calor mediante el microondas y la ebullición, mostrándose una mayor concentración de quercetina en comparación con la muestra fresca. Sin embargo, los niveles de kaempferol disminuyeron tras el procesamiento. ⁽³⁴⁾

Se evaluó el contenido en carotenoides en diferentes tipos de vegetales. Mientras que el brócoli era una de las verduras más ricas en carotenoides totales, con grandes cantidades de luteína y β -caroteno, la coliflor, presentaba bajas concentraciones de estos compuestos. ⁽³⁶⁾

3.3.5. ALCACHOFAS

La fuerza de corte disminuyó en mayor medida después de la ebullición y del vapor, por lo tanto, el ablandamiento de este alimento fue mayor durante estos dos métodos que durante la fritura.

No se produjeron efectos perjudiciales en el color, sobre todo en las brácteas. Tras la ebullición se produjo un cambio en la tonalidad del color a un verde más pardo en comparación con los otros dos tratamientos.

Las mayores concentraciones de carotenoides y polifenoles presentes en estos vegetales parecen estar relacionadas con el aumento de L*, b* y C observados en las brácteas, mientras que en el tallo se produce la pérdida de color, es decir la disminución de C. Esta variabilidad puede atribuirse a los compuestos antioxidantes presentes en cada parte del vegetal, así como a la diferente actividad de la polifenol oxidasa, las cuales, causan la biosíntesis de polímeros de melanina. ⁽³⁷⁾

3.4. ALTERACIONES EN LOS COMPUESTOS FENÓLICOS

Diferentes estudios han demostrado que las cantidades de polifenoles pueden variar durante el tratamiento térmico, aunque las alteraciones dependen de cada tipo de verdura. El cocinado puede provocar alteraciones en su contenido por lo que la ingesta real de fitoquímicos puede estar sobreestimada cuando se usan datos de vegetales crudos. ⁽³⁸⁾

3.4.1. EFECTOS DEL COCINADO EN LOS COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son un grupo amplio que incluye gran variedad de compuestos, los cuales, presentan diferentes estructuras químicas y algunas particularidades. Por lo tanto, es muy difícil evaluar el efecto del calor sobre los polifenoles en general ya que cada tipo se comporta de distinta manera.

Como se ha mencionado anteriormente, el tratamiento térmico sobre los compuestos fenólicos puede causar la interrupción y disociación de sus estructuras biológicas, liberándose los compuestos de la matriz alimentaria o también, se puede producir la alteración de su estructura química provocando la transformación de las formas insolubles, en formas más solubles.

Tras la aplicación de diferentes técnicas de cocinado sobre la pulpa de calabaza, se encontró un aumento del contenido en un 14% para la ebullición, un 17% en la cocción al vapor, un 18% en la cocción al microondas y un 6% en la fritura. ⁽³⁹⁾

El efecto del procesamiento térmico sobre los alimentos depende de diferentes factores, por lo que el mismo método puede provocar diferentes efectos en diferentes tipos de alimentos.

Se hizo un estudio de vegetales en el que se encontraron efectos variables según la técnica de cocinado y según el tipo de vegetal seleccionado. Se obtuvieron resultados positivos en las coles de Bruselas, aumentado su contenido en compuestos fenólicos tanto al hervir como en la cocción al microondas y en la cocción al vapor. En el caso de la coliflor, ocurrió justo lo contrario, con disminuciones después de los tres métodos. En el brócoli, se encontró una disminución del contenido en compuestos fenólicos tras la cocción al microondas y la cocción al vapor, pero aumentos en el caso del brócoli hervido. ⁽⁴⁰⁾

Por el contrario, en otro estudio, se encontraron disminuciones más significativas después de hervir los vegetales y ninguna de las técnicas estudiadas condujo a un aumento significativo. También, se vio que con el procesamiento de los alimentos podría aumentar la concentración de polifenoles en comparación con las muestras en bruto. ⁽⁴¹⁾

Algunos vegetales, presentan reducciones en su contenido fenólico tras el tratamiento térmico, lo que puede deberse a que tienen una elevada actividad de las enzimas fenol oxidasas y fenol peroxidasa, que provocan la oxidación de los polifenoles cuando se produce la ruptura del tejido.

Los vegetales cultivados mediante la agricultura orgánica mostraron valores superiores en su contenido fenólico en comparación con las muestras cultivadas de manera convencional, a excepción de las cebollas. Esto quiere decir que los vegetales orgánicos tienen una mayor sensibilidad a los tratamientos térmicos que los convencionales. En ambos tipos de vegetales, se llegó a la conclusión de que la cocción al vapor era el método de cocción con mayor desventaja respecto al resto de métodos estudiados. En muestras crudas, los datos relacionados con polifenoles hidrolizables eran similares a los solubles. En el caso de las variedades orgánicas, se encontraron una mayor cantidad de polifenoles hidrolizables en comparación con las convencionales, siendo, además, más estables después del cocinado. ⁽³⁸⁾

ÁCIDOS FENÓLICOS

Estos compuestos pueden verse modificados por reacciones como la degradación oxidativa, la liberación de ácidos libres de las formas conjugadas y la formación de estructuras complejas de sustancias fenólicas con compuestos como proteínas, taninos y antocianinas. El efecto final de estas tres reacciones va a depender en gran medida de la intensidad con la que se lleven a cabo, produciéndose aumentos como en el caso del mijo hervido o una reducción como en el caso de las zanahorias hervidas, en las cuales, se puede perder el ácido clorogénico en su totalidad.⁽⁸⁾

El contenido fenólico varía según la variedad y la etapa de madurez de los vegetales. En el caso de las alcachofas crudas, el ácido 5-O-cafeoilquínico, el ácido 1,5- di-O-cafeoilquínico mostraron las concentraciones más elevadas. ⁽³⁷⁾

También se encontró un aumento de ácido 3-cafeoilquínico, ácido 4-cafeoilquínico, ácido 3,4-dicafeoilquínico y ácido 4,5-dicafeoilquínico en patatas hervidas.⁽⁴²⁾

Se observó un aumento significativo de ácido cafeoilquínico total en el hervido, en la cocción al vapor y en la fritura, y se mostraron aumentos de 66, 94, y 71% con respecto al contenido en alcachofas crudas en el caso del hervido, cocción al vapor y la fritura, respectivamente. Este aumento se debió principalmente al aumento de 5-O-cafeoilquínico y ácido 1,5-di-O-cafeoilquínico, ácidos promovidos por las altas temperaturas, particularmente en la cocción al vapor y en la fritura. El efecto es el resultado de los procesos de isomerización e hidrólisis, lo que lleva a una

redistribución sustancial de las concentraciones de ácidos fenólicos debido a un fenómeno de transesterificación masiva ocurrido durante el procesamiento. Esto es particularmente evidente para ácidos 3,5-di-O-cafeoilquínico y 4,5-di-O-cafeoilquínico, que tienen concentraciones muy bajas en el producto crudo y se forman ampliamente durante el procesado. ⁽³⁷⁾

FLAVONOIDES

En estos compuestos, se encontraron pérdidas tras la aplicación de cualquiera de los métodos de cocción estudiados, siendo mayores cuánto más intenso sea el tratamiento térmico. El vapor, podría ser el método en el que menos pérdidas se produjeron, siendo menores del 50% del contenido. Dentro de los flavonoides, encontramos una subclase denominada antocianinas, las cuales son muy sensibles al calor, al pH, a la luz y al agua. El aumento de su concentración puede deberse a la rotura de las paredes celulares de las plantas, proporcionando una mayor extracción, mientras que las reducciones se producen por la intensidad del tratamiento térmico y la cantidad de agua empleada, como ocurre en otros casos nombrados anteriormente. Se ha considerado que el vapor es el mejor método para preservar esta clase de fitoquímicos. ⁽⁸⁾

En alcachofas, el procesamiento tuvo en general un efecto negativo sobre apigenina 7-O-glucurónido y apigenina 7-O-glucósido. Las disminuciones totales derivadas de apigenina fueron del 36% tras la ebullición, el 24% tras el tratamiento al vapor y 59% después de fritura. Por lo tanto, podemos observar que la degradación térmica de los flavonoides parece superar la bioaccesibilidad causada por el ablandamiento de la matriz. ⁽⁷⁾⁽³⁷⁾

FITOESTRÓGENOS

Dentro de esta clase de compuestos fenólicos, vamos a destacar las isoflavonas y los lignanos. En las primeras, el vapor es considerado el mejor método de cocción para preservarlas y los segundos, son los menos afectados dentro de los polifenoles, independientemente del tratamiento térmico que se aplique. El calor, en este caso, no provocaba una degradación de los lignanos, sino al contrario, supuso una mayor extracción de éstos, aunque si conviene destacar que cuando se somete el alimento a altas temperaturas de tostado se produjo su degradación.

3.4.2. EFECTOS DEL COCINADO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de los compuestos de los que hemos hablado anteriormente, presentes en ciertos alimentos, se ve afectada por el tratamiento térmico, produciéndose cambios en su contenido, ya sea de manera positiva o negativa según las condiciones en las que se lleve a cabo.

El procesamiento térmico no siempre provoca la destrucción de estos compuestos bioactivos, a veces, puede inducir la formación de nuevos compuestos y mejorar así sus propiedades antioxidantes. Generalmente los productos de la reacción de Maillard que se forman durante el tratamiento térmico o durante un almacenamiento prolongado, proporcionan fuertes propiedades antioxidantes, siendo más duraderas cuando el procesamiento se produce a una baja temperatura en comparación con altas temperaturas. Durante las primeras etapas de esta reacción, se pueden formar radicales altamente reactivos, proporcionando propiedades prooxidantes, es decir, propiedades inductoras del proceso de oxidación. La formación de estas sustancias depende en gran medida tanto de la intensidad como de la duración del tratamiento térmico.^{(43) (44)}

Las técnicas de cocinado tienden a disminuir el contenido de polifenoles, lo que se relaciona con una menor capacidad antioxidante del alimento como consecuencia de la pérdida de estos compuestos, es decir, existe una alta correlación entre cantidad de polifenoles y capacidad antioxidante, independientemente de la práctica agrícola o del tratamiento aplicado.⁽³⁸⁾

La cocción al vapor, desde el punto de vista nutricional, puede considerarse la opción preferible para conseguir aumentos en los niveles de actividad antioxidante en los vegetales. Además, en esta técnica, los componentes solubles en agua no se pierden por lixiviación ya que el vegetal no se encuentra en contacto con el agua.

La capacidad antioxidante de las inflorescencias de brócoli tras diferentes métodos de cocción como la ebullición convencional, ebullición al vacío, vaporización, cocción a presión, microondas convencional, vacío en microondas, parrilla y freidora convencional, aumentó a excepción del método de hervido al vacío. El aumento más alto de la capacidad antioxidante se consiguió tras el tratamiento con microondas o fritura. Esto puede deberse a diferentes actividades que se llevan a cabo como consecuencia de la aplicación de calor como puede ser una liberación de elevadas cantidades de compuestos antioxidantes ya que se produce la destrucción de los compartimentos celulares y subcelulares, una producción de antioxidantes con alta capacidad antioxidante y la eliminación de radicales por la acción del calor, la supresión de la capacidad de oxidación de los antioxidantes por la inactivación de

enzimas oxidativas, la producción de nuevos antioxidantes no nutrientes o la formación de nuevos compuestos como son los productos de la reacción de Maillard. ⁽³³⁾ ⁽³⁵⁾

En el caso de la alcachofa, los valores de la capacidad antioxidante (TAC) son mayores tras el procesamiento térmico en comparación con la muestra cruda independientemente del ensayo empleado para valorarlo. Los principales antioxidantes en este vegetal son el ácido cafeilquínico y el ácido dicafeilquínico, los cuales se vieron aumentados en gran proporción con respecto a la forma cruda. Las altas temperaturas de los tratamientos pueden provocar la transesterificación intramolecular de los ácidos 1,5-O-dicafeilquínico y 5-O-cafeilquínico puede proporcionar una mayor actividad antioxidante debido a la formación de nuevos compuestos en comparación a los compuestos inicialmente presentes. ⁽³⁷⁾

En cuanto a los vegetales estudiados anteriormente encontramos resultados similares respecto a la capacidad antioxidante total. En el caso de la zanahoria y el calabacín, los valores de TAC aumentan en mayor proporción después de freír debido probablemente a la formación de compuestos con actividad antioxidante como resultado de las altas temperaturas, pudiendo explicar los cambios de color tanto en la parte interna como externa del alimento. Además, puede promover una mayor eficacia en la eliminación de radicales libres, debido a una oxidación de los polifenoles a un estado de oxidación intermedio. En el caso del brócoli, los valores de TAC aumentaron durante la cocción al vapor debido a un aumento tanto en el contenido de carotenoides como de polifenoles. ⁽²⁷⁾

4. CONCLUSIONES

- El tratamiento térmico puede provocar tanto efectos positivos como negativos, los cuáles, dependen de diferentes factores, por lo que un mismo método puede provocar diferentes efectos en diferentes alimentos. En el caso de la fibra, un tratamiento más intenso, hará que su hidrólisis sea mayor; el almidón se gelatiniza aumentando su digestibilidad y mejorando la calidad de las calorías ingeridas; y las proteínas pueden desnaturalizarse, lo que también aumenta su digestibilidad, o formar agregados menos digeribles que las mismas.

- En el caso de los metabolitos vegetales secundarios se ha observado que los carotenoides disminuyen con el tiempo de cocinado, siendo más estable la luteína.

- En los glucosinolatos, las pérdidas se generan como consecuencia de la acción enzimática, la descomposición térmica, la lixiviación en el agua de cocción y el tiempo de tratamiento.

- Los ácidos fenólicos varían según la variedad y la etapa de madurez del alimento y, además se ven modificados por diferentes reacciones como la degradación oxidativa, cuyos efectos dependen de la intensidad con la que se produzcan.

- Los polifenoles presentan buena estabilidad al calor, pero también son propensos a la degradación en pH alcalino, disminución con la maduración, daños mecánicos, etc., y son sensibles a las condiciones de almacenamiento.

- En el caso de los flavonoides, se encontraron pérdidas después de cualquier método de cocción, siendo mayores cuánto más intenso es el tratamiento y se consideró la cocción al vapor la mejor opción para su preservación.

- Los lignanos, que se consideran como fitoestrógenos, son los menos afectados independientemente del tratamiento que se lleve a cabo.

- Por último, existe una elevada correlación entre la cantidad de polifenoles y la capacidad antioxidante, por lo que los métodos de cocinado, que tienden a disminuir su contenido, se relacionada con una menor capacidad antioxidante del alimento. Para conseguir aumentos de TAC, la cocción al vapor se ha considerado la mejor opción desde el punto de vista nutricional, aunque también se han encontrado grandes aumentos en el caso del microondas o la fritura.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. van Boekel M, Fogliano V, Pellegrini N, Stanton C, Scholz G, Lalljie S, et al. A review on the beneficial aspects of food processing. *Mol Nutr Food Res*. 2010;54(9):1215–47.
2. Caracuel García Á. Técnicas de cocción saludables aplicables a la alimentación mediterránea. *Anales*. 2006;21(1):171–80.
3. Yaldagard M, Mortazavi SA, Tabatabaie F. The principles of ultra high pressure technology and its application in food processing/preservation: A review of microbiological and quality aspects. *African J Biotechnol*. 2008;7(16):2739–67.
4. Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Balasubramaniam VM, Niranjan K, Knorr D. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2007;47(1):69–112.
5. Kaur C, Kapoor HC. Antioxidants in fruits and vegetables - The millennium's health. *Int J Food Sci Technol*. 2001;36(7):703–25.
6. Podsedek A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT - Food Sci Technol*. 2007;40(1):1–11.
7. Kamiloglu S, Toydemir G, Boyacioglu D, Beekwilder J, Robert D, Capanoglu E. A Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables. 2015;(July).
8. Palermo M, Pellegrini N, Fogliano V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. *J Sci Food Agric*. 2014;94(6):1057–70.
9. Seal CJ, de Mul A, Eisenbrand G, Haverkort AJ, Franke K, Lalljie SPD, et al. Risk-benefit considerations of mitigation measures on acrylamide content of foods - A case study on potatoes, cereals and coffee. Vol. 99, *British Journal of Nutrition*. 2008. 0–46 p.
10. Casp A, Abril J. *Procesos de conservación de los alimentos*. 2º ed.
11. De Vleeschouwer K, Van Der Plancken I, Van Loey A, Hendrickx ME. Investigation of the influence of different moisture levels on acrylamide formation/elimination reactions using multiresponse analysis. *J Agric Food Chem*. 2008;56(15):6460–70.
12. Escudero Álvarez E, González Sánchez P. La fibra dietética. *Nutr hosp*. 2006;21:61–72.

13. Yang YY, Ma S, Wang XX, Zheng XL. Modification and Application of Dietary Fiber in Foods. *J Chem.* 2017;2017.
14. Zhang H, Wang H, Cao X, Wang J. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Res Int.* 2018;113(June):24–35.
15. Nandeesh K, Jyotsna R, Rao GV. Effect of differently treated wheat bran on rheology, microstructure and quality characteristics of soft dough biscuits. 2009;35(2011):179–200.
16. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR. *Fennema's Food Chemistry.* 4^o ed. 1996.
17. Rungapamestry V, Duncan AJ, Fuller Z, Ratcliffe B. Effect of cooking brassica vegetables on the subsequent hydrolysis and metabolic fate of glucosinolates. *Proc Nutr Soc.* 2007;66(1):69–81.
18. Schweiggert RM, Carle R. Carotenoid Deposition in Plant And Animal Foods and Its Impact on Bioavailability. 2015;(July).
19. Verkerk R, Dekker M. Glucosinolates and myrosinase activity in red cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. *Capitata* f. *rubra* DC.) after various microwave treatments. *J Agric Food Chem.* 2004;52(24):7318–23.
20. Yuan GF, Sun B, Yuan J, Wang QM. Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2009;10(8):580–8.
21. Dolinsky M, Agostinho C, Ribeiro D, Rocha GDS, Barroso SG, Ferreira D, et al. Effect of different cooking methods on the polyphenol concentration and antioxidant capacity of selected vegetables. *J Culin Sci Technol.* 2016;14(1):1–12.
22. Kaulmann A, André CM, Schneider YJ, Hoffmann L, Bohn T. Carotenoid and polyphenol bioaccessibility and cellular uptake from plum and cabbage varieties. *Food Chem.* 2016;197:325–32.
23. Jones RB, Faragher JD, Winkler S. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads. *Postharvest Biol Technol.* 2006;41(1):1–8.
24. Jaiswal AK, Abu-Ghannam N. Degradation kinetic modelling of color, texture, polyphenols and antioxidant capacity of York cabbage after microwave processing. *Food Res Int.* 2013;53(1):125–33.

25. Ismail A, Marjan ZM, Foong CW. Food Chemistry Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. 2004;87:581–6.
26. Sahlin E, Savage GP, Lister CE. Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. J Food Compos Anal. 2004;17(5):635–47.
27. Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. J Agric Food Chem. 2008;56(1):139–47.
28. Chemistry F. C : Food Chemistry and Toxicology Effect of Moisture Content of Carrot Slices on the Fat Content , Carotenoid Content , and Sensory Characteristics of Deep-fried Carrot Chips. 2004;69(6).
29. Reviews C, Science F. R: Concise Reviews / Hypotheses in Food Science Effects of Production and Processing Factors on Major Fruit and Vegetable Antioxidants. 2005;70(1).
30. Tijskens LMMU, Schijvens EPHM, Biekman ESA. Modelling the change in colour of broccoli and green beans. 2001;
31. Bongoni R, Verkerk R, Steenbekkers B, Dekker M, Stieger M. Evaluation of Different Cooking Conditions on Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) to Improve the Nutritional Value and Consumer Acceptance. Plant Foods Hum Nutr. 2014;69(3):228–34.
32. Schonhof I, Krumbein A, Brückner B. Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. 2004;48(1):25–33.
33. Caroline L, Ruffo V, Oliveira D, Elisabeth M, Hagen K, Jablonski A, et al. Effect of cooking on the concentration of bioactive compounds in broccoli (*Brassica oleracea* var . Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var . Alphina F1) grown in an organic system. Food Chem. 2015;172:770–7.
34. Mazzeo T, N'Dri D, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. Food Chem [Internet]. 2011;128(3):627–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.070>
35. Martínez-Hernández GB, Artés-Hernández F, Gómez PA, Artés F. Induced changes in bioactive compounds of kailan-hybrid broccoli after innovative processing and storage. J Funct Foods. 2013;5(1):133–43.

36. Kaulmann A, Jonville M, Schneider Y, Hoffmann L, Bohn T. Carotenoids , polyphenols and micronutrient profiles of Brassica oleraceae and plum varieties and their contribution to measures of total antioxidant capacity. *FOOD Chem.* 2014;155:240–50.
37. Ferracane R, Pellegrini N, Visconti A, Graziani G, Chiavaro E, Miglio C, et al. Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke. *J Agric Food Chem.* 2008;56(18):8601–8.
38. Faller ALK, Fialho E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Res Int.* 2009;42(1):210–5.
39. Dini I, Tenore GC, Dini A. Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp. *LWT - Food Sci Technol [Internet].* 2013;53(1):382–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.005>
40. Pellegrini N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, et al. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *J Agric Food Chem.* 2010;58(7):4310–21.
41. Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. Food Chemistry The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. 2005;93:713–8.
42. Takenaka M, Nanayama K, Isobe S, Murata M. Changes in caffeic acid derivatives in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during cooking and processing. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2006;70(1):172–7.
43. Haraotr B, Suriharn B, Tangwongchai R, Scott MP, Lertrat K. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chem.* 2014;164:510–7.
44. Murador D, Braga AR, Da Cunha D, De Rosso V. Alterations in phenolic compound levels and antioxidant activity in response to cooking technique effects: A meta-analytic investigation. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2018;58(2):169–77.