

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN LA CALIDAD DE COL BLANCA (*Brassica oleracea* var. capitata) MÍNIMAMENTE PROCESADA CON DOS TIPOS DE EMPAQUE

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

CARLOS ANDRÉS TAPIA PEÑAFIEL
carlos.andres89@hotmail.es

DIRECTORA: SILVIA VALENCIA CHAMORRO Ph.D.
silvia.valencia@epn.edu.ec

Quito, noviembre del 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Carlos Andrés Tapia Peñafiel, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Carlos Andrés Tapia Peñafiel

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Andrés Tapia Peñafiel, bajo mi supervisión.

Silvia Valencia Chamorro, Ph.D.
DIRECTORA DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por acompañarme en todo momento y permitir que termine esta etapa de mi vida.

A mis padres Carlos Tapia y Olga Peñafiel por sus sacrificios, el apoyo incondicional y sus sabios consejos, a mi tía Elsa Peñafiel quien me acogió en su hogar como a un hijo más. A mis tíos Mónica, Manuel y Luis Peñafiel, a mi hermana Liliana y mis sobrinos Christopher, Juan y Daniela y mis primas Paola y Katherine que forman parte de mi querida familia y a quienes aprecio mucho.

A la Dra. Silvia Valencia, por su preocupación, dedicación y paciencia durante el desarrollo de este proyecto.

A Eveling Bautista por ser la persona incondicional que ha estado en los buenos y malos momentos y que forma parte importante de mi vida, a mis compañeros y amigos Roberto G., Alex V, Carla S., Tania A., Ruth B., Natalia M., Cristina V., Jessica G., Andrea J, Paul G. y Paola L., quienes me brindaron su amistad durante mis años universitarios y que contribuyeron en la finalización de este trabajo.

A todo el personal del DECAB, especialmente a la Dra. Rosario Barrera.

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis padres y mi tía Elsa Peñafiel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	XII
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Generalidades de la col blanca (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	1
1.1.1 Origen y taxonomía	1
1.1.2 Morfología general	3
1.1.3 Propagación y condiciones de cultivo	4
1.1.4 Manejo pos-cosecha	4
1.2 Productos mínimamente procesados	5
1.2.1 Operaciones unitarias del procesamiento de PMP	6
1.2.1.1 Recepción de materia prima	6
1.2.1.2 Acondicionamiento y lavado	7
1.2.1.3 Pelado, cortado	7
1.2.1.4 Escurrido	8
1.2.1.5 Empacado	8
1.2.2 Parámetros de calidad de productos mínimamente procesados	8
1.2.2.1 Características físicas	8
1.2.2.2 Características químicas	11
1.2.2.3 Características fisiológicas	14
1.2.2.4 Características sensoriales	18
1.2.2.5 Daño patológico	22
1.3 Métodos para extender la vida útil de productos mínimamente procesados	23
1.3.1 Empaque	23
1.3.2 Tratamientos de conservación de PMP	24
1.3.2.1 Tratamientos físicos de preservación	24
1.3.2.2 Tratamientos químicos de preservación	26
1.3.2.3 Tratamientos combinados de preservación	27
2 PARTE EXPERIMENTAL.....	29
2.1 Evaluación de las características físicas y químicas de la materia prima	29
2.1.1 Materia prima	29
2.1.2 Métodos físicos	29
2.1.2.1 Diámetro polar y ecuatorial	30
2.1.2.2 Peso	30
2.1.2.3 Color	30
2.1.2.4 Textura/Dureza	30
2.1.3 Métodos químicos	31
2.1.3.1 Preparación de las muestras	31
2.1.3.2 Determinación de pH	31
2.1.3.3 Determinación de Sólidos solubles Totales (SST)	31
2.1.3.4 Determinación del Contenido de Polifenoles Totales (CPT)	32
2.1.4 Análisis microbiológico	32

2.1.5	Análisis sensorial.....	32
2.1.6	Proceso de elaboración de col blanca mínimamente procesada	33
2.2	Evaluación del efecto de la aplicación de tratamientos químicos con compuestos GRAS (Generally Recognized As Safe) en la calidad de col blanca mínimamente procesada	34
2.2.1	Métodos físicos.....	35
2.2.1.1	Determinación del índice de pardeamiento (ΔE).....	36
2.2.1.2	Concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior del empaque ..	36
2.2.2	Métodos químicos	36
2.2.3	Análisis microbiológico.....	36
2.2.4	Evaluación sensorial.....	37
2.3	Estudio del efecto de aplicación de un tratamiento químico (seleccionado en el ensayo anterior) y un tratamiento físico (agua caliente), en la calidad de col blanca mínimamente procesada con dos tipos de empaque.....	37
2.3.1	Tratamientos de conservación físicos y químicos en col blanca mínimamente procesada	38
2.3.2	Métodos físicos.....	38
2.3.2.1	Determinación del índice de pardeamiento (ΔE).....	39
2.3.2.2	Textura/Dureza	39
2.3.2.3	Concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior del empaque ..	39
2.3.2.4	Pérdida de peso (%)	39
2.3.3	Métodos químicos	40
2.3.4	Análisis microbiológico.....	40
2.3.5	Evaluación sensorial.....	40
2.4	Análisis económico del proceso de col blanca mínimamente procesada para determinar su factibilidad.....	40
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
3.1	Evaluación de las características físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales de la materia prima	42
3.1.1	Análisis físico-químicos	42
3.1.2	Análisis microbiológicos	44
3.1.3	Análisis sensorial.....	44
3.2	Evaluación del efecto de la aplicación de tratamientos químicos con compuestos GRAS (Generally Recognized As Safe) en la calidad de col blanca mínimamente procesada y selección del tratamiento que presente las mejores características de calidad.....	45
3.2.1	Análisis físicos.....	46
3.2.1.1	Evaluación del índice de pardeamiento (ΔE) por medio de los parámetros L^* , a^* y b^*	46
3.2.1.2	Concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior del empaque ..	48
3.2.2	Análisis químicos	50
3.2.3	Análisis microbiológico.....	51
3.2.4	Evaluación sensorial.....	53
3.3	Estudio del efecto de la aplicación de un tratamiento químico (seleccionado en el ensayo anterior) y un tratamiento físico (agua caliente), en la calidad de col blanca mínimamente procesada con dos tipos de empaque.....	55
3.3.1	Análisis físicos.....	55
3.3.1.1	Pérdida de peso (%)	56

3.3.1.2	Evaluación del índice de pardeamiento	58
3.3.1.3	Concentración de dióxido de carbono (CO ₂) en el interior de los empaques	61
3.3.1.4	Textura de col blanca mínimamente procesada (Dureza).....	65
3.3.2	Análisis químicos	67
3.3.2.1	Cuantificación de polifenoles totales	69
3.3.3	Análisis microbiológico.....	70
3.3.4	Evaluación sensorial	72
3.4	Análisis económico del proceso de col blanca mínimamente procesada para determinar su factibilidad	75
3.4.1	Determinación del mercado.....	75
3.4.2	Análisis económico del proceso establecido para determinar su factibilidad	76
3.4.2.1	Estimación de costos para la implementación	76
3.4.3	Análisis económico	76
3.4.4	Inversión	78
3.4.5	Estructura de la inversión	79
3.4.5.1	Financiamiento de la inversión	79
3.4.5.2	Gasto financiero	79
3.4.5.3	Presupuesto de ingreso.....	80
3.4.5.4	Presupuestos de egresos.....	81
3.4.6	Elaboración del flujo de caja y cálculo de los índices financieros	83
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
4.1	Conclusiones	86
4.2	Recomendaciones	88
5	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Identificación de algunos polifenoles de vegetales del género <i>Brassica</i>	12
Tabla 1.2.	Composición nutritiva por cada 100 g de producto comestible.....	21
Tabla 2.1.	Códigos	35
Tabla 2.2.	Códigos de identificación	38
Tabla 3.1.	Características físicas y químicas de la col blanca	431
Tabla 3.2.	Rangos microbiológicos permitidos.	44
Tabla 3.3.	Características sensoriales y microbiológicas de la col blanca.....	45
Tabla 3.4.	Valores de los parámetros L*, a*, b* e índice de pardeamiento (ΔE) para col blanca rallada tratada con sustancias GRAS, almacenada hasta 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.....	47
Tabla 3.5.	pH y contenido de SST en col blanca rallada tratada con sustancias GRAS. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.....	50
Tabla 3.6.	Resultados del análisis microbiológico para col blanca rallada sometida a tratamientos con sustancias GRAS (AT: ácido acético; AA: mezcla de ácidos ascórbico y cítrico; SP: Sorbato de potasio y C: control con agua destilada) hasta 12 días a 4 °C.....	51
Tabla 3.7.	Resultados de la evaluación sensorial para col blanca mínimamente procesada y almacenada a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiple LSD	54
Tabla 3.8.	Porcentaje de pérdida de peso en col mínimamente procesada almacenada en dos tipos de empaque polipropileno (PP) y polietileno (PE) durante 12 días a 4°C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.....	57
Tabla 3.9.	Determinación de color en col blanca rallada mediante los valores de los parámetros L*, a*, b* e índice de pardeamiento (ΔE) durante 12 días de almacenamiento a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.....	59

Tabla 3.10.	Concentración de CO ₂ (%) en el interior de los empaques (PP y PEBD) en col rallada sometida a un tratamientos de conservación (AA: mezcla de ácidos cítrico y ascórbico; TE: aplicación de calor con agua caliente y C: agua destilada) almacenada hasta 12 días. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD 63
Tabla 3.11.	Dureza de col blanca rallada expresada en unidades de fuerza (newton), almacenada durante 12 días a 4 C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD. 66
Tabla 3.12.	pH y contenido de SST en col blanca rallada tratada con mezcla de ácidos ascórbico y cítrico (AA); aplicación de calor con agua caliente (TE) y agua destilada (C) almacenada durante 6 y 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD. 67
Tabla 3.13.	Resultados del análisis microbiológico para col blanca rallada sometida a tratamiento químico con AA: mezcla de ácidos ascórbico y cítrico), tratamiento con aplicación de calor (agua caliente a 60 °C) y tratamiento control C: control con agua destilada..... 71
Tabla 3.14.	Resultados del análisis sensorial para col blanca rallada sometida a un tratamiento calórico y químico, empacada en PP y PE almacenado durante 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD..... 73
Tabla 3.15.	Costos de equipos y maquinaria para el proceso de elaboración de col blanca rallada..... 77
Tabla 3.16.	Requerimiento financiero para capital de trabajo 78
Tabla 3.17.	Inversión diferida para la producción de col mínimamente procesada..... 78
Tabla 3.18.	Estructura de la inversión..... 79
Tabla 3.19.	Financiamiento de la inversión fija, variable y diferida 79
Tabla 3.20.	Tabla de amortización para un periodo de cinco años..... 80
Tabla 3.21.	Cantidad de unidades de col mínimamente procesada a producir mensual y anual y precio unitario 80
Tabla 3.22.	Detalle financiero de materia prima, insumos, personal de producción y administración..... 81
Tabla 3.23.	Depreciación y valores en libros..... 82

Tabla 3.24. Flujo de caja y cálculo de índices financieros	83
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Biogeografía de los orígenes y diversidad de cultivos de las especies de Brassicas,	2
Figura 1.2. Plantación de col blanca Finca "La Huerta"; Hojas compactas que forman la "Cabeza" de col blanca.....	3
Figura 1.3. Reacciones de a) hidroxilación y b) oxidación catalizada por la enzima PFO	11
Figura 2.1. Diagrama de bloques del procesamiento mínimo de col blanca.....	34
Figura 3.1. Concentración de CO ₂ (%) en el interior de los empaques de col rallada tratada con compuestos GRAS (AT: ácido acético; AA: mezcla de ácido cítrico + ácido ascórbico; SP: sorbato de potasio y C: control en agua destilada) almacenado hasta 12 días a 4°C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiples LSD	48
Figura 3.2. Porcentaje de pérdida de peso en col blanca rallada sometida a tratamientos físicos con aplicación de calor y químicos con sustancias GRAS, empacada en polipropileno y en polietileno de baja densidad almacenada durante 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras minúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.....	548
Figura 3.3. Col rallada sometida a tratamientos químicos (a), térmicos (b) y control (c), almacenada hasta 12 días a 4 C y empacada en bolsas de PEBD	59
Figura 3.4. Gráfica de interacción entre el tipo de empaque y el tratamiento en col blanca rallada	63
Figura 3.5. Producción de CO ₂ durante el tiempo de almacenamiento a 4° C en col blanca rallada. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.....	64
Figura 3.6. Cuantificación de polifenoles en col rallada sometida a tratamientos químico y físico, utilizando dos tipos de empaques polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PEBD), almacenada hasta 12 días a 4 °C	68
Figura 3.7. Punto de equilibrio para el proyecto de col mínimamente procesada	85

Figura A.I.1. Celda Kramer equipada con 10 cizallas	106
Figura A.IV.2. Analizador de rápido de gases Postharvest Research	113

GLOSARIO

Biogeografía. Parte de la biología que se ocupa de la distribución geográfica de animales y plantas (RAE, 2012).

Laminilla media. Sustancia compuesta por pectina, magnesio, calcio y agua que permite la unión entre células adyacentes (Vaclavik y Christian, 2002).

Lignina. Componente que forma parte de la fibra de los tejidos vegetales. Presenta una textura propio de plantas maduras (Vaclavik y Christian, 2002).

Pruebas Descriptivas. Pruebas usadas en el análisis sensorial de alimentos para describir la diferencia entre productos (Moya y Angulo, 2001)

Turgencia. Presión ejercida por el agua contenida en las vacuolas contra las pared celular (Vaclavik y Christian, 2002).

RESUMEN

El presente proyecto de titulación evaluó el efecto de tratamientos químicos mediante el uso de sustancias GRAS y tratamientos físicos usando agua caliente y agua hielo en la calidad de col blanca (*Brassica oleracea* var. capitata) mínimamente procesada.

Las coles fueron acondicionadas, se eliminaron las hojas exteriores y en mal estado, posteriormente se lavaron con agua potable para eliminar la mayor cantidad de impurezas propias del campo. Para la parte experimental preliminar la col rallada se sumergió durante 1 min en cuatro soluciones de: ácido acético (AT) al 0,1 %, ácido ascórbico 0,2 % + cítrico 0,5 % (AA), sorbato de potasio 0,5 % (SP) y agua destilada (C) como tratamiento control. Se evaluó el efecto de estas tres soluciones en la calidad de col blanca mínimamente procesada empacada en bolsas de polipropileno y almacenada en refrigeración (4 °C) hasta 12 días. Las variables de respuesta consideradas fueron concentración de CO₂ en el interior de los empaques, índice de pardeamiento mediante los parámetros L*, a* y b* y además se realizaron análisis microbiológicos y sensoriales. Se seleccionó el mejor tratamiento mediante un diseño completamente al azar (DCA).

De la experimentación preliminar se seleccionó como mejor tratamiento la mezcla de ácidos ascórbico y cítrico. En la parte experimental final se realizó un diseño factorial 3 x 2 donde se evaluaron los tratamientos químico (AA), térmico (TE) y control (C) y los tipos de empaque (PEBD y PP) en la calidad de col blanca mínimamente procesada almacenada hasta 12 días a 4 °C. El tratamiento TE disminuyó hasta un 83 % la pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento en empaque de polipropileno. Por otro lado, el tratamiento AA conservó mejor las características de textura (dureza), color y carga microbiana en comparación a los tratamientos TE y C.

Con respecto al análisis financiero el proyecto resulta factible si se implementa como una nueva línea de producción en una fábrica dedicada a la elaboración de

productos mínimamente procesados (PMP). La estimación los índices financieros en este escenario mencionado fueron de: VAN = USD 17 024, TIR = 35 % y PE = 39 228 u. con un precio de venta al público de USD 1,25 por kg.

INTRODUCCIÓN

La introducción de alimentos nutritivos en la dieta de los consumidores se ha incrementado durante el siglo XXI debido a la constatación de los efectos positivos de mejorar la salud y bienestar general (Gül, Yanik y Acun, 2013, p. 68). Numerosas investigaciones, afirman la existencia de una relación inversa entre el consumo de frutas y vegetales y la incidencia de enfermedades crónicas degenerativas como ciertos tipos de cáncer, desordenes gastrointestinales y enfermedades cardiovasculares (Domínguez-Perles, Mena, García-Viguera y Moreno, 2013, p. 3).

Los nuevos estilos de vida han permitido el desarrollo de la industria de los Productos Mínimamente Procesados (PMP) como alternativa para mantener el equilibrio en la alimentación diaria. La disminución del tiempo para la preparación de comidas saludables y la disponibilidad de los alimentos necesarios como frutas y hortalizas, dificultan alcanzar un buen estilo de vida relacionado a la nutrición personal y familiar. Las largas distancias entre los hogares y el trabajo, son barreras que impiden tener una adecuada nutrición, y como opción se recurre al consumo de comidas rápidas (Artés, Gómez, y Artés Hernández, 2007, p. 177). Sin embargo, en los últimos años la población ha visto la necesidad de tener una mejor nutrición basada en un mayor consumo de frutas y vegetales (Domínguez-Perles, Mena, García-Viguera y Moreno, 2013, p. 3). Como solución a la problemática la industria de alimentos oferta productos vegetales ligeramente modificados de su forma original que conservan las características de frescura, nutricionales y sensoriales, semejantes a un producto fresco entero. Además, permite dar un valor agregado a frutas y hortalizas, disminuye la generación de desperdicios y permite a los consumidores alimentarse saludablemente (IFPA, 2014). Sin embargo los PMP también tienen desventajas y dentro de las principales se encuentran el corto tiempo de vida útil (entre 7 y 14 días) y pardeamiento enzimático (Francis et al., 2012, p. 597). Otras alteraciones son, el ablandamiento y pérdida de agua de los tejidos vegetales por la destrucción de los polisacáridos que conforman la pared celular (Toivonen y Brummell, 2008, p. 6). Por otro lado, la disponibilidad de agua y nutrientes crean un ambiente

adecuado para el desarrollo microbiano lo que produce el deterioro del producto durante el almacenamiento (Artés, Gómez y Artés Hernández, 2007, p. 178).

Estas desventajas mencionadas en la industria de PMP generan pérdidas económicas. Por tal razón los productores de PMP buscan nuevas tecnologías para controlar los diversos cambios fisiológicos, metabólicos, patológicos y sensoriales que aumentan inmediatamente después de las operaciones de corte, rallado, picado, etc (Ragaert, Devlieghere y Debevere, 2007, p. 191).

Las técnicas de conservación empleadas para extender el tiempo de vida útil y controlar las alteraciones indeseadas descritas anteriormente se realizan mediante tratamientos físicos y químicos o una combinación de ambos. Los tratamientos físicos con aplicación de agua caliente controlan las reacciones de pardeamiento, disminuyen la tasa de respiración, mejoran la textura y reducen la carga microbiana (Ansorena, Marcovich y Roura, 2011, p. 600). Con respecto a los tratamientos químicos, la tendencia es emplear sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS), por sus siglas en inglés, como ácidos orgánicos cítrico, ascórbico y acético y otros compuestos como el sorbato de potasio (FDA, 2013) que en concentraciones adecuadas no afectan al sabor, ni la textura de los productos mínimamente procesados (Kim, 2012, p. 175).

El objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de tratamientos físicos (empaques plásticos y aplicación de calor) y químicos (compuestos GRAS) en la col mínimamente procesada para aumentar la vida útil, asegurar la inocuidad del producto y ofrecer a la industria de PMP una alternativa económica para la conservación de los mismos.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 GENERALIDADES DE LA COL BLANCA (*Brassica oleracea* var. *capitata*)

La col blanca (*Brassica oleracea* var. *capitata*), es una hortaliza que se utiliza para el consumo en fresco en ensaladas, comidas preparadas o encurtidos por su facilidad de preparación y contenido de vitaminas, fibra y bajo contenido de calorías (Rosidah, et al., 2010). Las sustancias antioxidantes de la col pueden disminuir el riesgo de contraer enfermedades, cardiovasculares, hipertensión y prevenir ciertos tipos de cáncer como el de colon y estómago (Tanongkankit, Naphaporn y Sakamon, 2010, p. 1063). En Ecuador, la superficie sembrada de col es de 1 164 ha, y tiene una producción por ha de 8 616 t (INEC, 2010).

1.1.1 ORIGEN Y TAXONOMÍA

Las plantas del género *Brassica* son originarias de Europa Occidental y de las costas del Mediterráneo donde crecen de manera silvestre. Son plantas que desarrollaron habilidades para resistir sequías, calor y estrés salino (Dixon, 2007, p. 2). Las plantas del género *Brassica* comparten un ancestro común con una planta silvestre del Mediterráneo o Asia que posteriormente fue introducido en Inglaterra, Dinamarca, Holanda Francia, España y Grecia. Civilizaciones como los romanos, griegos y celta fueron los pioneros en la siembra de col blanca, brócoli y coliflor en el norte de Europa (Jaramillo y Díaz, 2006, p. 12).

Actualmente es una hortaliza ampliamente distribuida a nivel mundial cultivada en Estados Unidos, China, Japón, varios países europeos e India (Ghosh y Madhavi, 2004, p. 306).

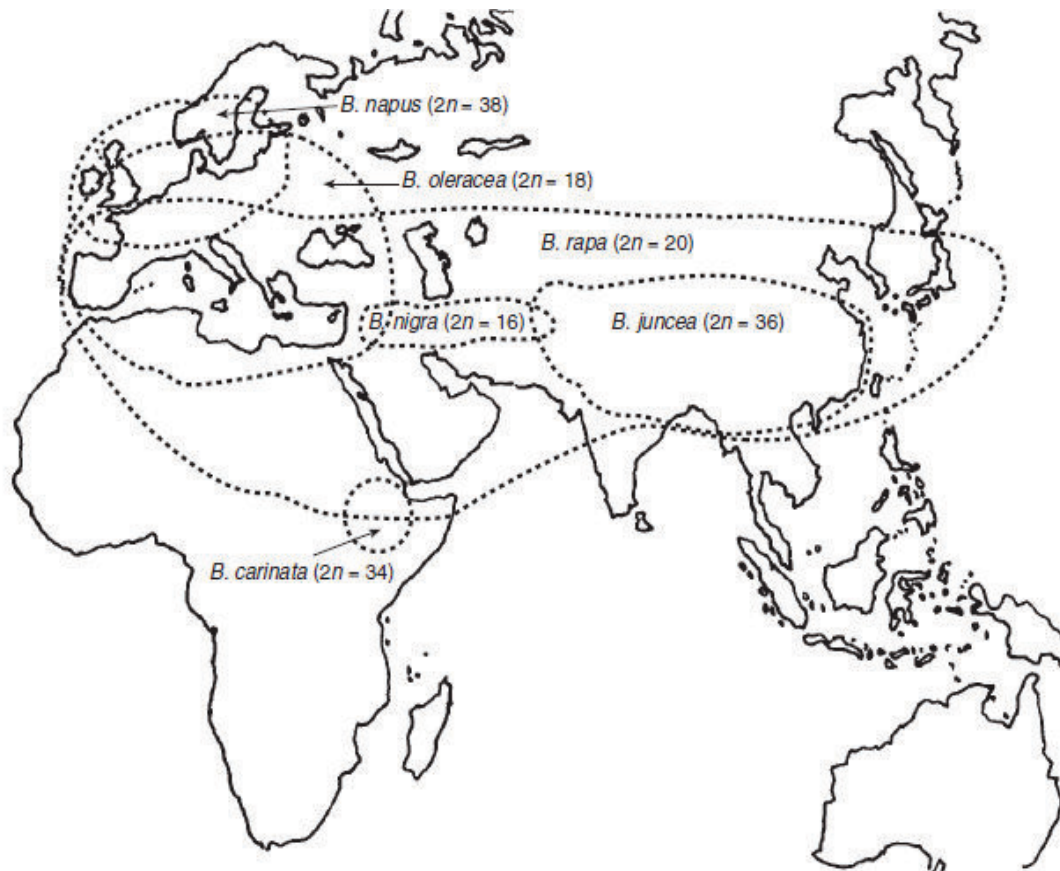


Figura 1.1. Biogeografía de los orígenes y diversidad de cultivos de Brassicas, (Dixon, 2007, p. 3)

El nombre científico de la col blanca es *Brassica oleracea* var. *capitata*. Su clasificación taxonómica se muestra a continuación:

Reino: Plantae
Orden: Capparales
Clase: Dicotiledoneae
Subclase: Dellinedae
Familia: *Brassicaceae*
Nombre científico: *Brassica oleracea*. var. *capitata*

(Ghosh y Madhavi, 2004 p. 345)

1.1.2 MORFOLOGÍA GENERAL

La col blanca (*Brassica oleracea* var. *capitata*), pertenece a la familia Brassicaceae, es una planta dicotiledónea, herbácea y bienal considerada como un cultivo de época fría y cosecha anual, posee tallo herbáceo comprimido, relativamente grueso, corto, jugoso y erecto, sin presencia de ramificaciones. Las hojas son de color verde que varían en forma y textura según el tipo de cultivar. Las hojas se apilan unas encima de otras formando una pella compacta. Las semillas son pequeñas, redondas de color café, pardo rojizo o negro.

La raíz es pivotante, cilíndrica con pequeñas raíces secundarias, presenta un sistema radicular superficial entre 40 y 45 cm. La col produce flores en racimos. Presenta una corola amarillenta de pétalos ovalados, es de naturaleza hermafrodita y polinización cruzada a través del viento e insectos (Fuentes y Perez, 2003, p. 9). Alcanza una altura de 30 cm de longitud y su crecimiento se detiene en una etapa temprana. La forma de la cabeza varía de aplanada a ovalada-larga y a menudo mide más de 20 cm de diámetro (Ghosh y Madhavi, 2004).



Figura 1.2 a) Plantación de col blanca Finca "La Huerta"; b) Hojas compactas que forman la "Cabeza" de col blanca (Jaramillo y Díaz, 2006, p. 169)

1.1.3 PROPAGACIÓN Y CONDICIONES DE CULTIVO

Para el cultivo de col blanca primero se prepara el terreno, y se realizan camas de cultivo elevadas donde se siembran entre 400 y 500 g de semillas por ha aproximadamente (Ghosh y Madhavi, 2004). El suelo debe ser rico en materia orgánica y permitir un drenaje adecuado. Los semilleros deben prepararse en un ambiente abierto y soleado (Jaramillo y Díaz, 2006, p. 23).

Las plantas de col son resistentes a temperaturas de -10 °C durante cortos periodos de tiempo. Las temperaturas mínima y máxima de crecimiento son de 0 - 25 °C respectivamente, y la temperatura óptima de crecimiento corresponde el rango entre 15 - 20 °C. Para la germinación de la semilla las temperaturas mínima, máxima y óptima son: 5 °C, 35 °C y 29 °C respectivamente (Respondek y Zvalo, 2008, p. 2).

1.1.4 MANEJO POS-COSECHA

La col blanca es uno de los vegetales de mayor tiempo de almacenamiento (5 – 6 meses). Dependiendo del manejo poscosecha tiene un tiempo de almacenamiento de hasta 10 meses en atmosferas modificadas en concentraciones de dióxido de carbono de 2 – 6 % y concentraciones de oxígeno entre 1 – 5 % (Dixon, 2007, p. 255). La poscosecha de la col depende de la temperatura y humedad relativa (HR) de almacenamiento. Se recomienda una temperatura de 0 °C y entre 98 - 100 % HR. El almacenamiento a -1 °C produce congelación y a 1 °C provoca pérdidas durante largos periodos de almacenamiento, relacionadas con la senescencia (Wang, 2003, p. 606).

La recolección se realiza de forma manual con el empleo de cuchillos. Se corta el tallo debajo de la cabeza sin dejar eliminando todo el tallo y se conservan de tres a cuatro hojas externas que sirven para proteger a la hortaliza. Durante la selección de las cabezas de col se descartan las hortalizas que presentan daños por insectos, pudriciones o deformaciones. La clasificación de las coles se realiza

mediante las características de tamaño y peso. Según la USDA, (2002) clasifica a coles pequeñas con pesos menores a 0,7 kg, coles medianas entre 0,7 – 1,5 kg y coles grandes con pesos mayores a 1,5 kg (p. 6).

La col no debe ser almacenada conjuntamente con frutas, especialmente con manzanas, debido a que producen grandes cantidades de etileno mayores a 100 ppm/(kg/h) (Kader, 2011, p. 89). La col expuesta a etileno presenta decoloraciones en las hojas y causa abscisión donde el tallo de la hoja se une al núcleo provocando la caída de la hoja (Bachmann y Earles, 2000, p. 7).

Se recomienda que el lugar de almacenamiento cuente con ventilación continua. El arreglo de las coles en bodega debe ser de tal manera que las cabezas de col permitan el flujo de aire máximo (0,05 – 0,1 m/s) (Valero y Serrano, 2010, p. 76). Los canales de aire entre las filas apiladas deben facilitar la circulación del aire. Los contenedores se pueden apilar hasta una altura recomendada de 1,5 m. Para el almacenamiento y transporte, se recomienda el empleo de gavetas plásticas de 25 kg de capacidad para evitar que el producto se maltrate y contamine (Jaramillo y Díaz, 2006, p. 171).

1.2 PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Las frutas y hortalizas constituyen una parte fundamental en la dieta de las personas de cualquier edad, por su composición nutricional que aporta beneficios para la salud. Sin embargo, el escaso tiempo para la preparación de estos alimentos, el desperdicio que representa la preparación de frutas u hortalizas enteras y la oferta de comidas rápidas producen una ingesta de frutas y hortalizas menor al valor diario recomendado (400 g/día) (OMS, 2014). Frente a esta problemática el procesamiento mínimo es una alternativa que permite dar valor agregado a los productos vegetales, brinda al consumidor productos listos para consumir, conservan las características de un producto fresco y tienen un alto valor nutricional. Sin embargo, los daños mecánicos provocados en los tejidos vegetales aumenta el metabolismo de los vegetales, las superficies cortadas favorecen el ataque de microorganismos frente a los tejidos generalmente

estériles. Cabe mencionar que no existe ningún tratamiento durante el procesamiento que pueda eliminar por completo los microorganismos. Debido a estas desventajas, los métodos para extender el tiempo de vida útil se enfocan en reducir la actividad metabólica de las células, la carga microbiana en vegetales enteros y controlar la velocidad de crecimiento de microorganismos en los vegetales cortados (Barrett, Beaulieu y Shewfelt, 2010, p. 379).

Los productos mínimamente procesados (PMP) se definen como alimentos vegetales, frutos u hortalizas frescos o una combinación de ellos, alterados mediante tratamientos físicos poco intensos y que conservan sus características intrínsecas nutricionales y de frescura (IFPA, 2014). Estos frutos y hortalizas son pelados, cortados, lavados y envasados, tienen un periodo de vida útil entre 7 y 14 días dependiendo del producto y conservan las características nutricionales y sensoriales de un producto vegetal entero (Francis et al., 2012, p. 597).

Dentro de los parámetros de calidad se detallan las características físicas, químicas, sensoriales y nutricionales que son requeridas para que los PMP sean considerados de calidad.

1.2.1 OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESAMIENTO DE PMP

Las operaciones unitarias realizadas para la obtención de PMP se enfocan en producir el menor daño en los vegetales para conservar sus propiedades nutricionales y sensoriales propias. Estas operaciones pueden ser realizadas de forma manual o mecánica, a continuación se detalla cada una de las etapas de procesamiento de PMP desde la recepción de materia prima hasta el empaclado.

1.2.1.1 Recepción de materia prima

La selección de la materia prima adecuada es un paso fundamental para el procesamiento mínimo, determina el comportamiento fisiológico y microbiológico al inicio, durante y al final de la producción.

1.2.1.2 Acondicionamiento y lavado

Antes del procesamiento las frutas y vegetales necesitan ser acondicionadas mediante la eliminación de frutos con daños mecánicos o microbiológicos, hojas externas y en mal estado. El proceso de lavado de frutas y hortalizas antes del corte se considera el paso más importante para la producción de PMP ya que elimina la mayor cantidad de impurezas, residuos de pesticidas, tierra, insectos, materia orgánica y microorganismos superficiales responsables de la pérdida de calidad (Artés et al., 2011, p. 10). Muchos vegetales como la col blanca y col china se deben lavar antes del procesamiento de rallado. La cantidad recomendada de agua para lavar esta entre 5 y 10 L/kg de producto antes del proceso de pelado o corte y 3 L/kg después del pelado o corte. Los lavados generalmente se realizan con agua y agentes sanitizantes. (Ahvenainen, 2000, p. 226).

1.2.1.3 Pelado, cortado

Las operaciones de pelado y cortado se las realiza mediante el empleo de herramientas o equipos que permiten cambiar el aspecto físico de los vegetales. Los instrumentos de corte deben ser previamente desinfectados y afilados para provocar el menor daño posible a los tejidos vegetales. Existen diferentes formas de pelado que puede ser por vapor a altas presiones (1500 KPa) que permite retirar las superficies principalmente de frutas; el pelado con cuchillo que permite eliminar las superficies externas mediante la presión que se ejerce y pelado por abrasión que consiste en someter al vegetal a superficies abrasivas como rodillos de carborundo para la eliminación de la piel. Posteriormente, se somete al producto a procesos de sanitización generalmente en soluciones de NaClO en concentraciones de 50 – 150 ppm de cloro disponible (Artés-Hernández, Gómez y Artés, 2013, p. 43).

1.2.1.4 Ecurrido

El paso siguiente es la eliminación de agua del producto evitando daños innecesarios a sus tejidos. El objetivo de remover el agua es disminuir el contenido de humedad para evitar el desarrollo de microorganismos y otros procesos bioquímicos. Los sistemas de eliminación de agua se realizan mediante equipos como centrífugas o túneles de secado a condiciones que permiten preservar las características de un producto fresco (Artés-Hernández et al., 2013, p. 43).

1.2.1.5 Empacado

Finalmente, el producto se empaca en películas poliméricas o contenedores plásticos generalmente de polietileno de baja densidad (PEBD) y polipropileno (PP) que permiten el intercambio de gases principalmente de O₂ y CO₂, además de prolongar la vida útil, mejorar el manejo, impedir daños mecánicos y contaminación microbiana (Artés-Hernández et al., 2013, p. 49). Dentro de los beneficios del empleo de empaques adecuados incluye la reducción: de la respiración, la producción de etileno, las reacciones enzimáticas y desordenes fisiológicos. Este proceso se debe realizar en un cuarto adecuado alejado de las zonas húmedas de la línea de producción y manteniendo temperaturas bajas entre 1 y 4 °C (James y Ngarmsak, 2010, p. 46).

1.2.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

1.2.2.1 Características físicas

Dentro de las características físicas principales se determinó la apariencia general, la textura y la transpiración. Estas propiedades pueden ser analizadas

mediante equipos que cuantifican determinadas características como color, dureza o cantidad de peso perdido (Barrett, Beaulieu y Shewfelt, 2010, p. 370).

TEXTURA

La textura es un conjunto de características percibidas por los órganos de los sentidos principalmente del tacto y del gusto. Así, cuando se toma una fruta con la mano se percibe la firmeza o dureza. Sin embargo, al momento de masticarla se comprueban las características percibidas al principio. Además, la textura de frutas y vegetales se relaciona con la turgencia y con la composición de las paredes celulares en los tejidos vegetales. Las paredes celulares se componen de polisacáridos de elevado peso molecular como la celulosa, hemicelulosa, compuestos pépticos, proteínas y lignina (Barrett, Beaulieu y Shewfelt, 2010, p. 371) que proporcionan la dureza característica de los vegetales ya que mantienen la continuidad del tejido.

Por otra parte, la firmeza está determinada por la anatomía física del tejido, particularmente del tamaño de las células, su acomodación, forma, grosor de la pared celular y la adhesión entre células, mientras que la jugosidad se determina por la estructura de las células en el tejido, las células alargadas tienen más jugo celular y se rompen más fácilmente. La naturaleza del tejido determina la jugosidad; si un tejido se rompe principalmente por la ruptura de las células, se tiene una sensación al masticar de mayor jugosidad por la liberación de fluidos desde el interior de las células, mientras que si el tejido se rompe por la separación de las células la sensación al masticar es de menor jugosidad (Toivonen y Brummell, 2008).

Los principales cambios de la textura afectan a la pared celular constituida por celulosa y hemicelulosa y a la laminilla media compuesta básicamente de pectina encargada de proporcionar firmeza y elasticidad a los tejidos (Barrett et al., 2010, p. 370).

Los daños mecánicos en los tejidos de frutas y vegetales intactos provocan daños en la textura y se relacionan con procesos de marchitez, senescencia, pérdida de agua, reducción de la turgencia, aumento de la respiración y mayor producción de etileno, como consecuencia de estos cambios físicos los PMP se deterioran más rápido que los productos intactos (Toivonen y Brummell, 2008). El deterioro de la textura en los PMP se manifiesta como ablandamiento de los tejidos, principalmente en frutas, y procesos de lignificación en vegetales (Francis et al., 2012, p. 596). Como se muestra en un estudio realizado por Manolopoulou y Varzakas (2013), el aumento de la dureza de col mínimamente procesada aumentó conforme avanzó el tiempo, fenómeno atribuido a la lignificación de los tejidos alrededor de los cortes (p. 35).

Otro factor, que disminuye la textura de PMP es la pérdida de agua por la ruptura de las barreras naturales, que causan la disminución de la turgencia del producto (Toivonen y Brummell, 2008, p. 6). Los cambios bioquímicos también provocan deterioro de la textura, durante el almacenamiento la pectina es el polisacárido más afectado debido a la acción de enzimas pécticas (Artés et al., 2007, p. 181). Entre las principales enzimas pécticas se encuentran la pectil metil esterasa (PME) y la poligalacturonasa (PG) que intervienen de manera sinérgica en los procesos de ablandamiento y degradan los polisacáridos de la pared celular (Valero y Serrano, 2010, p. 22). Otras enzimas involucradas en procesos de ablandamiento de los tejidos son hidrolasas y liasas (Toivonen y Brummell, 2008, p. 6).

TRANSPIRACIÓN

Las barreras naturales que impiden la pérdida de agua en los tejidos vegetales después del corte, pelado o rallado son notablemente afectadas y permite la eliminación del agua contenida en los espacios inter e intra celulares. Estas operaciones producen el aumento de la relación superficie volumen que aumenta la pérdida de agua por el fenómeno de transpiración (Toivonen y DeEll, 2002, pp. 108,109).

Las pérdidas de peso de alrededor de 2 % de agua afectan a la calidad sensorial del producto como disminución de la textura, baja apariencia visual y cambios del contenido nutricional. Por estas razones las condiciones de almacenamiento de temperatura y humedad relativa (HR) son importantes para evitar pérdida de peso en los PMP (Valero y Serrano, 2010, p. 51).

El manejo de la humedad relativa permite mantener la calidad sensorial, aumentar la vida útil y disminuir cambios fisiológicos de los PMP. Dentro de los cambios fisiológicos más notables se observan la pérdida de agua, ablandamiento de los tejidos y marchitamiento (Baldwin y Bai, 2011, p. 88). Aunque, el aumento de la humedad favorece la retención del agua, el proceso de eliminación no puede detenerse por completo, además depende del cultivar y condiciones fisiológicas y medioambientales (Montero-Calderón y Cerdas-Araya, 2011, p. 187).

1.2.2.2 Características químicas

Las frutas y vegetales están compuestos por sustancias bioquímicas que proporcionan ciertas características como: el color, el aroma, el sabor, otras sustancias cumplen funciones de protección contra agentes externos como microorganismos y forman parte de una dieta equilibrada para los seres humanos.

POLIFENOLES EN VEGETALES DEL GÉNERO *Brassica*

El grupo de compuestos polifenólicos están ampliamente distribuidos en las plantas, abarca una gran cantidad de sustancias fitoquímicas con características estructurales y funcionales. Los polifenoles se definen por su estructura bioquímica, la cual presenta anillos aromáticos con uno o más hidroxilos, sin embargo esta definición no se ajusta a otros compuestos que se incluyen dentro de esta categoría (Escarpa y Gonzalez, 2001, p. 58). Existen dos grupos principales de polifenoles: ácidos fenólicos (ácido benzoico) y flavonoides

(flavonoles, flavanoles, flavonas, antocianinas y isoflavonoides) (Queiroz, Mendes Lopes, Fialho y Valente-Mesquita, 2008, 362).

El contenido de polifenoles en vegetales del genero *Brassica* han sido investigados de forma cuantitativa y cualitativa. Dentro de los principales compuestos de flavonas se destacan el Kaempferol y los quercitinglicósidos y dentro de los ácidos hidroxicinámicos se tiene al ácido clorogénico y ácido felúrico y derivados de glicósidos (Escarpa y Gonzalez, 2001, p. 65). En la Tabla 1.1 se muestra la identificación y contenidos de algunos polifenoles en vegetales del género *Brassica*.

Tabla 1. 1. Identificación de algunos polifenoles de vegetales del género *Brassica*

Vegetal	Nombre Científico	Polifenoles	Contenidos	Referencia
Col China	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. capitata (L.) Alef. var. alba DC.	ácido caféico, ácido clorogénico, Kaempferolglycósidos	Flavonoides: 5,4-11,5 $\mu\text{mol/g}$ ácidos hidroxicinámicos: 2,4-7,6 $\mu\text{mol/g}$	Sakakibara et al., 2003
Col Blanca	<i>Brassica oleracea</i> var. Capitata	Kaempferolglucósidos, luteolinglicósidos, quercitin	Flavonoides: 0,32 $\mu\text{mol/g}$ ácidos hidroxicinámicos: 1,82 $\mu\text{mol/g}$	Sakakibara et al., 2003
Col Blanca	<i>Brassica oleracea</i> var. Capitata	Kaempferol y derivados de quercitin	0,1-0,8 mg/g contenido de aglicona	Kim, Padilla-Zakour y Griffiths, 2004
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> L. var. Itálica	Kaempferol y quercitintriglicósidos, ácido caféico y ácido clorogénico	Flavonoides: 1-10 mg/g ácidos hidroxicinámicos: 0,2-1,5 mg/g	Vallejo, Tomas-Barberan y Garcia-Viguera, 2003
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> L. var. botrytis L.	Kaempferol y luteinglicósidos, ácido caféico y ácidoclorogénico	Flavonoides: 2 $\mu\text{mol/g}$ ácidos hidroxicinámicos: 1,2 $\mu\text{mol/g}$	Sakakibara et al., 2003
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> L. var. Botrytis	Kaempferoldi-, -tri-, -tetra y pentaglicósidos y quercitintriglicósidos	no cuantificado	Llorach, Gil-Izquierdo, Ferreres y Tomas-Barberan, 2003

Las enzimas que catalizan la oxidación de polifenoles se denominan polifenoloxidasas (PFO) localizadas principalmente en la membrana tilacoidea de

los cloroplastos, el sitio activo está compuesto por dos átomos de cobre y engloban a dos grupos importantes que se clasifican en función al sustrato que oxidan (Toivonen y Brummell, 2008).

Las catecoloxidasas también conocidas como O-difenol óxido-reductasas y lacasas, se caracterizan por la presencia de átomos de cobre en el grupo prostético, son activas a pH entre 4 y 7 y termolábiles. Las catecoloxidasas están asociadas a las membranas de los cloroplastos y catalizan dos reacciones diferentes cuando se ponen en contacto con oxígeno molecular, la hidroxilación de monofenoles a O - difenoles y la oxidación de O - difenoles a quinonas. Las reacciones de hidroxilación son relativamente lentas y resultan en la decoloración de los tejidos vegetales, mientras que la reacción de oxidación es rápida y como resultado se forman las quinonas que se unen y forman compuestos poliméricos y adquieren colores de tonos marrones, negros, amarillentos o rojizos conocidos como melaninas (Queiroz et al., 2008, p. 362). Se ha comprobado que la mayoría de las PFO relacionadas con el pardeamiento de frutas y vegetales son catecoloxidasas también denominadas tirosinasas cuando actúan sobre el aminoácido tirosina. Las lacasas son menos frecuentes en frutas y vegetales pero también oxidan a O - difenoles y P - difenoles (Rivera et al., 2006, p. 92).

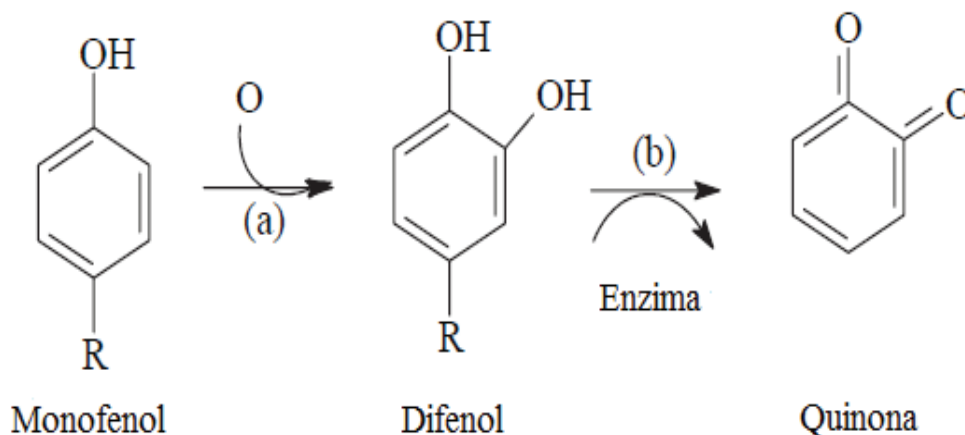


Figura 1.3. Reacciones de a) hidroxilación y b) oxidación catalizada por la enzima PFO (Queiroz et al., 2008, p. 362)

1.2.2.3 Características fisiológicas

Los cortes que se realizan en los frutos y vegetales provocan un aumento de la velocidad de respiración, producción de etileno, pérdida de agua y disminución del valor nutricional. Los PMP son más susceptibles al ataque de microorganismos. Estos cambios fisiológicos son indeseables y disminuyen el tiempo de vida útil y la calidad sensorial, nutricional y microbiológica de los PMP. Para conservar la calidad de un PMP es necesario comprender el comportamiento fisiológico del tejido vegetal entero y cortado. Además, se debe controlar factores externos como la temperatura de almacenamiento, humedad relativa y carga microbiana.

ETILENO

El etileno es una fitohormona endógena presente en frutas y hortalizas como la manzana, papaya, melón, pera, brócoli, col entre otras, induce a la madurez organoléptica de las frutas climatéricas y reduce la vida útil de las hortalizas (Toivonen y Brummell, 2008, p. 7). Los efectos del etileno sobre los tejidos de vegetales provocan pérdida de clorofila que ocasiona degradación del color verde característico de vegetales de hoja. También afecta a los carotenoides de vegetales como la zanahoria que producen tonalidades blanquecinas y favorece los procesos de senescencia. Varios factores como daños mecánicos, daños por frío, contaminación microbiana y deshidratación, incrementan la producción de etileno en frutas y hortalizas (Martínez et al., 2005, p. 355).

El tipo y la fisiología de los tejidos influyen en la producción de etileno. En frutos como kiwi, tomate y frutilla se ha reportado un incremento de la producción de etileno al momento de ser cortados, a diferencia de la pera que después del corte presenta menor producción de etileno (Toivonen y DeEll, 2002, p. 102). La madurez del producto, especialmente en los frutos climatéricos, es un factor que influye en la producción de etileno. En cambio en frutas no climatéricas, el estado de madurez debe ser el adecuado para asegurar el sabor característico de los productos frescos cortados (Montero-Calderón y Cerdas-Araya, 2011, p. 195). En

general, los frutos climatéricos producen mayores cantidades de etileno ($100 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) que los frutos no climatéricos ($0,1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) (Valero y Serrano, 2010, p. 45).

La operación de corte en el procesamiento de PMP causa un incremento en la producción de etileno. Como consecuencia de esto, la vida útil se reduce considerablemente. La dimensión de los pedazos en frutas y vegetales también influye en la producción de etileno, así por ejemplo pedazos pequeños de frutos o vegetales tienen un mayor incremento en la producción de etileno, al contrario, pedazos grandes no son diferentes en su fisiología que en vegetales enteros. En lechuga iceberg el grosor es determinante para estimular o no la producción de etileno como muestra Martínez et al., (2005) en un estudio, donde las lechugas de grosores menores a 0,5 cm produjeron etileno inmediatamente después del corte y lechugas con un corte de 2 cm no se detectó producción de etileno (p. 359). En vegetales de la familia Brassica, como la col, brócoli, col china y coliflor la presencia de cantidades pequeñas de etileno ($0,1 \mu\text{L/L}$) acelera los procesos de madurez fisiológica y organoléptica (Dixon, 2007, p. 256).

Un inhibidor de la actividad del etileno es el 1- metilciclopropeno (1-MCP) que se lo utiliza comercialmente y permite extender la vida útil de los productos. El tratamiento recomendable para PMP sensibles al etileno es la aplicación de 0,5 a 1 ppm de 1-MCP. La aplicación de 1-MCP en rodajas de manzanas almacenadas en aire (tres meses) y en atmósfera controlada (12 meses) conservaron las características de textura.

Además, la evaluación sensorial realizada por un panel entrenado y un panel de consumidores determinaron que estos productos tenían mejores atributos de calidad, apariencia, textura, sabor y aceptabilidad total (Siddiq et al., 2014, p. 2). En brócoli, la aplicación de 1 ppm de 1-MCP a 20°C durante 6 h disminuyó el amarillamiento de los floretes y prolongó la vida útil el doble en comparación con muestras almacenadas en una atmósfera con 1 ppm de etileno (Dixon, 2007, p. 256).

TASA DE RESPIRACIÓN

La respiración es un proceso biológico de oxidación de compuestos complejos (carbohidratos, proteínas y grasas) a compuestos más simples (agua y dióxido de carbono), de esta manera la planta obtiene la energía necesaria para realizar sus funciones fisiológicas (Baldwin y Bai, 2011, p. 88).

El aumento o disminución de la respiración es un indicador fisiológico que permite determinar si los tejidos vegetales han sufrido algún tipo de estrés (Baldwin y Bai, 2011, p. 91). En el caso de los PMP el aumento de la tasa de respiración generalmente es proporcional a la velocidad de deterioro, la pérdida de las reservas orgánicas acelera la senescencia y reduce las características organolépticas, nutricionales y el producto se vuelve más susceptible al ataque de microorganismos (Gómez-López, Ragaert, Debevere y Devlieghere, 2008, p. 489).

Los daños físicos provocados durante el procesamiento incrementan la tasa de respiración como respuesta a los cortes de los tejidos vegetales; por ejemplo, en un estudio con tomates cortados en rodajas y almacenados a una temperatura de 8 °C, se observó un incremento de la tasa de respiración del 40 % con respecto a tomates enteros (Toivonen y DeEll, 2002, p. 104). Además, las condiciones de almacenamiento influyen en la tasa de respiración debido a varios factores, principalmente la temperatura, que influye directamente en el proceso respiratorio.

La tasa de respiración de frutas y vegetales se incrementa de dos a tres veces por cada 10 °C dentro del rango de temperatura fisiológica (0 - 40 °C) (Valero y Serrano, 2010, p. 180). Otro factor importante es la humedad, en donde existe una relación directa entre el contenido de agua en el producto y la respiración, es decir que a mayor cantidad de agua mayor respiración y viceversa. Además, la actividad de la planta también es otro factor de acuerdo a sus etapas de floración o germinación donde la tasa de respiración aumenta (Martínez, Lee, Chaparro y Páramo, 2003, pp. 9-10).

El aumento de la respiración también provoca el aumento en la producción de etileno y estimula la síntesis de enzimas como la fenilalanina amonio liasa (PAL) involucrada con los procesos de senescencia (Artés, Gómez y Artés Hernández, 2007, p. 178). Otro aspecto de la respiración en PMP son las altas concentraciones de CO₂ dentro del empaque, que favorecen los procesos de fermentación. Por ejemplo, en lechuga cortada los procesos de fermentación son más frecuentes que en que en lechugas enteras (Toivonen y DeEll, 2002, p. 105). También se debe tener en cuenta las herramientas empleadas para el procesamiento de PMP. En lechuga iceberg mínimamente procesada, la utilización de cuchillos no afilados produce el incremento de la tasa de respiración inmediatamente después del corte debido a que existe mayor daño en las paredes celulares (Ahvenainen, 2000, p. 20).

En el caso de espárragos mínimamente procesados, se observó que a diferentes condiciones de luminosidad se incrementó la tasa de respiración y sus características sensoriales como la textura disminuyeron (Sanz, Olarte, Ayala y Echávarri, 2009, p. 300).

La temperatura es el principal factor que ayuda a controlar los cambios metabólicos de PMP, como el aumento de la velocidad de respiración, producción de etileno, pardeamiento enzimático, pérdida de peso y susceptibilidad microbiana (Valero y Serrano, 2010, p. 2). El manejo de temperaturas de refrigeración durante todas las etapas del procesamiento es crítico y permite asegurar la vida útil del producto. En los PMP los daños por frío no son apreciables por el corto tiempo de vida útil (1 – 2 semanas) por lo que se recomienda almacenar a temperaturas por debajo de 4 °C (Artés et al., 2007, p. 183). El crecimiento y desarrollo de microorganismos también depende de la temperatura, en el caso de *Listeria monocytogenes* a 8 °C su crecimiento no se ve afectado mientras que si la temperatura se disminuye a 4 °C existe una reducción de la velocidad de crecimiento (Francis et al., 2012, p 597).

1.2.2.4 Características sensoriales

Las características sensoriales son determinantes al momento de adquirir un PMP. Los consumidores esperan productos que proporcionen las sensaciones esperadas debido a las características específicas de sabor, aroma, color y textura de frutas y hortalizas (Barrett et al., 2010, p. 371).

APARIENCIA GENERAL

La apariencia es un atributo de carácter visual relacionado con las características del producto como: tamaño, forma, brillo y color. A primera vista, los productos deben verse frescos y libres de daños físicos. Los daños físicos se producen por operaciones mecánicas que aceleran los procesos fisiológicos como aumento de la respiración, mayor producción de etileno, transpiración y pardeamiento enzimático (Toivonen y Brummell, 2008, p. 2). El pardeamiento de los tejidos vegetales es uno de los principales problemas de frutas y vegetales frescos cortados y depende de la cantidad de polifenoles, la actividad enzimática y la concentración de antioxidantes contenidos en el tejido vegetal (Toivonen y DeEll, 2002, p. 110).

Las características de un producto con mala apariencia incluyen marchitamiento, cambios de coloración, pérdida de textura, etc. Las condiciones de temperatura y humedad, así como, el manejo poscosecha de la materia prima, determinan la calidad visual del producto final y la aceptación del consumidor (Ragaert, Devlieghere y Debevere, 2007, p. 188).

El pardeamiento enzimático es uno de los principales problemas que afectan la calidad visual de la mayoría de PMP. Los cambios de color se producen por la acción de las enzimas sobre los sustratos disponibles que se generan después del daño físico de los tejidos vegetales (Toivonen y Brummell, 2008, p. 2).

Las reacciones de oxidación se producen entre los polifenoles contenidos en las vacuolas de las células y las enzimas del citoplasma que al contacto con el oxígeno forman quinonas. Posteriormente las quinonas forman polímeros de gran peso molecular conocidas como melaninas las cuales presentan coloraciones marrones, rojizas o negruzcas. Este problema es de considerable importancia en la industria alimenticia debido a que afecta a la calidad nutricional y a la apariencia visual y por tanto reduce la aceptabilidad del consumidor y causa pérdidas a nivel de productores y de procesadores de PMP. Se estima que el 50% de pérdidas en frutas ocurre como resultado del pardeamiento enzimático (Queiroz, Mendes Lopes, Fialho y Valente-Mesquita, 2008, p. 362).

FAVOR: SABOR Y AROMA

Beaulieu y Baldwin, (2002) definen flavor como la combinación de sabor y aroma que provocan sensaciones agradables o desagradables al ponerse en contacto con los sentidos olfativo y del gusto (p. 398). Los compuestos volátiles son percibidos por los receptores nerviosos de la nariz y los compuestos no volátiles se perciben por los receptores nerviosos de la boca, luego esta información es procesada por el cerebro que es capaz de proporcionar una respuesta en conjunto que conocemos como flavor (Barrett et al., 2010, p. 377), donde además, se detectan variaciones de sabor y aroma como se demuestra en estudios donde los niveles de compuestos aromáticos influyen en la percepción de dulzor y acidez de tomates y niveles de componentes de sabor influyen en la percepción de características aromáticas de mangos (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 398).

En los PMP las operaciones de corte alteran los compuestos volátiles que provocan cambios en el producto final que pueden ser positivos o negativos. Varias enzimas catalizan compuestos bioactivos que favorecen la aparición de aldehídos y cetonas que son los responsables de malos olores. Posiblemente el flavor es el atributo que permite que el consumidor vuelva a adquirir el producto por la satisfacción que ofrece (Barrett et al., 2010, p. 377).

VALOR NUTRICIONAL

El valor nutricional en frutas y vegetales se debe al contenido de micro y macro nutrientes. Tanto las frutas como los vegetales son fuente de micronutrientes como la vitamina C, vitaminas del complejo B, vitamina E, A, minerales, polifenoles, carotenoides, glucosinolatos y macronutrientes como fibra y carbohidratos necesarios para el correcto funcionamiento del cuerpo humano (Barrett et al., 2010, p. 378).

La calidad nutricional es una cualidad importante de los PMP, sin embargo no se puede ver, saborear o sentir debido a que cada producto tienen una composición físico-química única (Francis et al., 2012, p. 596), que luego del procesamiento pueden presentar diferentes cambios como disminución de carotenoides en zanahorias o aumento de la actividad antioxidante durante el almacenamiento como en el caso de lechugas, papas y col blanca (De-Ancos, Sánchez-Moreno, Plaza y Cano, 2011, p. 150).

Las plantas de la familia *Brassicaceae* como la col blanca presentan una amplia gama de fitoquímicos como glucosinolatos, carotenoides, vitaminas, minerales (Domínguez-Perles, Mena, García-Viguera y Moreno, 2013, p. 3) y fibra dietética (entre 41 y 43 % en base seca) (Tanongkankit, Naphaporn y Sakamon, 2010, p. 1063) que proporcionan un alto valor nutricional. Otra característica de las *Brassicaceae* es su capacidad de sintetizar compuestos azufrados, como glucosinolatos que actúan contra los procesos de carcinogénesis y mutagénesis y otras formas reactivas del oxígeno (Campas-Baypoli et al., 2009, p. 95). En la Tabla 1.2., se presentan la composición de nutrientes para col blanca.

Una de las características importantes de los PMP es su valor nutricional, que disminuye inmediatamente después de las operaciones mecánicas de corte, rallado, pelado, etc, que destruyen la continuidad del tejido vegetal. Además, otros factores como tipo de cultivar, condiciones de crecimiento, etapa de madurez y factores medioambientales, producción de etileno e incremento la respiración (Barrett et al., 2010, p. 372). Durante el almacenamiento se producen leves

cambios en el contenido de fibra y minerales pero las vitaminas se pierden en mayor proporción.

Tabla 1.2. Composición nutritiva por cada 100 g de producto comestible

Nutrientes	Cantidad
Proteínas (g)	2,4
Lípidos (g)	0,2
Calorías (unid.)	24
Vitamina A (UI)	200
Vitamina B2 (mcg)	120
Vitamina C (mg)	55
Calcio (mg)	67
Potasio (mg)	230
Hierro (mg)	0,9

(Jarmillo y Díaz, 2006, p. 11)

La pérdida de los compuestos bioactivos después del corte se incrementa, principalmente la pérdida de antioxidantes como la vitamina C por la exposición a la luz o el oxígeno, tratamientos de sanitización o modificaciones en el pH (Francis et al., 2012, p. 597). Los carotenoides también son fitoquímicos que cumplen funciones biológicas importantes como control del crecimiento celular, diferenciación celular y actividad antioxidante pero son compuestos sensibles a condiciones de pH, luz y oxígeno bajo (De-Ancos, Sánchez-Moreno, Plaza y Cano, 2011, p. 150). La concentración de polifenoles en frutas y vegetales, después del corte aumenta como respuesta fisiológica al daño de los tejidos y al ataque de microorganismos. La concentración de polifenoles se relacionan con la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL). La degradación de estos fitoquímicos se produce por las enzimas: polifenoloxidasas, peroxidasas y ascorbato oxidasa, que se liberan después de las operaciones de corte (Francis et al., 2012, p. 598).

1.2.2.5 Daño patológico

Los PMP constituyen un medio adecuado para el desarrollo de microorganismos por su elevado contenido de agua mayor a 90 %, nutrientes y pH adecuado entre 4,9 y 6,5 (Francis et al., 2012, 595). Los daños producidos en los tejidos vegetales permiten el crecimiento de los microorganismos procedentes de los procesos de pre y post cosecha, transporte, procesamiento, empaque y distribución que aumenta el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por alimentos (Ragaert et al., 2007, p. 187). Por estas razones, las buenas prácticas agrícolas (BPA), de manufactura (BPM) y desarrollo de sistemas de análisis de peligros y control de puntos críticos (HACCP) son obligatorios en Europa para la producción de PMP (Zeuthen, 2000, p. 76).

Los cortes realizados en el tejido vegetal producen la liberación de nutrientes y agua que son aprovechados por microorganismos que provocan el deterioro de la textura, desarrollo de malos olores, pérdida de nutrientes y mal aspecto visual. Otras investigaciones señalan que las levaduras y las bacterias ácido lácticas provocan un aumento de la producción de CO₂, etanol, ácido acético y láctico en coles y zanahorias (O'Connor-Shaw, 2004, pp. 441-442). El control de la temperatura es fundamental para el evitar el desarrollo de microorganismos, sin embargo las bajas temperaturas de refrigeración (1 – 4 °C) no son suficientes para controlar el desarrollo de microorganismos. Por ejemplo, las bacterias del género *Pseudomonas* (*P. Fluorescens* y *P. viridiflava*) producen ablandamiento de los tejidos vegetales a temperaturas menores de 4 °C. Patógenos como *E. coli* 0157:H7 y *Listeria monocytogenes* pueden sobrevivir y desarrollarse en temperaturas de refrigeración (Zeuthen, 2000, p. 202).

Los vegetales en el campo están expuestos a fuentes de contaminación como el suelo, el agua de riego, abonos orgánicos que contienen microorganismos principalmente saprófitos Gram-negativos, sin embargo también se encuentran microorganismos patógenos como *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella* y *Escherichia coli*. En vegetales de hoja los microorganismos más comunes son *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*, estos microorganismos

sobreviven al lavado y pasos de desinfección debido a la formación de biofilms en las superficies de los vegetales y equipos (Seo, Jang y Moon, 2010, p. 1283).

La microflora de los PMP es diversa, y debido a esta razón la industria alimentaria realiza análisis de patógenos de origen fecal, conteo total de bacterias y hongos y levaduras que representan un indicador de higiene y calidad de PMP (Ragaert et al., 2011, p. 60).

En Ecuador no existe un reglamento sanitario para establecer los límites microbiológicos de PMP. Sin embargo, se citan como referencias reglamentos microbiológicos vigentes de países consumidores de PMP. La legislación española en el Real Decreto 3484/2000 establece los límites para el conteo total de aerobios mesófilos para comidas preparadas y envasadas a base de vegetales crudos. El rango de valores permitidos está entre $1,00E+05$ y $1,00E+06$ UFC/g para el día de la fabricación y entre $1,00E+06$ y $1,00E+07$ UFC/g para la fecha de caducidad (Lobo y González, 2007, p. 6).

En Francia se estableció un límite máximo de aerobios mesófilos al momento de consumo de $5,00E+07$ UFC/g (Piagentini, Pirovani y Güemes, 2004, p. 174). La legislación brasileña establece un máximo de coliformes totales de $1,00E+06$ UFC/g (Aparecida et al., 2011, p. 1401). Para hongos y levaduras el rango mínimo y máximo permitido establecido fue de $1,00E+03$ y $1,00E+05$ UFC/g, respectivamente (Ragaert et al., 2011, p. 60).

1.3 MÉTODOS PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

1.3.1 EMPAQUE

Los PMP son alimentos muy perecederos, esto implica que, el envasado y empacado adecuado son indispensables para alargar el tiempo de vida útil

durante su transporte y exposición en percha. En la actualidad se dispone de envases de diversos materiales que se pueden ajustar a las características físicas y fisiológicas de cada producto. Las consideraciones que se toman en cuenta para la selección de un empaque son la forma de las frutas u hortalizas, los productos generados (CO₂, etileno, calor) por la respiración, la velocidad de deshidratación expresado en pérdida de agua y la temperatura de almacenamiento (Barrett et al., 2010).

1.3.2 TRATAMIENTOS DE CONSERVACION DE PMP

Debido al corto tiempo de vida útil de los PMP es indispensable realizar tratamientos que permitan la conservación de las características organolépticas, reducción de cambios fisiológicos, metabólicos e inocuidad del producto (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011, p. 235). Los tratamientos con el uso de sustancias químicas son los más utilizados para prevenir el deterioro de los PMP, sin embargo, muchos de estos compuestos son perjudiciales para la salud humana. En la actualidad, los tratamientos con compuestos naturales y menos nocivos denominados compuestos GRAS presentan mayor aceptación por parte de los consumidores (Kim, 2012, p. 174). Uno de los principales objetivos de los tratamientos es la disminución de la carga microbiana, que causa alteraciones fisiológicas como aumento de la respiración y mayor producción de etileno (Gil, Allende y Selma, 2011, p. 220).

1.3.2.1 Tratamientos físicos de preservación

El empleo de bajas temperaturas es el método de conservación más común utilizado en PMP. Las principales ventajas de la refrigeración son: reducción de la actividad enzimática, control de cambios metabólicos y disminución del desarrollo microbiológico (García y Barrett, 2002, p. 15).

El uso de empaques como tratamiento físico consiste en la modificación interna de la atmósfera mediante la disminución de la concentración de O₂ y aumento de la concentración de CO₂ o N₂. La modificación de la atmósfera pretende reducir la tasa de respiración, producción de etileno y mantener la apariencia visual de los PMP (Plestenjak, Hribar, Unuk y Vidrih, 2008, p. 428).

Entre los tratamientos físicos emergentes se aplica la irradiación gamma en bajas dosis (< 1 KGy), método aprobado por la FDA (Ramos, Miller, Brandão, Teixeira, y Silva, 2013, p. 10); la radiación ultravioleta (UV), comúnmente utilizado el espectro UV-C comprendido en el rango de 280 a 315 nm para frutas y vegetales, es un potente bactericida, sin embargo sus principales desventajas son la baja penetración y altos costos de implementación, y altas presiones (100 – 1000 MPa) que permiten la inactivación de enzimas y destrucción de microorganismos sin la degradación de las características sensoriales y nutricionales (Laboissière et al., 2007, p. 470). El ultrasonido es otro método de conservación que surgió para reemplazar los métodos térmicos convencionales, el rango de frecuencias usadas está en el rango de 20 a 100 KHz (Ramos et al., 2013, p. 11).

Tratamientos Térmicos (TE): dentro de las tendencias actuales de consumo de alimentos exigen que los productos estén libres o presenten bajas concentraciones de compuestos químicos. Los tratamientos térmicos (TE) son una opción que permite conservar las características organolépticas, controlar el desarrollo de microorganismos patógenos y regular cambios fisiológicos y metabólicos de PMP. Además los tratamientos TE son considerados como seguros para la salud humana, amigables con el medio ambiente. La duración del tratamiento es corto (minutos) y económico. Las temperaturas pueden variar entre 40 y 90 °C con tiempos de 1 a 5 min dependiendo del tipo de vegetal, cultivar tamaño o forma (Alegria et al., 2010, p. 156). El empleo de temperaturas por encima de los 40 °C también favorece la conservación de PMP reduciendo la actividad de enzimas como la PPO y PAL y ofrecen una alternativa para mantener las características organolépticas de PMP (García y Barrett, 2002).

Los tratamientos térmicos afectan directamente a las características de textura y color de frutas y vegetales enteros o mínimamente procesados. Los TE inhiben la actividad enzimática y permiten mantener la firmeza de hortalizas como por ejemplo zanahorias (Alegria et al., 2012, p. 198). El control del pardeamiento enzimático es un efecto que se controla exitosamente con tratamientos térmicos. Las temperatura medias comprendidas entre 45 y 60 °C permite la inactivación de enzimas como la PFO la principal causante de la presencia de coloraciones pardas y la PAL (fenilalanina amonio liasa) responsable de sintetizar mayor cantidad de polifenoles (Sivakumar y Fallik, 2013, p. 300).

1.3.2.2 Tratamientos químicos de preservación

Los tratamientos químicos de preservación se realizan con sanitizantes mediante el proceso de desinfección. La FDA define el tratamiento de sanitización como “tratamiento de limpieza en un proceso que es efectivo destruyendo o substancialmente reduciendo el número de microorganismo que son preocupación pública para la salud” (FDA, 1998). Los sanitizantes a base de cloro son los utilizados en la industria alimentaria se emplean en concentraciones de 50 a 200 ppm durante un tiempo de 1 a 2 min. El cloro se obtiene en forma de gas como (Cl_2) o en estado líquido como hipoclorito de sodio (NaOCl) o hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. La actividad antimicrobiana de los compuestos clorados depende de la cantidad de ácido hipocloroso (HClO) presente en el agua, que a su vez depende del agua, la concentración de material orgánico y la temperatura del agua (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, p. 342).

A continuación se detallan algunas características de sustancias consideradas como GRAS empleadas en tratamientos de conservación de PMP.

Ácido acético (AT): es un ácido orgánico que ayuda a controlar el pardeamiento enzimático mediante la inactivación de enzimas, también se usa como antimicrobiano, pero su efectividad depende de la concentración y el tiempo de contacto. Se han realizado estudios con ácido acético en col rallada para reducir

la contaminación de *Salmonella anatum* utilizando concentraciones de AT entre 0,5 y 1,5 % a temperaturas de 5, 10 y 30 °C, la *Salmonella* disminuyó significativamente durante los primeros 5 min de contacto (Naphaporn y Pornpen, 2009, p. 955).

Ácido ascórbico (AA): es un compuesto GRAS ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a su baja toxicidad y como agente antioxidante. El ácido ascórbico (AA) actúa reduciendo a las O-quinonas producto de la oxidación de los difenoles, de esta forma destruye la cadena de oxidación de polifenoles. Las desventajas del uso de AA son: el corto tiempo de actuación como agente antioxidante y las condiciones medioambientales específicas como pH, temperatura, luz y composición de la atmosfera (Ioannou y Ghoul, 2013, p. 313). Los rangos de concentración del AA son variados según He y Luo, (2007) se emplean concentraciones entre 0,5 y 4 % (p. 3).

Ácido cítrico (AC): es una sustancia quelante que se une a los iones de cobre de la enzima PFO y como consecuencia disminuye la actividad enzimática. También cumple la función de acidificación de medios para control enzimático y microbiológico. Se emplea en combinación con otros agentes antiparadeantes como el ácido ascórbico (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011, p. 241).

Sorbato de potasio (SP): es una sustancia considerada por la FDA como GRAS por su baja toxicidad, se utiliza ampliamente en la conservación de alimentos por sus características de agente bactericida, fungicida y para retardar la germinación de esporas. En un estudio en col blanca el SP conserva la textura crujiente, controla y reduce la carga total de coliformes (Rosidah, Jitareerat, Uthairatanakij, Sri-laong, y Samphanvejsopha, 2010, p. 369).

1.3.2.3 Tratamientos combinados de preservación

Los tratamientos combinados en PMP consisten en realizar dos o más tratamientos de preservación con efecto sinérgico y que permitan controlar los

cambios fisiológicos, reducir microorganismos patógenos y conservar las características organolépticas y nutricionales (Gil et al., 2011, p. 135). La combinación de tratamientos se enfoca principalmente en la reducción de la carga microbiana (Ragaert et al., 2007, p. 92). Un estudio realizado en lechuga iceberg rallada combinó los métodos de radiación a bajas dosis (0,55 KGy) y agua clorada en *E. Coli* 0157:H como resultado se obtuvieron reducciones de 5,4 unidades logarítmicas de microorganismos, valores significativamente mejores que los tratamientos realizados únicamente con agua clorada (Gómez-López, Ragaert, Debevere, et al., 2008, p. 493).

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima se caracterizó mediante análisis físicos, químicos, Además de análisis microbiológicos y sensoriales antes de realizar el procesamiento y almacenamiento.

2.1.1 MATERIA PRIMA

La materia prima fue adquirida de la finca “La huerta” ubicada en la parroquia de El Quinche, provincia de Pichincha. La cosecha de col blanca (*Brassica oleracea* var. capitata) se realizó de manera manual a tempranas horas de la mañana. Las hortalizas se transportaron hacia el área de poscosecha de la finca, donde se eliminaron las impurezas visibles como tierra e insectos muertos. Luego, la materia prima se transportó en gavetas plásticas (entre 8 y 10 cabezas de col blanca por gaveta), durante un tiempo aproximado de 1 h hacia la Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional de Quito..

2.1.2 MÉTODOS FÍSICOS

Las características físicas analizadas a la materia prima fueron: diámetro polar y transversal, peso, color y textura a continuación se detallan los métodos empleados para la obtención de los datos. Los datos fueron obtenidos de 50 coles enteras.

2.1.2.1 Diámetro polar y ecuatorial

Los diámetros polar y transversal se midieron con una cintamétrica. El diámetro polar se midió desde el extremo superior hasta la base de la col y el diámetro ecuatorial se determinó midiendo la sección transversal más ancha de la hortaliza.

2.1.2.2 Peso

El peso se determinó con una balanza electrónica (BOECO, modelo BBA51, Alemania, 4 100 g, 0,01).

2.1.2.3 Color

Para la medición del color de la materia prima se utilizó el espacio de color CIELab determinado por los parámetros L^* , a^* y b^* con un colorímetro triestímulo (Minolta, modelo CR-200, Japón). El colorímetro fue calibrado con una placa cerámica en las coordenadas $Y = 92,7$; $x = 0,3136$; $y = 0,3197$.

Las medidas de color se realizaron en cinco regiones diferentes del empaque con col fresca y rallada.

2.1.2.4 Textura/Dureza

La textura se determinó con un equipo de ensayos universales (Instron, modelo 1011, Italia) equipado con una celda Kramer (Anexo I) en la cual se colocó 80 g de muestra. Las condiciones de operación fueron de 100 mm/min y una carga de 5 KN, método adaptado de (Manolopoulou y Varzakas, 2013, p. 32). La dureza de la col rallada se determinó mediante la fuerza máxima expresada en newton (N).

2.1.3 MÉTODOS QUÍMICOS

Las características químicas analizadas a la materia prima fueron: pH, contenido de sólidos solubles totales (SST) y contenido de polifenoles totales (CPT). A continuación se detallan los métodos empleados para la obtención de los datos.

2.1.3.1 Preparación de las muestras

Para los análisis químicos se licuó aproximadamente 200 g de col blanca para extraer el jugo de la hortaliza. Se prepararon cinco muestras de cada tratamiento según el método AOAC 920.149 (AOAC, 2005).

2.1.3.2 Determinación de pH

El pH se midió mediante el método AOAC 981.12 con un pH-metro electrónico (Fisher Scientific, AB150, USA, 14, 0,01), calibrado en un rango de pH de 4 a 7. El electrodo del pH metro se introdujo en las muestras de 50 mL de jugo preparado y se esperó a que el pH se estabilizara (AOAC, 2005), se realizaron dos mediciones de cada réplica.

2.1.3.3 Determinación de Sólidos solubles Totales (SST)

La determinación de los sólidos solubles totales (SST) se realizó mediante el método AOAC 932.12 (AOAC, 2005), con un refractómetro (Westover EHB-32, USA, 32 °Brix, 0,2) donde se colocaron dos gotas del extracto de jugo de col blanca se realizaron tres medidas de cada réplica.

2.1.3.4 Determinación del Contenido de Polifenoles Totales (CPT)

La cantidad de polifenoles se analizó en un espectrofotómetro de masas (SHIMADZU, UV-VISIBLE RECORDING SPECTROPHOTOMETER UV – 160°, Japón). Las muestras se conservaron en congelación a -20 °C. Se analizaron 13 muestras por duplicado de acuerdo al método de Folin – Ciocalteu (Folin y Ciocalteu, 1927, p. 32) descrito en el Anexo II.

2.1.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Los análisis microbiológicos de la materia prima se realizaron mediante siembra en placas petrifilm de aerobios totales mediante el método AOAC 997.12 (Guía 3M, 2001), coliformes totales con el método AOAC 991.14 (Guía 3M, 1999), y hongos y levaduras mediante el método AOAC 997.02 (Guía 3M, 2004).

2.1.5 ANÁLISIS SENSORIAL

La evaluación del análisis sensorial en col blanca al día 0 (entrada) se realizó mediante una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas con una línea horizontal de 10 cm entre los extremos máximo y mínimo (Moya y Angulo, 2001). En el Anexo III se presenta el formato de la evaluación para el análisis sensorial.

Cada panelista recibió 25 g de col blanca rallada de cada tratamiento en recipientes descartables respectivamente codificados con tres dígitos de forma aleatoria. Los 12 panelistas semi-entrenados calificaron al producto mediante una marca vertical sobre la línea horizontal. Los atributos de calidad evaluados fueron apariencia general, olores extraños, dureza y pardeamiento.

2.1.6 PROCESO DE ELABORACIÓN DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA

Antes de la experimentación, se realizó una selección de las hortalizas, se eliminaron las hojas externas y en mal estado, se lavaron con agua potable y se eliminó el exceso de agua.

Se utilizó 30 kg de materia prima para la experimentación preliminar y 80 kg para la experimentación final. La experimentación se realizó en una cámara de refrigeración a 4 °C, previamente desinfectada con hipoclorito de sodio (200 ppm) y de forma higiénica utilizando cofia, mascarilla, guantes, mandil y botas. El proceso de elaboración de col mínimamente procesada se muestra en la Figura 2.1.

Las coles se cortaron por la mitad y se eliminó el “corazón” con un cuchillo, se introdujo cada mitad en un procesador de alimentos (SKIMSEN, PAIE, Brasil) equipado con un disco deshilachador de 3 mm (corte Julianne). Las coles ralladas se colocaron en mallas de tela para facilitar el manejo en las operaciones posteriores. Para la experimentación preliminar las coles ralladas se sometieron a tratamientos químicos con sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS), por sus siglas en inglés y en la experimentación final se aplicó un tratamiento químico seleccionado de la experimentación preliminar y un tratamiento físico con aplicación de calor.

La relación de volumen de agua y peso de col rallada fue de 3 L/kg. Las bolsas de malla de tela se llenaron con aproximadamente 3 kg de col rallada.

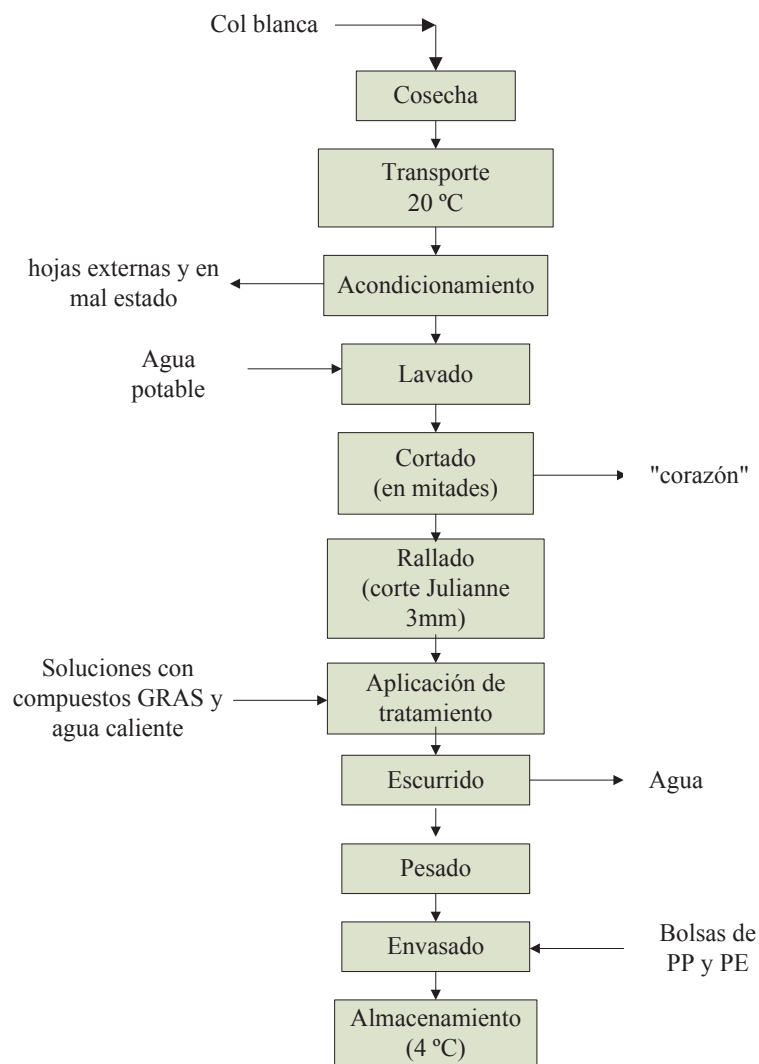


Figura 2.1. Diagrama de bloques del procesamiento mínimo de col blanca

2.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS CON COMPUESTOS GRAS EN LA CALIDAD DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA

Las soluciones químicas con compuestos GRAS utilizadas fueron: ácido acético (AT), ácido cítrico más ácido ascórbico (AA) y sorbato de potasio (SP).

El proceso de elaboración de col mínimamente procesada se describe en el acápite 2.2.5. Se prepararon tres soluciones en las siguientes concentraciones: AT 0,1 %, AA (ácido ascórbico 0,2 % + ácido cítrico 0,5 %) y SP 0,5 %, además se utilizó como control agua destilada (C). Cada solución se preparó en un recipiente diferente. La col rallada se sumergió durante 1 min en cada una de las soluciones químicas descritas, luego se centrifugó durante 2 min a 850 rpm, se empacó en bolsas de polipropileno (PP) de 30 μ m de grosor y finalmente se almacenó en una cámara de refrigeración a 4 °C. El tiempo de almacenamiento fue hasta 12 días y la evaluación de la calidad se realizó a la entrada (día 0), en la salida 1 (día 6) y salida 2 (día 12). El diseño experimental seleccionado fue un diseño completamente al azar (DCA). En la Tabla 2.1., se muestran los códigos correspondientes a cada experimentación:

Tabla 2.1. Códigos

Código	Tratamiento
AT	Ácido acético (0,1 %)
AA	Ácido ascórbico (0,2 %) + ácido cítrico (0,5 %)
SP	Sorbato de potasio (0,5 %)
C	Agua destilada

2.2.1 MÉTODOS FÍSICOS

Las características físicas analizadas en col blanca mínimamente procesada para los tratamientos con sustancias GRAS fueron: índice de pardeamiento y determinación de la concentración de CO₂ en el interior de los empaques de polipropileno.

2.2.1.1 Determinación del índice de pardeamiento (ΔE)

La determinación del índice de pardeamiento se realizó con las medidas de los parámetros L^* , a^* , b^* del producto rallado en cuatro bolsas con col rallada medidos al día 0 como se describe en el acápite 2.2.1.3., y las medidas obtenidas en la salida 1 y 2 respectivamente. La fórmula [2.1] que se muestra a continuación fue empleada para el cálculo del índice de pardeamiento.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad [2.1]$$

2.2.1.2 Concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior del empaque

La concentración de CO_2 se midió en un analizador rápido de gases CO_2/O_2 (Post Harvest Research, modelo CG-1000, USA) provisto de un detector infrarrojo (Salveit y Kader, 1997, p. 32). Las muestras de gas se tomaron de tres bolsas con col rallada en la salida 1 y 2 respectivamente. Para la obtención del CO_2 del interior de los empaques se utilizó jeringas hipodérmicas de 1 mL. Las condiciones de operación se presentan en el Anexo IV. Los empaques fueron adaptados con septum para facilitar la toma de muestras de gas.

2.2.2 MÉTODOS QUÍMICOS

La determinación del pH y SST en cuatro bolsas de col blanca mínimamente procesada tratada con sustancias GRAS mediante los métodos AOAC descritos en los acápites 2.2.2, para la salida 1 y salida 2.

2.2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Los análisis microbiológicos de col mínimamente procesada se realizaron para cada uno de los tratamientos químicos para determinar la cantidad de coliformes

totales, contaje total de aerobios y hongos y levaduras. El procedimiento y los métodos para el análisis microbiológico se muestran en el acápite 2.2.3.

2.2.4 EVALUACIÓN SENSORIAL

El procedimiento y los métodos para el análisis sensorial de col blanca mínimamente procesada se muestran en el acápite 2.2.4. Se realizó el análisis sensorial correspondiente en la salida 1 y 2 respectivamente con 12 panelistas semi-entrenados. Se utilizó una bolsa de 250 g que se repartió entre los panelistas, cada muestra fue de aproximadamente 25 g.

2.3 ESTUDIO DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE UN TRATAMIENTO QUÍMICO (SELECCIONADO EN EL ENSAYO ANTERIOR) Y UN TRATAMIENTO FÍSICO (AGUA CALIENTE), EN LA CALIDAD DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA CON DOS TIPOS DE EMPAQUE.

En el ensayo anterior se seleccionó el mejor tratamiento químico para poder evaluar su efecto en la calidad de col blanca mínimamente procesada. El proceso para la elaboración de las muestras (bolsas de col) se muestra en el acápite 2.1.2.

El diseño experimental utilizado fue un diseño factorial 3 X 2, donde las variables del proceso fueron tratamientos y tipos de empaque como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Códigos de identificación

Código	Tratamiento	Tipo de empaque
AA + PP	Tratamiento Químico	Polipropileno (PP)
AA + PE	Tratamiento Químico	Polietileno de baja densidad (PEBD)
TE +PP	Tratamiento Térmico	Polipropileno (PP)
TE +PE	Tratamiento Térmico	Polietileno de baja densidad (PEBD)
C + PP	Agua destilada (Control)	Polipropileno (PP)
C + PE	Agua destilada (Control)	Polietileno de baja densidad (PEBD)

AA: mejor tratamiento químico seleccionado del ensayo anterior

2.3.1 TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN FÍSICOS Y QUÍMICOS EN COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA

El tratamiento físico mediante aplicación de calor consistió en sumergir la col rallada (acápite 2.2.5.) en un marmita con agua caliente a 60 °C durante 2 min, luego el producto se sumergió en agua hielo hasta alcanzar una temperatura de 4 °C, posteriormente se centrifugo a 850 rpm y se empacó en 250 g de producto en bolsas de polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PEBD).

El tiempo de almacenamiento fue hasta 12 días a 4 °C y 90 % de HR. La evaluación de la calidad se realizó a la entrada (día 0), en la salida 1 (día 6) y salida 2 (día 12).

2.3.2 MÉTODOS FÍSICOS

Las propiedades físicas medidas en la col blanca mínimamente procesada fueron: índice de pardeamiento, dureza, concentración de dióxido de carbono, y pérdida de peso.

2.3.2.1 Determinación del índice de pardeamiento (ΔE)

Mediante los datos de los parámetros L^* , a^* y b^* tomados en la salida 1 y 2 se determinó el índice de pardeamiento (ΔE) en cinco muestras de col blanca mínimamente procesada. El proceso y métodos se detallan en el acápite 2.3.3.1

2.3.2.2 Textura/Dureza

El proceso para determinar la textura se detalla en el acápite 2.2.1.4. Se seleccionó tres bolsas al azar de cada tratamiento y se realizaron dos medidas de cada bolsa.

2.3.2.3 Concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior del empaque

El procedimiento y método empleado para la determinación de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior de los empaques se muestra en el acápite 2.3.3.2. La toma de las muestras se realizó en tres bolsas con col mínimamente procesada.

2.3.2.4 Pérdida de peso (%)

La pérdida de peso (%) se determinó con una balanza electrónica (marca BOECO BBA 5, Alemania, 4000 g, 0,01) en cinco muestras por cada tratamiento, las muestras fueron pesadas al inicio y final de cada periodo de almacenamiento y el porcentaje de pérdida de peso se obtuvo mediante la fórmula [2.2].

$$\text{Porcentaje de pérdida de peso} = (P_o - P_f) * 100/P_o \quad [2.2]$$

2.3.3 MÉTODOS QUÍMICOS

Para la determinación de los métodos químicos referirse a los acápites: 2.2.2.1 de pH, 2.2.2.2, SST y 2.2.2.3., contenido de polifenoles totales. Los análisis se realizaron en cinco bolsas de col rallada.

2.3.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Los análisis microbiológicos de col mínimamente procesada se realizaron para cada uno de los tratamientos químicos para determinar la cantidad de coliformes totales, contaje total de aerobios y hongos y levaduras. El procedimiento y los métodos para el análisis microbiológico se muestran en el acápite 2.2.2.4.

2.3.5 EVALUACIÓN SENSORIAL

El procedimiento para el análisis sensorial de col blanca mínimamente procesada se muestra en el acápite 2.2.2.5. Se utilizó una bolsa de 250 g que se repartió entre los panelistas, cada muestra fue de aproximadamente 25 g.

2.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROCESO DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA PARA DETERMINAR SU FACTIBILIDAD

Para la determinación del análisis económico se realizó una estimación de los costos de implementación para la elaboración de col mínimamente procesada donde se determinó los costos variables (materia prima, insumos, mano de obra) y costos fijos (maquinaria y equipos). Se determinó el costo de producción unitario de cada bolsa con col rallada y el PVP (precio de venta al público) se fijó de acuerdo a productos similares que existen en el mercado. Además se realizó un

balance de masa para determinar el rendimiento del producto y para considerar costos de mano de obra, equipos, insumos y servicios de agua y energía eléctrica

El tiempo de duración del proyecto se consideró de cinco años, se calculó las ventas, costos fijos y costos variables, depreciación de equipos, participación de los trabajadores (15 %) e impuesto a la renta (23 %) cálculos que se emplearon para la elaboración del flujo de caja neto.

Los indicadores financieros Valor actual neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y punto de equilibrio (PE) se calcularon mediante un simulador financiero utilizando el programa Microsoft EXCEL 2010 con datos obtenidos en el estudio.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y SENSORIALES DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización físico-química, microbiológica y sensorial se realizó en 50 coles blancas enteras. Dentro de las características físico-químicas se determinó el peso, diámetros polar y longitudinal, color, pH, SST y contenido total de polifenoles (CTP). Para las pruebas microbiológicas se realizó análisis de aerobios totales, mohos y levaduras y coliformes totales. El análisis sensorial se evaluó mediante una prueba descriptiva con escala no estructurada con la ayuda de 12 panelistas.

3.1.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

En la Tabla 3.1., se presenta un resumen de las características físicas y químicas obtenidas, realizadas en 50 coles blancas. El peso promedio por cabeza de col blanca se clasificó como una col de tamaño mediano (0,7 – 1,4 kg) según el estándar de la USDA (2002) (p. 6). Los diámetros promedios ecuatorial y transversal fueron de 48,42 cm y 45,75 cm, respectivamente, diámetros semejantes que dan la idea de un producto esférico achatado en los extremos. Para la medición de color se utilizó el espacio CIELab. Los valores obtenidos para la col blanca determinan una tonalidad verde-amarillenta típica para este tipo de vegetal. Los parámetros $L^* = 74,86$ que representa la luminosidad de color ($L = 0$ negro y $L = 100$ blanco), las tonalidades entre rojo y verde determinado por $a^* = -9,47$ ($-a^*$ tonos verdes y $+a^*$ tonos rojos), y tonalidades entre amarillo y azul $b = 18,33$ ($-b^*$ tonos azules y $+b^*$ tonos amarillos). Valores semejantes de los parámetros de cromaticidad L^* , a^* y b^* en col blanca rallada se reportan en un estudio realizado por Ibrahim, Osman, Saari y Rahman, (2004) (p. 55). La textura

de la col blanca se representó como dureza expresada en unidades de fuerza (newtons). Para la materia prima se obtuvo un valor de 497,81 N. valores menores fueron reportados por Manolopoulou y Varzakas, (2011), en col rallada (p. 959).

Los PMP de hortalizas son considerados como alimentos de baja acidez con un rango de pH entre 5 – 6,5 (Rico, Martín-Diana, Barat y Barry-Ryan, 2007, p. 375).

La col presentó un pH de 6,54 que corresponde a un alimento de baja acidez, este valor concuerda con los valores reportados por Ghazala, Graham, Graham, Murrell y Nip, (2003) (pH = 6,2) (p. 588). El contenido de sólidos solubles totales SST de la materia prima es de 4 °Brix, valores similares se reportaron por Ghazala et al., (2003) con un contenido de 4,69 °Brix (p. 237).

Tabla 3.1. Características físicas y químicas de la col blanca

	Analito	Promedio
Físico	Peso (g)	1119,58 ± 233,49
	Diámetro ecuatorial (cm)	48,42 ± 4,17
	Diámetro transversal (cm)	45,75 ± 2,75
	Parámetros de color	
	L*	74,86 ± 2,55
	a*	-9,47 ± 1,74
	b*	18,33 ± 2,92
	Dureza (N)	497,81 ± 0,80
Químico	pH	6,54 ± 0,06
	Brix	4 ± 0,00
	¹Polifenoles Totales EAG (g/100g)	362,4 ± 22,05

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 50)

¹ $\bar{X} \pm \sigma$ (n = 1)

El contenido de polifenoles totales en la materia prima fue de 362,42 EAG g/100 g en otros estudios se reportaron cantidades similares de 360 EAG (g/100g) de fenoles totales/g (Ciska, Karamaæ y Kosińska, 2005, p. 368). Sin embargo, en otros estudios la cantidad de polifenoles totales fue menor (120 EAG g/100g)

comportamiento atribuido a diferentes factores como el tipo de cultivar, fertilización, condiciones medio ambientales entre otros (Lola-Luz, Hennequart y Gaffney, 2013, p. 291)

3.1.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

En la Tabla 3.3, se muestran los resultados de los análisis microbiológicos para col blanca (*Brassica oleracea* var. capitata) antes de ser sometida a un procesamiento mínimo. Los análisis microbiológicos se realizaron en placas petrifilm para contaje total de aerobios, mohos y levaduras y coliformes totales.

La col es una hortaliza que durante su cultivo está en contacto directo con el suelo, por tanto en la materia prima se encontró impurezas propias del terreno como tierra, insectos y agentes contaminantes propios de este tipo de cultivo que aumentaron la carga microbiana inicial. De acuerdo con los resultados obtenidos los contajes de aerobios totales, mohos y levaduras y coliformes totales estuvieron dentro de los rangos especificados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Rangos microbiológicos permitidos.

Microorganismos	Mínimo	Máximo	Referencia
Aerobios totales UFC/g	1,00E+05	1,00E+07	Lobo y González, (2007)
Mohos y Levaduras UFC/g	1,00E+03	1,00E+05	Ragaert et al., (2011)
Coliformes totales UFC/g	-	1,00E+06	Aparecida et al., (2011)

3.1.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Los datos obtenidos del análisis sensorial de la materia prima se registran en la Tabla 3.3. La materia prima se encontró en óptimas condiciones para su procesamiento y posterior comercialización. Según las características sensoriales analizadas, presentó una apariencia general de 8,70 que corresponde a un producto fresco. No existió presencia de olores extraños con una calificación de 0,78. La textura correspondiente a un producto vegetal firme y turgente con un

valor de dureza de 8,97, y no existió presencia de pardeamiento enzimático con un valor registrado de 0,43.

Tabla 3.3. Características sensoriales y microbiológicas de la col blanca

	Analito	Valor
² Microbiológico	Aerobios Totales (UFC/g)	8,90E+02
	Mohos y levaduras (UFC/g)	<1,00E+01
	Coliformes Totales (UFC/g)	<1,00E+01
³ Sensorial	Apariencia General	8,70 ± 1,89
	Olores extraños	0,78 ± 0,73
	Dureza	8,97 ± 1,29
	Pardeamiento	0,43 ± 0,42

² $\bar{X} \pm \sigma$ (n = 1)

³ $\bar{X} \pm \sigma$ (n = 12)

El conjunto de estos atributos y sus valores obtenidos define a la col blanca como producto aceptable para los consumidores desde el punto de vista físico-químico sensorial y microbiológico típicos para este tipo de vegetales del género *Brassica*.

3.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS CON COMPUESTOS GRAS (GENERALLY RECOGNIZED AS SAFE) EN LA CALIDAD DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA Y SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO QUE PRESENTE LAS MEJORES CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD

Se realizó este ensayo preliminar para evaluar el efecto de la aplicación de sustancias GRAS de ácido acético 0,1 % (AT), la combinación de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 % y sorbato de potasio 0,5 % (SP), en la calidad de col blanca mínimamente procesada, almacenada en bolsas de PP hasta 12 días a 4 °C y 90 % de HR. Los análisis físicos, químicos, microbiológicos y sensoriales se realizaron a la entrada (día 0), salida 1 (día 6) y salida 2 (día 12).

3.2.1 ANÁLISIS FÍSICOS

Los análisis físicos realizados a la col blanca rallada en el ensayo preliminar fueron: índice de pardeamiento (ΔE) y concentración de CO_2 en el interior de empaques.

3.2.1.1 Evaluación del índice de pardeamiento (ΔE) por medio de los parámetros L^* , a^* y b^*

En la Tabla 3.4, se muestran los resultados para los parámetros L^* , a^* , b^* y el índice de pardeamiento (ΔE) calculado mediante la fórmula [2.1] obtenidos en la salida 1 y salida 2.

En la primera salida, para el parámetro L^* existió diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos. En los tratamientos C y SP se observó un aumento de luminosidad con respecto al día cero de 3,21 % y 1,53 %, respectivamente. Para los tratamientos AT y AA se observó una disminución de 3,68 % y 1,55 %, respectivamente, lo que indica pérdida de luminosidad. Para el parámetro a^* no existió diferencia estadística significativa ($P > 0,05$) entre tratamientos, lo que sugiere que para la salida 1 los tratamientos mantienen la tonalidad verde característica de la col rallada. El parámetro b^* presentó diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos, el incremento del valor del parámetro b^* representa aumento de coloraciones amarillentas por efecto del etileno que interviene en el amarillamiento de vegetales de color verde (Artes et al., 2007, p. 180; Adams y Brown, 2007, p. 328).

En la variación de color (ΔE) no existió diferencia estadística significativa ($P > 0,05$). Esto indica variaciones similares entre los diferentes tratamientos con sustancias GRAS. Se observaron valores de desviación estándar altos debido a que las mediciones realizadas en las muestras de col rallada no fueron uniformes. Esto se explica a que las hojas de col de las diferentes capas presentaron diferentes tonalidades de color.

Tabla 3.4. Valores de los parámetros L*, a*, b* e índice de pardeamiento (ΔE) para col blanca rallada tratada con sustancias GRAS, almacenada hasta 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.

TRATAMIENTOS	AT	AA	SP	C
	SALIDA 1			
L*	71,66 ± 3,04a	73,24 ± 0,87ab	75,02 ± 0,96b	75,52 ± 1,54b
a*	-9,48 ± 1,45a	-8,05 ± 0,64a	-7,99 ± 0,77a	-8,20 ± 0,87a
b*	16,21 ± 1,14b	14,67 ± 1,00ab	14,61 ± 0,92a	15,44 ± 0,99ab
ΔE	3,63 ± 1,83a	3,07 ± 1,64a	3,35 ± 0,77a	2,89 ± 1,25a
SALIDA 2				
L*	74,77 ± 0,84a	75,17 ± 2,06a	75,52 ± 3,91a	76,77 ± 0,92a
a*	-6,74 ± 1,39a	-6,60 ± 0,96a	-5,54 ± 0,67a	-6,51 ± 0,72a
b*	13,47 ± 0,94a	13,82 ± 0,75a	13,52 ± 0,55a	14,02 ± 1,48a
ΔE	4,46 ± 0,58a	4,16 ± 1,24a	5,02 ± 0,55a	4,94 ± 1,09a

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 4)

AT: Tratamiento con ácido acético (0,1%)

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico (0,2 %) y cítrico (0,5 %)

SP: Tratamiento con sorbato de potasio (0,5 %)

C: Tratamiento control con agua destilada

En la salida 2 no existió diferencia estadística significativa ($P > 0,05$) entre los tratamientos en ninguno de los parámetros de cromaticidad L*, a*, b* y ΔE .

En los resultados obtenidos para el parámetro L* se observó un aumento constante conforme avanzó el tiempo de almacenamiento en relación al valor inicial (74,86). El parámetro a* aumentó en el tiempo hasta 36,20 % en el tratamiento SP que indicó una disminución del color verde por pérdida de la concentración de pigmentos como la clorofila (Adams y Brown, 2007, p. 328). Los tratamientos AT y AA presentaron valores de a* igual a -6,74 y -6,60 respectivamente, según Orjuela-Caicedo y Galvis-Vanegas, (2012) afirman que un tratamiento con ácido cítrico mantiene las concentraciones de compuestos bioactivos (p. 12). El valor del parámetro b* disminuyó en todos los tratamientos con respecto a la salida 1 y al día cero. Un comportamiento similar en los valores del parámetro b* se observó en col rallada tratada con soluciones de ácido

ascórbico al 1 % y ácido acético al 0,1 % almacenadas durante dos semanas (Rosidah, et al., 2010, p. 56).

3.2.1.2 Concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el interior del empaque

En la Figura 3.1, se presenta el porcentaje de concentración de CO₂ en col blanca rallada al interior de los empaques después de realizar la aplicación de tratamientos con soluciones de compuestos GRAS para el tiempo de almacenamiento de 6 y 12 días a 4 °C.

La concentración de CO₂ en el interior del empaque depende de factores como la respiración, transpiración, madurez fisiológica e interacción entre el empaque y el medio externo (Valero y Serrano, 2010, p. 175). En el caso de col rallada la concentración de CO₂ ideal está en un rango de 3 y 6 %. Concentraciones elevadas de CO₂ podrían provocar presencia de sabores, olores extraños y pérdida de coloración (Gang, Luo y Gross, 2004, p. 105).

Para la salida 1 no existió diferencia estadísticamente significativa ($P > 0,05$). Sin embargo, en todos los tratamientos se obtuvieron concentraciones elevadas de CO₂ superiores a 9 %. Como era de esperar el tratamiento control (C) presentó la mayor concentración de CO₂ 9,76 %.

En la salida 2, existió diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos. La mayor concentración de CO₂ se observó en el tratamiento SP con 9,59 % y la menor concentración de CO₂ en el tratamiento AA con 8,14 %. La concentración de CO₂ en el interior de los empaques se mantuvo después de los 6 días hasta el final del almacenamiento. Este comportamiento podría ser, debido a que el producto empezó a adaptarse después del estrés provocado por los cortes y por el agotamiento de las reservas utilizadas (Toivonen y DeEll, 2002, p. 101). Otra causa fue la permeabilidad del empaque que impidió alcanzar mayor concentración de CO₂. Un estudio realizado en col mínimamente procesada empleando atmósferas modificadas con una concentración inicial del 10 % de

CO₂ mostró que después de tres días de almacenamiento la concentración disminuyó a 5 % de CO₂ a causa de la permeabilidad del empaque (Gómez-López et al., 2007, p. 95).

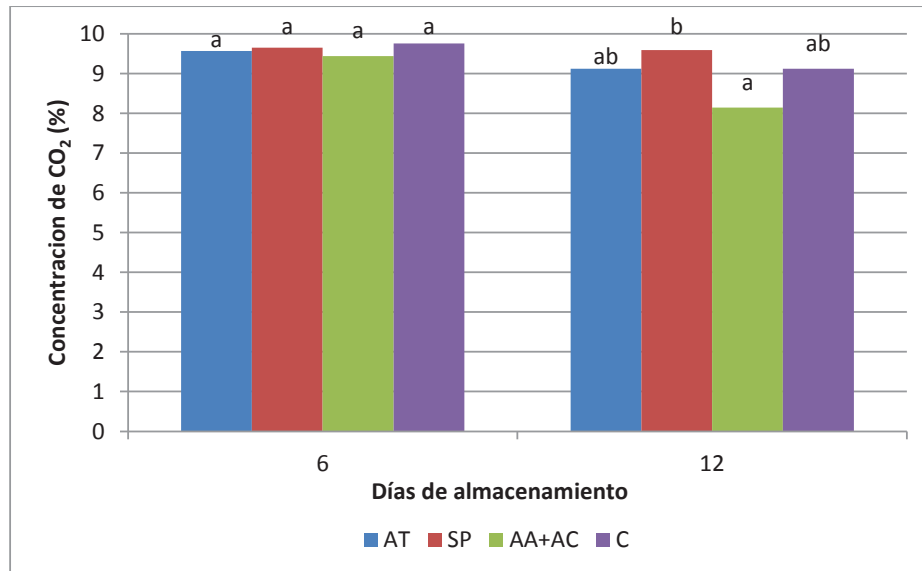


Figura 3.1. Concentración de CO₂ (%) en el interior de los empaques de col rallada tratada con compuestos GRAS (AT: ácido acético; AA: mezcla de ácido cítrico + ácido ascórbico; SP: sorbato de potasio y C: control en agua destilada) almacenado hasta 12 días a 4°C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiples LSD

Los niveles de concentración de CO₂ producidos en el interior de los empaques posiblemente ayudaron a controlar cambios fisiológicos indeseables como la producción de etileno. En un estudio realizado en col rallada por Manolopoulou y Varzakas, (2013), se observó que la concentración de CO₂ se estabilizó en un valor de 4 % a partir del día 6 de almacenamiento a 0 °C. En el mismo estudio se determinó que altas concentraciones de CO₂ (17 %) y bajas concentraciones de O₂ (1,5 %) disminuyen la síntesis de etileno en col mínimamente procesada (p. 33). Por otra parte, las elevadas concentraciones de CO₂ y las bajas concentraciones de O₂ posiblemente influyeron en el crecimiento microbiológico. Para el caso de *Pseudomonas ssp.*, diferencias significativas en la velocidad de crecimiento fueron observadas con 5 % de CO₂ y 1,5 % de O₂ (Ragaert et al., 2007, p. 96).

3.2.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

En la Tabla 3.5. se presentan los valores de pH y contenido de SST para col blanca rallada sometida a los tratamientos con sustancias GRAS y almacenadas durante 6 y 12 días a una temperatura de 4 °C y HR de 95 %.

El pH en las salidas 1 y 2 presentó diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos. Con respecto a los valores obtenidos de la materia prima para las salidas 1 y 2 el producto fue más alcalino. El pH de la col mínimamente procesada aumentó a valores ligeramente mayores a 7 como se presenta en la Tabla 3.5. Las variaciones de los resultados de pH obtenidos podrían explicarse debido al aumento de microorganismos. Escobar et al., (2014) reportaron un incremento del pH de 5,8 a 6,7 para mezclas de vegetales mínimamente procesados a los 6 días de almacenamiento (p. 7241).

Tabla 3.5. pH y contenido de SST en col blanca rallada tratada con sustancias GRAS. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiples LSD

Días de almacenamiento	Tratamientos			
	AT	AA	SP	C
pH				
Salida 1	7,21 ± 0,02b	7,10 ± 0,01a	7,26 ± 0,04bc	7,30 ± 0,02c
Salida 2	7,31 ± 0,02c	7,09 ± 0,01ab	7,05 ± 0,03a	7,20 ± 0,02b
Contenido de sólidos solubles				
Salida 1	4,13 ± 0,04a	4,11 ± 0,02a	4,16 ± 0,02a	4,16 ± 0,05 ^a
Salida 2	4,00 ± 0,00a	4,10 ± 0,00b	4,19 ± 0,02c	4,18 ± 0,00c

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 4)

Para el contenido de SST el valor obtenido permaneció constante alrededor de 4 °Brix hasta el día 6 que no se observó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos. Para el día 12 se observó diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos. El tratamiento AA conservó la cantidad de SST, para los tratamientos SP y C se observó un ligero aumento posiblemente

debido a los procesos biológicos de la hortaliza que permiten la síntesis de más azúcares (Dixon, 2007, p. 271).

3.2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En la Tabla 3.6, se observan los resultados del análisis microbiológico para col blanca rallada sometida a tratamientos con sustancias GRAS y almacenada durante 6 y 12 días a 4 °C.

Según, Ragaert et al. (2007), afirma que los defectos visuales en la calidad sensorial de PMP se producen cuando el contejo de aerobios mesófilos está entre el rango $1,00E+07$ - $1,00E+08$ UFC/g y similares daños en la calidad sensorial se producen con contajes de $1,00E+05$ UFC/g para mohos y levaduras (p. 188). Sin embargo, Seo et al. (2010) afirma que no existen defectos sobre la calidad sensorial aunque el contejo microbiológico esté entre $1,00E+07$ - $1,00E+08$ UFC/g (p. 1285).

Tabla 3.6. Resultados del análisis microbiológico para col blanca rallada sometida a tratamientos con sustancias GRAS (AT: ácido acético; AA: mezcla de ácidos ascórbico y cítrico; SP: Sorbato de potasio y C: control con agua destilada) hasta 12 días a 4 °C.

Días de almacenamiento	Tratamientos			
	AT	AA	SP	C
Salida 1				
Aerobios Totales (UFC/g)	1,20E+04	8,50E+03	1,05E+06	1,80E+04
Mohos y levaduras (UFC/g)	1,90E+03	5,10E+02	2,90E+02	2,00E+02
E. coli/Coliformes (UFC/g)	6,10E+04	3,00E+03	3,90E+03	5,30E+03
Salida 2				
Aerobios Totales (UFC/g)	6,50E+04	8,30E+04	1,39E+06	7,20E+05
Mohos y levaduras (UFC/g)	4,80E+03	4,20E+02	2,00E+03	4,70E+05
E. coli/Coliformes (UFC/g)	5,50E+04	3,30E+04	2,48E+05	1,80E+05

AT: Tratamiento con ácido acético 0,1 %

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

SP: Tratamiento con sorbato de potasio 0,5 %

C: Tratamiento control con agua destilada

Durante el tiempo de almacenamiento el conteo de aerobios totales para todos los tratamientos estuvo dentro del rango establecido para el conteo total de aerobios mesófilos (Lobo y González, 2007, p. 6). El tratamiento SP presentó mayor conteo de aerobios mesófilos ($1,39E+06$ UFC/g). En un estudio realizado por Rosidah et al., (2010), obtuvo resultados similares para conteo aerobios totales ($1,00E+06$ UFC/g) empleando soluciones con concentraciones de 0,5 % de sorbato de potasio para un periodo de 6 días de almacenamiento (p. 370).

Con respecto al desarrollo de mohos y levaduras el valor se incrementó de $1,00E+01$ UFC/g a $4,80E+03$ UFC/g para el tratamiento AT; $4,20E+02$ UFC/g, para el tratamiento AA; $2,00E+03$ UFC/g para el tratamiento SP y $4,70E+05$ UFC/g para el tratamiento C. El tratamiento AA presentó el menor conteo de hongos y levaduras. Mientras que, el tratamiento control al final del almacenamiento no es aceptable microbiológicamente a causa del conteo de hongos y levaduras, superior al establecido por Ragaert et al., (2011), (p. 60).

Los conteos de coliformes totales estuvieron dentro de los rangos establecidos sin embargo se observó incremento de $< 1,00E+01$ UFC/g a $5,50E+04$ UFC/g para el tratamiento AT; $3,30E+04$ UFC/g para el tratamiento AA; $2,48E+05$ UFC/g para el tratamiento SP y $1,80E+05$ UFC/g para el tratamiento C. En una investigación realizada por Seo et al. (2010), para evaluar la carga microbiológica de PMP, se encontró que de 129 muestras de mezclas de ensaladas el 34,9 % de las muestras presentaron conteos de coliformes totales entre $1,00E+04$ y $1,00E+5,9$ UFC/g (p. 1286).

El incremento de la cantidad de microorganismos durante el periodo de almacenamiento podría ser una consecuencia de no realizar un tratamiento previo de sanitización del lugar de trabajo. Además, los cambios de temperatura al interior de la cámara de refrigeración pudieron haber contribuido en el incremento de la carga microbiana en la salida 1 y salida 2 (Hu, Jiang, Qi, Pang y Fan, 2007, p. 2024). Al final del almacenamiento todos los tratamientos están dentro del rango de aceptación microbiológica excepto el tratamiento control. El tratamiento AA presentó menor conteo de mohos y levaduras y coliformes totales al final del

almacenamiento $4,20E+02$ UFC/g y $3,30E+04$ UFC/g, respectivamente (Rahman, Jin y Oh, 2010, p. 113).

3.2.4 EVALUACIÓN SENSORIAL

En la Tabla 3.7, se presentan los resultados de la evaluación sensorial para col blanca mínimamente procesada sometida a tratamientos químicos con compuestos GRAS, ácido acético (AT); mezcla de ácidos ascórbico y cítrico (AA); sorbato de potasio (SP) y agua destilada (C), empacada en bolsas de polipropileno (PP) y almacenada hasta 12 días a 4 °C.

En la salida 1 existió diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos para los atributos de apariencia general, dureza y pardeamiento. Para el atributo de apariencia general la evaluación sensorial del alimento presentó una apariencia aceptable con calificaciones superiores a 5 en todos los tratamientos.

Con respecto a este atributo el tratamiento SP (solución de sorbato de potasio) presentó la mayor calificación 7,54. Para el atributo de olores extraños no existió diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos.

Sin embargo los panelistas reportaron presencia de olores extraños que concuerda con la calificación de 5,68 en el tratamiento SP. Para el atributo de dureza el tratamiento control presentó el valor más elevado (7,16). El atributo de pardeamiento enzimático aumentó en un rango de 77 a 90 % con relación a las calificaciones obtenidas para materia prima al día cero. El tratamiento AT presentó la mayor calificación (4,31).

Tabla 3.7. Resultados de la evaluación sensorial para col blanca mínimamente procesada y almacenada a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento utilizando la prueba de rangos múltiple LSD

Características sensoriales	Tratamientos			
	AT	AA	SP	C
Salida 1				
Apariencia General	5,75 ± 2,52ab	6,70 ± 0,52a	7,54 ± 1,03b	6,24 ± 2,31 ab
Olores extraños	3,97 ± 2,34a	4,00 ± 2,81a	5,68 ± 2,32a	3,90 ± 2,26a
Dureza	6,39 ± 2,20ab	4,86 ± 2,48a	6,45 ± 2,93ab	7,16 ± 2,29b
Pardeamiento	4,31 ± 2,94b	3,68 ± 2,41ab	2,10 ± 2,10a	1,90 ± 1,88a
Salida 2				
Apariencia General	3,30 ± 1,89a	5,73 ± 1,02b	7,18 ± 0,78c	2,98 ± 1,16a
Olores extraños	5,85 ± 2,86a	4,07 ± 2,77a	6,21 ± 2,05a	5,15 ± 2,51a
Dureza	5,37 ± 2,04a	4,88 ± 2,19a	5,53 ± 3,45a	5,91 ± 2,37 ^a
Pardeamiento	7,06 ± 1,58b	2,67 ± 1,73a	1,51 ± 1,38a	7,30 ± 1,91b

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 12)

AT: Tratamiento con ácido acético (0,1 %)

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico (0,2 %) y cítrico (0,5 %)

SP: Tratamiento con sorbato de potasio (0,5 %)

C: Tratamiento control con agua destilada

Para la salida 2 existió diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos para los atributos de apariencia general y pardeamiento. En los atributos de olores extraños y dureza no se observó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos ($P > 0,05$). Los tratamientos AT y C para el atributo de apariencia general presentaron valores de 3,30 y 2,98, respectivamente, lo que haría al producto inaceptable para el consumo.

Además, el aumento del pardeamiento fue mayor para los tratamientos AT y C con calificaciones de 7,06 y 7,30 respectivamente, y con concurda con la disminución de la apariencia general. Las calificaciones para el tratamiento SP fueron las mayores, sin embargo existió mayor presencia de olores extraños.

Las elevados valores de desviación estándar reportados se debió a que el producto no fue homogéneo entre las diferentes capas de las hojas de col blanca que influyó en el producto final. Además, otro factor que pudo haber influido es la percepción de los panelistas frente a las características sensoriales del producto.

De acuerdo con los resultados obtenidos se sugiere la aplicación del tratamiento AA que presentó menor contaje de hongos y levaduras y coliformes totales. Cabe mencionar que el tratamiento SP a pesar de presentar mayores valores para los atributos de apariencia general y pardeamiento enzimático, produjo malos olores y presentó mayor carga de microorganismos como se muestra en la Tabla 3.6.

3.3 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN TRATAMIENTO QUÍMICO (SELECCIONADO EN EL ENSAYO ANTERIOR) Y UN TRATAMIENTO FÍSICO (AGUA CALIENTE), EN LA CALIDAD DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA CON DOS TIPOS DE EMPAQUE

El tratamiento sugerido del ensayo anterior fue AA. De acuerdo a los resultados presentó menor contaje de hongos y levaduras y coliformes totales. Además conservó las características organolépticas especialmente el atributo de olores extraños. El diseño experimental empleado fue A X B.

Los factores fueron: tratamientos, con tres niveles: solución de ácidos ascórbico (0,2 %) y cítrico (0,5 %) (AA), tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C y posteriormente inmersión en agua a 0 °C (TE) y el tratamiento control con agua destilada (C). El segundo factor fue el tipo de empaque con dos niveles: polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PEBD). La col mínimamente procesada fue almacenada hasta 12 días a 4 °C.

3.3.1 ANÁLISIS FÍSICOS

Los análisis físicos realizados en la experimentación fueron: pérdida de peso, índice de pardeamiento, concentración de dióxido de carbono en el interior de los empaques y dureza de la col blanca mínimamente procesada.

3.3.1.1 Pérdida de peso (%)

Los valores de pérdida de peso para col mínimamente procesada se muestran en la Tabla 3.8. El análisis estadístico mostró un efecto significativo ($P < 0,05$) entre el factor tratamientos en la salida 1 y 2. Para el factor tipo de empaque no existió diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las salidas. La pérdida de peso en los seis tratamientos aumentó hasta el final del tiempo de almacenamiento (Figura 3.2). El porcentaje de pérdida de peso en ninguno de los tratamientos fue mayor al 1,2 % hasta el día 12. El valor máximo registrado fue de 1,096 % para el tratamiento en agua destilada y empaque de polipropileno (C + PP).

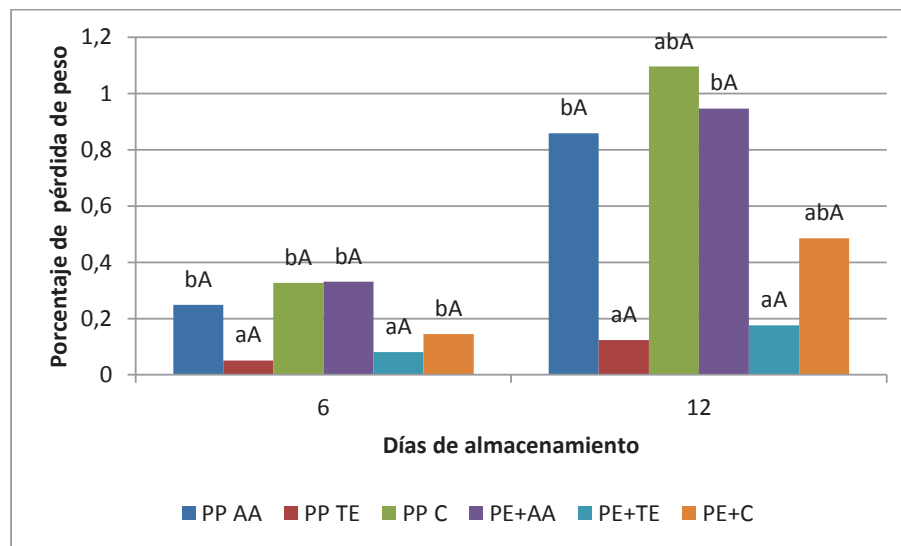


Figura 3.2. Porcentaje de pérdida de peso en col blanca rallada sometida a tratamientos físicos con aplicación de calor y químicos con sustancias GRAS, empacada en polipropileno y en polietileno de baja densidad almacenada durante 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.

En la salida 1 existió diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre el tratamiento TE y los tratamientos AA y C como se observa en la Tabla 3.8. El porcentaje de pérdida de peso en los tratamientos térmicos fue menor en ambos empaques. Los valores registrados fueron de 0,051 % en empaque de PP y 0,081 % en empaque de PEBD. Según Vaclavik y Christian, (2002) el tratamiento

térmico permite que los poros de los tejidos vegetales dañados se cierren impidiendo la eliminación de agua y sustancias hidrosolubles contenidas en el interior de las células (p. 46).

En la salida 2 el tratamiento con menor pérdida de peso fue TE + PP con un valor de 0,123 % y el tratamiento con mayor pérdida de peso fue C + PP con un valor de 1,096 %. En un estudio realizado por Manolopoulou y Varzakas, (2013), en col rallada y empacada en atmósferas modificadas almacenadas por 21 días a 0 °C mostraron pérdidas de peso de 0,5 %. Porcentajes de menor pérdida de peso fueron registrados en brócoli mínimamente procesado aplicando tratamientos calóricos a 50 °C durante 1,5 min y almacenado durante 18 días. La pérdida de peso en las muestras de brócoli fue de 3,22 % mientras que el tratamiento control fue de 5,22 % (Ansorena et al., 2011, p. 56).

Tabla 3.8. Porcentaje de pérdida de peso en col mínimamente procesada almacenada en dos tipos de empaque polipropileno (PP) y polietileno (PE) durante 12 días a 4°C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.

TRATAMIENTOS		Salida 1	Salida 2
PP	TE	0,051 ± 0,03aA	0,123 ± 0,02aA
	AA	0,249 ± 0,12bA	0,859 ± 0,08Ba
	C	0,327bA ± 0,27bA	1,096 ± 1,00abA
PE	TE	0,081 ± 0,07aA	0,176 ± 0,03aA
	AA	0,331 ± 0,19bA	0,947 ± 0,15bA
	C	0,145 ± 0,02bA	0,485 ± 0,24abA

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

Los tratamientos térmicos ayudan a controlar los cambios fisiológicos en PMP como disminución del pardeamiento enzimático, tasa de respiración y producción de etileno (Toivonen y DeEll, 2002, p. 116). Además, inhiben la actividad de enzimas relacionadas con el aumento de la respiración (Javdani, Ghasemnezhad, y Zare, 2013, p. 191).

Los PMP son altamente susceptibles a la pérdida de peso debido a la exposición de los tejidos internos a condiciones atmosféricas. La transpiración se considera la principal causa de pérdidas en la calidad de vegetales de hoja. Los efectos que causa son marchitez y pérdida de firmeza. El porcentaje máximo permitido de pérdida de peso en col es de 7 % (Manolopoulou y Varzakas, 2013, p. 35).

3.3.1.2 Evaluación del índice de pardeamiento

La evaluación del índice de pardeamiento (ΔE) se realizó mediante los parámetros de color L^* , a^* , y b^* medidos con un colorímetro triestímulo en las salidas 1 y 2, respectivamente.

En la salida 1 los valores del parámetro L^* presentaron diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos y tipo de empaque (Tabla 3.9). El tratamiento TE se diferenció de los tratamientos AA y C debido a la disminución de la luminosidad (L^*) en ambos empaques. Los tratamientos con solución de ácidos presentaron los mayores valores para el parámetro L^* . El tratamiento con mayor valor de L^* fue AA + PE con un valor de 76,25 donde se observó un leve aumento de la luminosidad con relación al día cero (74,86). En diferentes vegetales tratados con ácido ascórbico se observó un comportamiento similar en el aumento del parámetro L^* , debido al efecto del ácido como inhibidor de PFO (Thuwapanichayanan, Phowong, Jaisut y Štencl, 2014, p. 1132).

Con respecto a los tratamientos TE + PP y TE + PE los valores del parámetro b^* fueron mayores 17,49 y 17,18, respectivamente. Sin embargo, estos tratamientos presentaron menor variación con respecto al valor medido en el día cero (18,33). Posiblemente la disminución de los valores de los parámetros L^* y b^* durante el tiempo de almacenamiento fue debido a que el agua caliente destruyó los pigmentos provocando oscurecimiento del producto (Thuwapanichayanan et al., 2014, p. 1131).

Para el parámetro de cromaticidad a^* los tratamientos TE + PE y TE + PP presentaron valores similares de -9,99 y -9,45, respectivamente, lo que indicó la retención del color verde como un efecto deseable para mantener la apariencia de vegetales de hoja hasta los 6 días de almacenamiento. Los tratamientos térmicos se han empleado en diversos productos como mangos (Djioua, Charles, Murillo, Filgueiras y Sallanon, 2010, p. 854), melones (Silveira, Aguayo, Escalona y Artés, 2011, p. 575), pimientos (Sgroppo y Pereyra, 2009, p. 49), brócoli (Ansorena, Marcovich y Roura, 2011, p. 62), lechuga (Roura, Pereyra y del Valle, 2008, p. 923), productos en los cuales se han obtenido buenos resultados con respecto a la retención de los parámetros de color.

Tabla 3.9. Determinación de color en col blanca rallada mediante los valores de los parámetros L^* , a^* , b^* e índice de pardeamiento (ΔE) durante 12 días de almacenamiento a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD

TRATAMIENTOS		PP		PE	
		Salida 1	Salida 2	Salida 1	Salida 2
TE	L^*	70,97 ± 0,87aA	71,11 ± 1,25aA	70,86 ± 1,61aB	72,30 ± 0,75aA
	a^*	-09,45 ± 1,18aA	-07,67 ± 1,39aA	-09,99 ± 0,33aA	-07,90 ± 1,24aA
	b^*	17,49 ± 1,58bA	16,15 ± 1,96abA	17,18 ± 0,83bA	16,14 ± 1,86abA
	ΔE	06,68 ± 0,60bB	07,17 ± 1,76bA	06,42 ± 0,19bA	06,79 ± 0,54bA
AA	L^*	73,17 ± 2,41bA	74,69 ± 2,10bA	76,25 ± 0,67bB	75,23 ± 0,84bA
	a^*	-08,93 ± 1,48bA	-07,65 ± 0,69aA	-08,37 ± 0,79bA	-07,34 ± 0,73aA
	b^*	16,40 ± 1,63abA	15,93 ± 1,23bA	16,97 ± 1,62abA	16,48 ± 0,87bA
	ΔE	05,96 ± 1,09aB	05,86 ± 0,93aA	04,83 ± 0,95aA	05,33 ± 0,94aA
C	L^*	73,47 ± 0,78bA	75,46 ± 0,55bA	74,7 ± 1,82bB	74,61 ± 0,88bA
	a^*	-8,29 ± 0,76cA	-6,90 ± 1,24bA	-8,06 ± 0,44cA	-6,41 ± 0,46bA
	b^*	15,55 ± 0,65aA	14,34 ± 1,74aA	16,18 ± 1,09aA	15,16 ± 0,92aA
	ΔE	5,87 ± 1,08aB	5,50 ± 1,85abA	4,76 ± 0,67aA	6,21 ± 1,23abA

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 5)

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

En la salida 2 existió diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos y no entre el tipo de empaque ($P > 0,05$). En todos los tratamientos se observó un ligero aumento en el valor del parámetro L^* , con respecto a los valores de la salida 1. El parámetro a^* relacionado con tonalidades verdes aumentó en todos los tratamientos, comportamiento observado en ambos empaques luego del periodo de almacenamiento. El tratamiento control con un valor del parámetro a^* de -6,41 presentó un mayor aumento con respecto al día cero (-9,47), lo que indica la aparición de coloraciones rojizas. Por otro lado, los tratamientos con mezcla de ácidos y térmicos presentaron valores similares al final del almacenamiento.

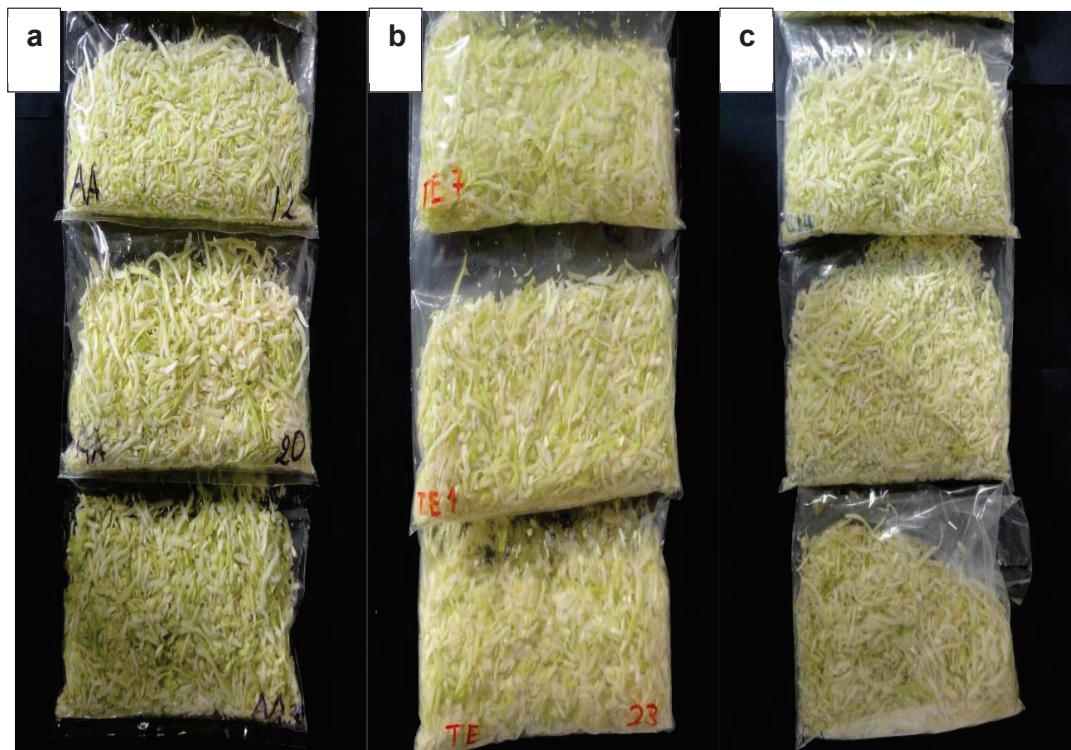


Figura 3.3. Col rallada sometida a tratamientos químicos (a), térmicos (b) y control (c), almacenada hasta 12 días a 4 C y empacada en bolsas de PEBD

Para el parámetro b^* los valores disminuyeron levemente en todos los tratamientos con respecto a los valores de la salida 1. El tratamiento C + PP mostró un valor menor de b^* igual a 14,34 en comparación al día cero 18,33 lo que indica disminución en la tonalidad amarilla. Un comportamiento similar de los

parámetros L^* , a^* y b^* se presentó en un estudio por Ibrahim et al., (2004) en col blanca rallada, sometida a tratamientos antipardeantes (p. 56).

Al final del almacenamiento el índice de pardeamiento (ΔE) en los tratamientos térmicos TE + PP y TE + PE fue mayor e igual a 7,17 y 6,79, respectivamente. Este comportamiento se debe a que la luminosidad de la col blanca se perdió al momento de poner en contacto con el agua caliente (Abreu, Beirão-da-Costa, Gonçalves, Beirão-da-Costa y Moldão-Martins, 2003, p. 220). El tratamiento AA + PE presentó valores menores de ΔE igual a 5,33. Posiblemente por el efecto antipardeante de los ácidos utilizados en col rallada (Manolopoulou y Varzakas, 2011, p. 958), lo que indica una menor presencia de pardeamiento durante 12 días de almacenamiento. A pesar de la existencia de diferencia estadística significativa entre tratamientos en el ΔE , hasta el día 12 no observó diferencia visual, como se muestra en la figura 3.3.

3.3.1.3 Concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el interior de los empaques

En la Tabla 3.10, se muestran las concentraciones de CO_2 , acumulado en el interior de los empaques de col blanca rallada durante 12 días de almacenamiento a 4 °C. La modificación de la atmósfera en el interior de los empaques de PMP debido a la producción de CO_2 y la disminución de O_2 es inevitable debido a que los vegetales después de ser cortados siguen con sus funciones fisiológicas (Plestenjak, Hribar, Unuk y Vidrih, 2008, p. 428). De acuerdo con diversos autores la concentración ideal de O_2 y CO_2 dentro de los empaques es específica para cada tipo vegetal. Para col mínimamente procesada se sugiere una concentración de O_2 entre 5 y 10 % y 15 % de CO_2 (Manolopoulou y Varzakas, 2013, p. 31). Mientras que Hu et al. (2007) sugiere una concentración de O_2 del 2 % y 13 % de CO_2 (p. 2021). La concentración de CO_2 en el interior de los empaques está relacionada con la tasa de respiración del PMP, la permeabilidad del empaque, el tipo de corte realizado, los tratamientos de conservación entre otros (Martínez et al., 2005, p. 355). Los coeficientes de

permeabilidad a 25 °C y 25 μm para PEBD y PP son 0,414 y 0,079 $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{Pa})$, respectivamente (Plestenjak et al., 2008, p. 428).

Para la salida 1, se encontró diferencia estadísticamente significativa ($P < 0,05$) para el factor de tratamientos y tipo de empaque. En todos los tratamientos existió aumento de CO_2 con respecto al día cero. Los valores de concentración de CO_2 menores se reportaron en los tratamientos TE + PP y TE + PE, 10,81 y 6,30 %, respectivamente. Este comportamiento podría explicarse por el efecto del tratamiento térmico sobre las estructuras y enzimas relacionadas con la respiración que provocaron disminución de la producción de CO_2 (Escobar et al., 2014, p. 7241). En un estudio realizado en zanahoria rallada por Alegria et al. (2012), reportaron un aumento en la concentración de CO_2 en el interior de los empaques.

Los resultados mostraron que la concentración de CO_2 en muestras de zanahoria rallada sometida a tratamientos térmicos al final del almacenamiento fue 28 % menor con respecto al tratamiento control. Para el tratamiento con la mezcla de ácidos. Para el caso del tratamiento con mezcla de ácidos orgánicos las concentraciones de CO_2 fue mayor en comparación con los tratamientos térmicos y no se observó diferencia significativa con los tratamientos control.

Los tratamientos con ácidos no tuvieron efecto en la disminución de la respiración debido a las bajas concentraciones empleadas. Como sugiere Baldwin y Bai, (2011), (p. 116) con respecto al uso de altas concentraciones de ácido cítrico para disminuir la tasa de respiración relacionado con la producción de CO_2 .

Con respecto a la permeabilidad la concentración de CO_2 fue menor en los empaques de PEBD debido a que existió mayor permeabilidad y permitió el intercambio gaseoso. En un estudio realizado por Plestenjak et al., (2008), en col mínimamente procesada y almacenada a 0 °C mostró que en empaques de PP (15 %) las concentraciones de CO_2 fueron mayores que en empaques de PEBD (9 %) (p. 429).

Tabla 3.10. Concentración de CO₂ (%) en el interior de los empaques (PP y PEBD) en col rallada sometida a un tratamientos de conservación (AA: mezcla de ácidos cítrico y ascórbico; TE: aplicación de calor con agua caliente y C: agua destilada) almacenada hasta 12 días. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD

TRATAMIENTOS		Salida 1	Salida 2
PP	TE	10,81 ± 2,60aA	13,63 ± 5,04aA
	AA	15,25 ± 3,56bA	14,08 ± 0,97aA
	C	16,83 ± 0,36bA	15,59 ± 1,46aA
PE	TE	6,30 ± 0,55aB	8,18 ± 0,31aB
	AA	12,19 ± 0,54bB	10,63 ± 0,81aB
	C	9,82 ± 0,79bB	9,13 ± 1,70aB

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 3)

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

En la salida 2, los tratamientos térmicos presentaron similares resultados que en la salida 1. Los valores al final del almacenamiento para los tratamientos TE + PP y TE + PE fueron 13,63 y 8,18 %, respectivamente. En los tratamientos con ácidos y control los valores de concentración de CO₂ fueron semejantes en ambos empaques. La mayor concentración de CO₂ fue de 15,59 % en el tratamiento C + PP.

En la Figura 3.4, se muestra la interacción existente entre los factores tratamientos y tipo de empaque para col blanca mínimamente procesada. En la figura se puede observar una interacción entre los tratamientos con solución de ácidos (AA) y agua destilada (C), donde se aprecia que los tratamientos son estadísticamente equivalentes. Para el tratamiento con aplicación de calor no existió interacción entre los factores.

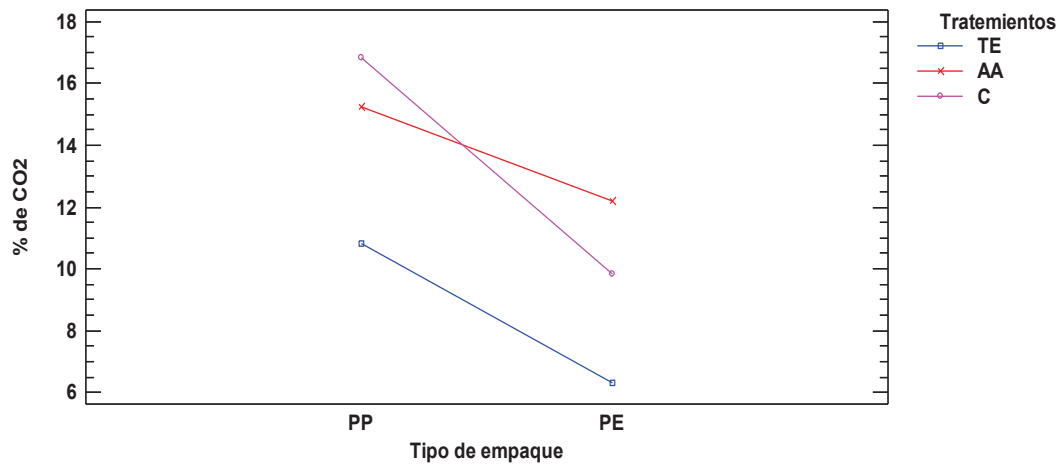


Figura 3.4. Gráfica de interacción entre el tipo de empaque y el tratamiento en col blanca rallada

La evolución de CO₂ se muestra en la Figura 3.5, durante el almacenamiento a 4 °C en col blanca rallada donde se observó un aumento de la concentración de CO₂ y por lo tanto una disminución de O₂ dentro de los empaques. Estos cambios en la concentración de gases se atribuyeron al aumento de la respiración en los tejidos debido al corte (Gómez-López, Ragaert, Jeyachchandran, Debevere y Devlieghere, 2008, p. 80). Según Plestenjak et al., (2008) el tiempo necesario para llegar al equilibrio depende de la intensidad de respiración del producto y de la permeabilidad del empaque (p. 428).

En la Figura 3.5, se puede apreciar que existió mayor concentración de CO₂ en el tratamiento control en empaque de PP. Este comportamiento podría ser explicado por un aumento de la respiración y menor permeabilidad del empaque. El aumento de la concentración de CO₂ en el interior de los empaques favorece los procesos de fermentación y el apareamiento de metabolitos secundarios como acetaldehído y alcohol (Hansen, Sørensen y Cantwell, 2001, p. 228).

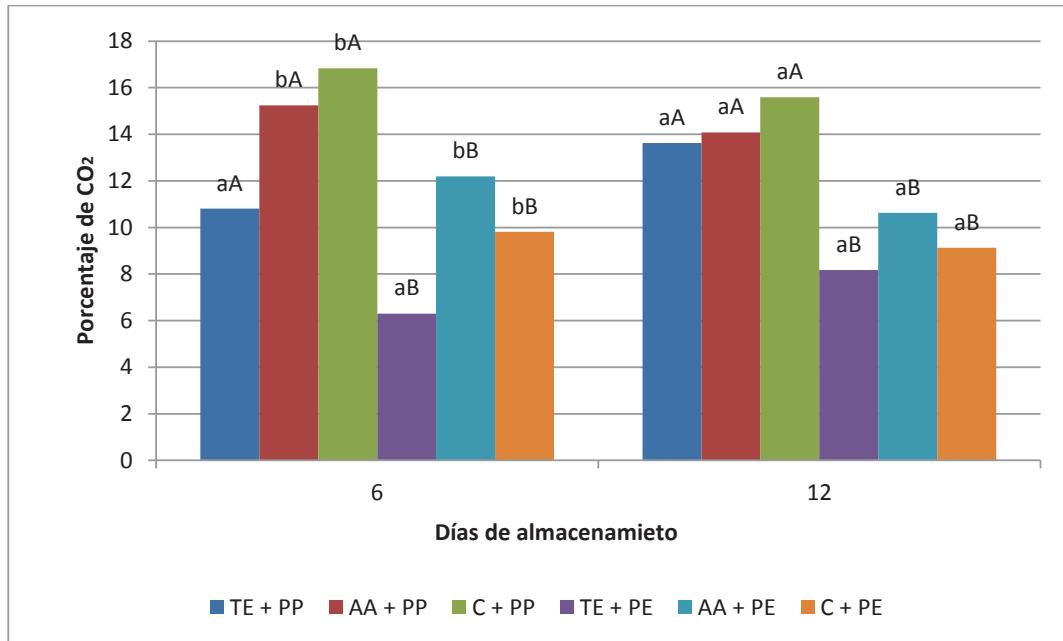


Figura 3.5. Producción de CO₂ durante el tiempo de almacenamiento a 4° C en col blanca rallada. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD

3.3.1.4 Textura de col blanca mínimamente procesada (Dureza)

En la Tabla 3.11, se presentan los resultados de la textura de col blanca mínimamente procesada almacenada durante 12 días a 4 °C en dos tipos de empaque.

De acuerdo a los análisis estadísticos en la salida 1 no existió diferencia estadísticamente significativa para el factor tratamientos y tipo de empaque. Los valores de dureza están entre 475,95 y 498,28 N.

En la salida 2 existió diferencias estadísticamente significativa ($P < 0,05$) entre el factor tratamiento. Para el factor tipo de empaque no existió diferencia estadísticamente significativa ($P > 0,05$) durante el tiempo de almacenamiento. En todos los tratamientos almacenados en empaque de PP se observó que la dureza de la col blanca rallada aumentó durante el tiempo de almacenamiento. Los tratamientos con mezcla de ácidos (AA) presentaron menores valores de dureza.

Posiblemente debido al uso de soluciones de ácido cítrico que inhibe las enzimas responsables de la lignificación en PMP (Toivonen y DeEll, 2002). Los valores de dureza para los tratamientos AA + PP y AA + PE fueron 485,10 y 491,21 N, respectivamente. En un estudio realizado por Manolopoulou y Varzakas, (2011) la de col rallada tratada con soluciones de ácido cítrico y ascórbico no presentaron signos de dureza (p. 958).

Los tratamientos térmicos y control fueron equivalentes con valores superiores en relación a los tratamientos con ácidos. Los valores de dureza para los tratamientos C + PP y C + PE fueron 503,72 y 497,65 N respectivamente y para los tratamientos térmicos TE + PP y TE + PE fueron de 504,54 y 504,61 N, respectivamente. El aumento de la dureza podría ser debido al proceso de lignificación como resultado de las reacciones enzimáticas en los tratamientos control (Valero y Serrano, 2010, p. 67). Mientras, en los tratamientos térmicos la exposición al calor durante 2 min posiblemente permitió la activación de calcio endógeno impidiendo la degradación enzimática de la pared celular por efecto de la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa (Valero y Serrano, 2010, p. 96).

Tabla 3.11. Dureza de col blanca rallada expresada en unidades de fuerza (newton), almacenada durante 12 días a 4 C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.

TRATAMIENTOS		Salida 1	Salida 2
PP	AA	480,10 ± 31,13aA	485,10 ± 26,46aA
	TE	481,77 ± 22,16aA	504,54 ± 3,38bA
	C	496,80 ± 4,58aA	503,72 ± 4,58bA
PE	AA	498,28 ± 15,30aA	491,21 ± 11,77aA
	TE	475,95 ± 37,21aA	504,61 ± 4,75bA
	C	497,81 ± 7,81aA	497,65 ± 7,08bA

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 3)

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

3.3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

En la Tabla 3.12, se muestra el pH y el contenido de SST para col blanca mínimamente procesada y sometida a tratamiento químico con mezcla de ácidos ascórbico y cítrico, físico mediante la aplicación de calor con agua caliente a 60 °C y tratamiento control con agua destilada y empacada en dos tipos de empaques de PP y PEBD almacenada durante 12 días a 4 °C.

Tabla 3.12. pH y contenido de SST en col blanca rallada tratada con mezcla de ácidos ascórbico y cítrico (AA); aplicación de calor con agua caliente (TE) y agua destilada (C) almacenada durante 6 y 12 días a 4 °C. Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.

TRATAMIENTOS		Salida 1	Salida 2
pH			
PP	TE	6,63 ± 0,03aA	6,36 ± 0,21aA
	AA	6,67 ± 0,16bA	6,79 ± 0,18bA
	C	7,13 ± 0,07cA	7,07 ± 0,05cA
PE	TE	6,59 ± 0,04aA	6,72 ± 0,04aA
	AA	6,85 ± 0,09bA	6,84 ± 0,03bA
	C	7,00 ± 0,05cA	6,92 ± 0,05cA
Contenido de SST			
PP	TE	4,00 ± 0,00aA	4,26 ± 0,06aA
	AA	4,84 ± ,036bA	5,00 ± 0,00bA
	C	4,88 ± 0,27bA	4,00 ± 0,00aA
PE	TE	4,50 ± 0,00aB	4,14 ± 0,13aB
	AA	5,00 ± 0,00bB	5,00 ± 0,00bB
	C	5,00 ± 0,00bB	4,64 ± 0,05aB

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 5)

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

En la salida 1 y 2 los tratamientos tuvieron efecto estadístico significativo sobre el pH ($P < 0,05$). Los valores de pH en la salida 1, para los tratamientos C + PP y C + PE aumentaron de 6,54 medido en el día cero a 7,13 y 7,00, respectivamente.

El aumento de pH en vegetales es característico a causa de las bacterias gram-negativas que degradan las proteínas y producen compuestos de carácter alcalino. En col rallada se observó un incremento de pH de 5,6 a 6,5 después de 20 días de almacenamiento entre 1 y 5 °C (Gómez-López et al., 2007, p. 96).

Los empaques no tuvieron efecto estadístico significativo en el pH de col rallada ($P > 0,05$). Los valores de pH en los tratamientos químicos y físicos fueron ligeramente más ácidos que en el tratamiento control. Para el tratamiento AA + PP y AA + PE se obtuvieron valores de pH similares 6,79 y 6,84, respectivamente, después del periodo de almacenamiento. En los tratamientos térmicos TE + PP y TE + PE los valores de pH fueron 6,36 y 6,72. La menor variación de pH en los tratamientos térmicos y con solución de ácidos podría ser debido a la reducción de microorganismos (Rahman et al., 2010, p. 114).

En la salida 1, para el contenido de sólidos solubles totales (SST) existió diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre tratamientos y tipo de empaque. Con el tratamiento térmico los valores de SST fueron menores posiblemente debido a la solubilización de azúcares (fructosa, sacarosa) durante la inmersión en agua caliente (Steiner et al., 2006, p. 220). Para los tratamientos con ácidos orgánicos y control no se encontró diferencias estadísticas significativas. Además, la refrigeración a una temperatura de 4 ± 1 °C impidió que se observen cambios significativos en los valores de SST para los tratamientos con ácidos y control. Como se determinó en un estudio realizado en col blanca por Kramchote, Srilaong, Wongs-Aree y Kalnlayanarat, (2012), donde no se observó una disminución del valor de SST hasta después de 14 días de almacenamiento a 4 °C (p. 762).

En la salida 2, los tratamientos químicos reportaron valores superiores con respecto a los demás tratamientos, posiblemente por la adición de los ácidos cítrico y ascórbico (Manolopoulou y Varzakas, 2011, p. 960). Los tratamientos control mostraron una reducción en la cantidad de SST con respecto a la salida 1 posiblemente por los procesos de maduración donde se consumen las reservas de carbohidratos (Toivonen y DeEll, 2002, p. 101).

3.3.2.1 Cuantificación de polifenoles totales

En la Figura 3.6, se muestran los resultados de la cuantificación de polifenoles en col blanca rallada sometida a tratamientos químicos con mezcla de ácidos ascórbico y cítrico, tratamiento físico con aplicación de agua caliente a 60 °C y posteriormente inmersión en agua con hielo y un tratamiento control con agua destilada empacadas en dos tipos de empaques y almacenadas durante 12 días a 4 °C.

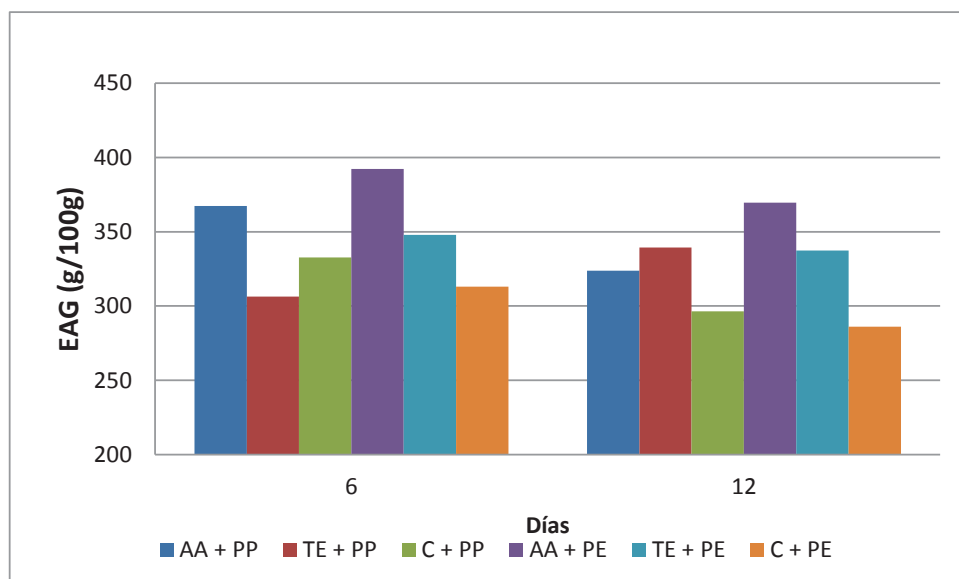


Figura 3.6. Cuantificación de polifenoles totales en col rallada sometida a tratamientos químico y físico, utilizando dos tipos de empaque polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PEBD), almacenada hasta 12 días a 4 °C

En la salida 1, se observó una disminución de la cantidad de polifenoles en los tratamientos térmicos y control en ambos empaques con respecto al valor del día cero 362,40 EAG (g/100g m.f). El menor valor observado fue en el tratamiento TE + PP igual a 306,40 EAG (g/100g m.f). Probablemente causado por la desactivación de la enzima PAL reduciendo la síntesis de polifenoles (Toivonen y DeEll, 2002, p. 116). Para los tratamientos AA + PP y AA + PE la cantidad de polifenoles totales aumentó 1,4 % y 8 %, respectivamente. El aumento de los polifenoles totales posiblemente se debió a causa del ácido ascórbico que reaccionó con la enzima PFO en lugar de los polifenoles de la col (Javdani et al., 2013, p. 191). El ácido cítrico también influyó en la cantidad de polifenoles. Según

Orjuela-Caicedo y Galvis-Vanegas, (2012), encontró que los tomates mínimamente procesados tratados con 500 ppm de ácidos cítrico conservaron compuestos bioactivos como ácido ascórbico, cítrico y málico (p. 11).

En la salida 2, se observó disminución de la cantidad de polifenoles totales en todos los tratamientos excepto en el tratamiento TE + PP en el cual se observó un aumento en la cantidad de polifenoles totales al día 12, posiblemente debido a la permeabilidad del empaque que impidió el ingreso de oxígeno y a la participación de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL) que favoreció la síntesis y acumulación de polifenoles totales (He y Luo, 2007, p. 5).

Otra causa puede ser atribuida al efecto de los tratamientos térmicos (agua caliente y agua con hielo) donde las PPO's se desactivaron y produjo acumulación de polifenoles. En un estudio realizado en cebolla mínimamente procesada y sometida a tratamientos térmicos se observó un incremento en la cantidad total de polifenoles en un periodo de almacenamiento de 21 días a 4 °C (Siddiq, Roidoung, Sogi y Dolan, 2013, p. 804).

Para los tratamientos control la cantidad de polifenoles totales decreció conforme avanzó el tiempo de almacenamiento y se observó mayor indicio de cambios de coloración en las pruebas de color. Estos cambios de color se deben a la acción de la PPO (Cantos, Espín y Tomás-Barberán, 2001, p. 326).

3.3.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En la Tabla 3.13 se muestran los resultados de los análisis microbiológicos para col blanca mínimamente procesada sometida a tratamientos químico de mezcla de ácidos ascórbico y cítrico (AA) y tratamiento térmico (mediante agua caliente a 60 °C y agua a 0 °C) (TE) empacada en dos tipos de empaques polipropileno (PP) y polietileno de baja densidad (PE) y almacenada durante 12 días a 4 °C.

En la salida 1, los resultados microbiológicos para el conteo total de aerobios para los tratamientos AA y TE en ambos tipos de empaques PP y PE estuvieron dentro del rango permitido. El recuento total de aerobios en el tratamiento térmico (Tabla 3.13.) fue mayor en una unidad logarítmica en comparación con los tratamientos con ácidos. Los tratamientos AA + PP y AA + PE presentaron valores de conteos de aerobios totales $1,47E+04$ y $2,15E+04$ UFC/g, respectivamente menores, al límite inferior permitido ($1,00E+05$ UFC/g). El tratamiento control no fue aceptable debido al aumento del conteo de aerobios totales mayor al límite máximo permitido $1,0E+07$ UFC/g (Lobo y González, 2007, p. 6).

Tabla 3.13. Resultados del análisis microbiológico para col blanca rallada sometida a tratamiento químico con AA: mezcla de ácidos ascórbico y cítrico), tratamiento con aplicación de calor (agua caliente a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) y tratamiento control C: control con agua destilada

TRATAMIENTOS	PP			PE		
	AA	TE	C	AA	TE	C
SALIDA 1 (UFC/g)						
Aerobios Totales	$1,47E+04$	$3,79E+05$	$>1,00E+07$	$2,15E+04$	$2,13E+05$	$>1,00E+07$
Mohos y levaduras	$4,28E+02$	$1,73E+03$	$<1,00E+01$	$1,73E+02$	$1,26E+03$	$1,90E+02$
E. coli/Coliformes	$<1,00E+01$	$<1,00E+01$	$1,60E+03$	$<1,00E+01$	$<1,00E+01$	$5,95E+03$
SALIDA 2 (UFC/g)						
Aerobios Totales	$2,01E+05$	$6,25E+05$	$1,04E+07$	$2,35E+05$	$1,69E+07$	$8,93E+07$
Mohos levaduras	$2,25E+02$	$5,40E+02$	$9,00E+02$	$4,15E+02$	$2,28E+04$	$4,28E+02$
E. coli/Coliformes	$2,60E+03$	$<1,00E+01$	$2,22E+04$	$2,17E+05$	$<1,00E+01$	$1,20E+05$

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico $0,2\%$ y cítrico $0,5\%$

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

En cuanto a conteo total de coliformes los recuentos se encontraron entre $1,00E+01$ UFC/g y $5,95E+03$ UFC/g. Estos valores fueron inferiores al valor límite permitido según la legislación brasilera ($1,00E+06$ UFC/g) para coliformes totales (Aparecida et al., 2011, p. 1401). En un estudio realizado por Seo et al., (2010) se obtuvieron valores similares en productos de hoja como lechuga y col (p. 1287). Los tratamientos con solución de ácidos y térmicos evitaron el crecimiento microbiológico durante los primeros 6 días de almacenamiento. En los

tratamientos control se reportaron los máximos valores para el conteo de coliformes totales en col rallada. Los valores fueron de $1,60E+03$ UFC/g en empaque de PP y $5,95E+03$ UFC/g en empaque PE.

En la salida 2, los tratamientos AA + PP, AA + PE y TE + PP presentaron contajes de aerobios totales dentro del rango permitido. Mientras que en el tratamiento TE + PE aumento los contajes de aerobios totales posiblemente se debió a la contaminación del ambiente ya que durante el tratamiento térmico no se trabajó en un ambiente frío y por tanto la contaminación se produjo por agentes externos y contaminación cruzada. Otra posible causa podría ser por la permeabilidad del empaque de PEBD que favoreció el ingreso de oxígeno necesario para el desarrollo de bacterias aerobias (Conte, Scrocco, Brescia, Mastromatteo y Nobile, 2011, p. 1220).

Todos los tratamientos presentaron recuentos de coliformes totales menores al límite superior establecido $1,00E+06$ UFC/g (Aparecida et al., 2011, p.1401). Sin embargo, en los tratamientos térmicos para ambos empaques no se registró crecimiento de coliformes totales hasta el final del almacenamiento ($< 1,00E+01$ UFC/g). En un estudio realizado por Rahman et al. (2010), en col mínimamente procesada los tratamientos térmicos a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostraron un efecto estadístico significativo en la disminución del conteo microbiológico (p. 113). Los contajes de mohos y levaduras en todos los tratamientos estuvieron dentro del rango permitido (Ragaert et al., 2011, p. 60).

3.3.4 EVALUACIÓN SENSORIAL

En la Tabla 3.14, se muestran los resultados para el análisis sensorial en col blanca tratada mediante un tratamiento térmico (TE), un tratamiento químico con mezcla de ácidos (AA) y tratamiento control con agua destilada (C). La col rallada se almacenó hasta 12 días a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la salida 1 se observó diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre el factor tratamientos para el atributo de olores extraños. Los valores para el mencionado atributo se incrementaron con respecto al día cero (0,78) en todo los tratamientos. Para los tratamientos TE + PP y TE + PE los panelistas reportaron valores más elevados de 3,19 y 3,66, respectivamente. La presencia de olores extraños posiblemente fue a causa del efecto de la aplicación de calor, que provocó la síntesis de compuestos volátiles como el dimetil disulfuro (Vaclavik y Christian, 2002, p. 46).

Tabla 3.14. Resultados del análisis sensorial para col blanca rallada sometida a un tratamiento calórico y químico, empacada en PP y PE almacenado durante 12 días a 4 °C.

Las letras minúsculas corresponden al factor tratamiento y las letras mayúsculas corresponden al factor tipo de empaque utilizando la prueba de rangos múltiples LSD.

TRATAMIENTOS	PP			PE		
	AA	TE	C	AA	TE	C
SALIDA 1						
Apariencia General	4,58 ± 2,90aA	5,97 ± 1,64aA	5,70 ± 2,05aA	5,68 ± 2,01aA	6,31 ± 1,56aA	5,78 ± 2,16aA
Olores extraños	1,9 ± 1,82aA	3,19 ± 1,71bA	2,23 ± 1,70abA	2,67 ± 2,36aA	3,66 ± 2,10bA	2,73 ± 1,64abA
Dureza	6,25 ± 2,52aA	6,16 ± 1,85aA	5,93 ± 1,76aA	6,73 ± 1,50aA	6,78 ± 2,21aA	6,48 ± 1,93aA
Pardeamiento	3,43 ± 2,29aA	3,81 ± 2,26aA	2,18 ± 1,86aA	2,68 ± 1,81aA	3,18 ± 1,81aA	3,21 ± 2,37aA
SALIDA 2						
Apariencia General	5,32 ± 1,59bA	5,18 ± 1,93bA	3,61 ± 1,47aA	4,09 ± 1,37bA	5,56 ± 1,31bA	3,16 ± 1,73aA
Olores extraños	3,91 ± 2,43aA	4,33 ± 1,98aA	4,09 ± 1,71aA	4,58 ± 2,13aA	5,02 ± 2,87aA	4,79 ± 2,07aA
Dureza	5,16 ± 2,12aA	4,6 ± 2,11aA	4,57 ± 1,75aA	5,1 ± 2,16aA	4,64 ± 2,11aA	4,30 ± 3,2aA
Pardeamiento	3,81 ± 2,45aA	3,09 ± 1,91bA	4,05 ± 2,68bA	7,28 ± 1,85aB	2,55 ± 1,58bB	4,88 ± 2,59bB

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 12)

AA: Tratamiento con mezcla de ácidos ascórbico 0,2 % y cítrico 0,5 %

TE: Tratamiento térmico con agua caliente a 60 °C

C: Tratamiento control con agua destilada

PP: empaque de polipropileno

PE: empaque de polietileno de baja densidad

El tratamiento AA + PP presentó un menor valor (1,90) para el atributo de olores extraños. No se observó diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$) para los factores tratamientos y tipo de empaque en los atributos de apariencia general, dureza y pardeamiento.

Para la salida 2 las muestras de col rallada sometidas a tratamientos térmicos y ácidos orgánicos presentaron efectos significativos en los atributos de apariencia general ($P < 0,05$). Los tratamientos TE + PE y AA + PP presentaron los mayores valores para apariencia general 5,56 y 5,32, respectivamente. Para el atributo de pardeamiento existió diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre el tratamiento y tipo de empaque. En los tratamientos térmicos los panelistas reportaron valores menores en pardeamiento con respecto a la salida 1. Un comportamiento similar se observó en hojas de lechuga sometidas a tratamientos térmicos, donde el pardeamiento disminuyó pero causó deterioro superficial de color y de la textura (Manolopoulou, Lambrinos, Chatzis, Xanthopoulos y Aravantinos, 2010, p. 328).

En el tratamiento AA + PE se reportó el mayor valor de pardeamiento igual a 7,28 posiblemente por daños en el empaque. Para los atributos de olores extraños y dureza no existió diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$). Sin embargo, los tratamientos TE + PP y TE + PE reportaron valores superiores de olores extraños 4,33 y 5,02, respectivamente, con respecto al tratamiento AA + PP 3,91. El desarrollo de olores extraños podría ser debido al aumento de microorganismos que provocó formación de metabolitos relacionados con malos olores (etanol y acetaldehído) (Ragaert et al., 2007, p. 189). Para el atributo de dureza comportamientos similares se observaron en un estudio realizado por Manolopoulou y Varzakas, (2013), donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos aplicados (p. 36).

En general para la conservación de las características físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas de la col mínimamente procesada se sugiere la aplicación de los tratamientos químicos con solución de ácidos cítrico y ascórbico en empaque de polipropileno (AA + PP). De acuerdo a los resultados este

tratamiento mantuvo el pH característico de los vegetales de hoja, menor índice de pardeamiento, contajes bajos de microorganismos y sensorialmente aceptable para la comercialización y consumo al final del almacenamiento.

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROCESO DE COL BLANCA MÍNIMAMENTE PROCESADA PARA DETERMINAR SU FACTIBILIDAD

El tratamiento que conservó mejor la calidad poscosecha de col blanca mínimamente procesada a 4 °C fue AA + PP (mezcla de ácidos ascórbico y cítrico) presentó mejores características sensoriales, menor pérdida de peso, es microbiológicamente aceptable y mejor conservación de productos bioactivos (polifenoles totales). Para el análisis económico del proceso se realizó en torno al tratamiento AA + PP.

3.4.1 DETERMINACIÓN DEL MERCADO

La determinación de las oportunidades se realizó en base al mercado potencial mediante estrategias de comercialización y ampliación de productos por parte de las empresas dedicadas a esta actividad. En el diagnóstico realizado por Bastidas, et., al, (2013), determina que son 12 empresas las que se dedican a elaborar PMP.

El presente trabajo de investigación establece como mercado meta lo siguiente:

Plaza: Distrito Metropolitano de Quito

Consumidores: Los consumidores de col mínimamente procesada son segmentados en base a su condición Sociocultural de nivel medio y alto.

Compradores potenciales: Los restaurantes, hoteles, empresas con servicio de catering, bares, lugares de comida rápida y supermercados.

Precio: El precio será de USD 1,25; el mismo que se fijó en base a la competencia.

3.4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROCESO ESTABLECIDO PARA DETERMINAR SU FACTIBILIDAD

3.4.2.1 Estimación de costos para la implementación

La elaboración de col blanca mínimamente procesada, será empacada en bolsas de polipropileno, cada empaque tiene las dimensiones de 308 mm X 248 mm, lo cual permitirá envasar 250 g; el número de bolsas producidas serán de 4 000 mensuales, según la demanda insatisfecha determinada para este producto.

La cantidad a vender está calculada en base al consumo per capital de hortalizas en el Ecuador que es de 28 kg/hab al año; en el Distrito Metropolitano de Quito existen 2 551,721 habitantes, por lo que se obtiene un consumo de 70 882 138,90 kg de hortalizas/año (INEC, 2010).

Según Peñaherrera y Zuñiga, (2006), en sus encuestas realizadas determinó que el 3 % de las ventas corresponden a hortalizas mínimamente procesadas (HMP); el consumo de col blanca es del 9 %. En este estudio se pretende cubrir el 50 % de la demanda insatisfecha en el Distrito Metropolitano de Quito, esto es 1 530 kg/mes de col a procesarse, considerando que el rendimiento es del 53 %.

3.4.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Los activos sean tangibles o intangibles son de naturaleza permanente y son necesarios para las actividades operativas de una empresa, los mismos que no

serán vendidos o desechados a corto plazo, ni por razones comerciales, debido a que cada uno de ellos cumple y posee una vida útil.

Para la realización de este trabajo de investigación se requiere de la línea de producción (Tabla 3.15) la cual consta de:

Tabla 3.15. Costos de equipos y maquinaria para el proceso de elaboración de col blanca rallada

LÍNEA DE PRODUCCIÓN		
ACTIVO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)
Cortadora	1	3 000,00
Selladora	1	1 000,00
Tanque de Inmersión	2	1 500,00
Tanque de lavado	1	1 100,00
Mesas de trabajo	2	700,00
Balanza	1	700,00
Destilador	1	3 000,00

En cuanto a infraestructura para el procesamiento de la col blanca mínimamente procesada es importante dar a conocer que no se requiere su implementación ya que existen 12 empresas que elaboran PMP, razón por la cual la propuesta se centra en la ampliación de la oferta de col blanca mínimamente procesada para cubrir la demanda insatisfecha. En la Tabla 3.16 se muestra el requerimiento del capital de trabajo para la producción de la col mínimamente procesada para un mes (USD 5 472,38), considerando los sueldos, los materiales, seguros, viáticos y folletos, hojas volantes, para la publicidad del nuevo producto.

Tabla 3.16. Requerimiento financiero para capital de trabajo

CAPITAL DE TRABAJO UN MES	
COSTOS VARIABLES	VALOR (USD)
4 000 bolsas x 0,35 costo unitario	1 380,00
COSTOS FIJOS (administración y ventas)	VALOR (USD)
Sueldos, materiales, servicios básicos, seguros	4 092,38
TOTAL	5 472,38

3.4.4 INVERSIÓN

Para la funcionalidad del procesamiento de col mínimamente procesada requiere de una inversión total de USD 20 932,38; la cual está distribuida en inversión diferida e inversión propia.

En la Tabla 3.17 se muestra la inversión diferida se considera los gastos preoperativos de USD 60,00, los mismos que facilitarán las ventas del producto propuesto en el mercado meta, la Ingeniería en USD 400,00 la cual consta de las instalaciones adecuadas de la línea de producción de col mínimamente procesada.

Tabla 3.17. Inversión diferida para la producción de col mínimamente procesada

INVERSION DIFERIDA	
RUBRO:	VALOR UNITARIO (USD)
Preoperativo	60,00
Ingeniería	400,00
TOTAL	460,00
TOTAL INVERSION INICIAL	20 932,38

3.4.5 ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

La estructura de la inversión está compuesta por inversión fija la cual es de USD 15 000,00; la inversión variable de USD 5 472,38 y la inversión diferida de USD 460,00

Tabla 3.18. Estructura de la inversión

INVERSIÓN	VALOR (USD)
Fija	15 000,00
Variable	5 472,38
Diferida	460,00
TOTAL	20 932,38

3.4.5.1 Financiamiento de la inversión

En la Tabla 3.19 se muestra la distribución del financiamiento de la inversión:

Tabla 3.19. Financiamiento de la inversión fija, variable y diferida

INVERSIÓN	VALOR (USD)	PROPIO (USD)	PRESTADO (USD)
FIJA	15 000,00	12 000,00	3 000,00
VARIABLE	5 472,38	4 377,90	1 094,48
DIFERIDA	460,00	368,00	92,00
TOTAL	20 932,38	16 745,90	4 186,48
		80 %	20 %

Del total de la inversión que es de USD 20 932,38; el 80 % que es USD 16 745,90 es una inversión con capital propio, mientras que el 20 % que es USD 4 186,48 será mediante crédito.

3.4.5.2 Gasto financiero

El gasto financiero está calculado en base a la Tabla 3.20 de amortización que se muestra a continuación:

Tabla 3.20. Tabla de amortización para un periodo de cinco años

N. pagos	Capital Inicial (USD)	Cuota periódica (USD)	Interés (USD)	Capital (USD)	Capital final (USD)
1	4 186,48	1 140,73	472,23	668,49	3 517,98
2	3 517,98	1 140,73	396,83	743,90	2 774,09
3	2 774,09	1 140,73	312,92	827,81	1 946,28
4	1 946,28	1 140,73	219,54	921,18	1 025,09
5	1 025,09	1 140,73	115,63	1 025,09	0,00

De la Tabla 3.20 se toma el valor del capital USD 4 186,00; a un plazo de 5 años que es lo que durará el proyecto, considerando una tasa de interés del 11,28% anual, estos puntos porcentuales se tomó como referencia de la tasa activa efectiva referencial productiva para PYMES 2 014 (Banco Central del Ecuador, 2014). La Tabla 3.20 de amortización muestra que el pago de la cuota periódica es de USD 1 140,73 con un interés decreciente y un capital creciente, pagaderos en cinco años, tiempo que durará el proyecto.

3.4.5.3 Presupuesto de ingreso

En el cálculo de los ingresos es necesario detallar las unidades de col Mínimamente procesadas a ser producidas y vendidas mensualmente por el precio fijado en base a la competencia en el mercado el cuál es de USD 1,25; las unidades a producir son 48 000 anualmente; obteniendo un resultado de ingresos de USD 60 000,00 para el primer año (Tabla 3.21).

Tabla 3.21. Cantidad de unidades de col mínimamente procesada a producir mensual y anual y precio unitario

Cantidad de unidades a producir y vender mensuales	4 000
Cantidad de unidades a producir y vender año	48 000
Precio de venta por unidad (USD)	USD 1,25

3.4.5.4 Presupuestos de egresos

En la Tabla 3.22 se detalla los costos de materia prima, insumos, personal de planta y administrativos, las depreciaciones de los equipos requeridos para el procesamiento de la col mínimamente procesada.

Tabla 3.22. Detalle financiero de materia prima, insumos, personal de producción y administración

MATERIA PRIMA			
DETALLE	COSTO UNITARIO (USD)	CANTIDAD REQUERIDA POR MES	COSTO TOTAL POR MES (USD)
Col	0,13	1 530 kg	520,00
Ácido ascórbico	0,01	15 kg	20,00
Ácido cítrico	0,01	6 kg	40,00
MANO DE OBRA DIRECTA			
Operario	0,03	1 000 kg	120,00
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN			
Energía	0,01		40,00
Agua	0,02		80,00
Envases (fundas de polipropileno)	0,07	4 000	280,00
Etiqueta	0,07	4 000	280,00

En base al proceso de producción de col Mínimamente procesada el valor unitario es de 0,35 centavos de dólar, en el mismo que se encuentra considerado los valores inherentes a los costos de Materia prima con un valor de 0,15 centavos de dólar; Mano de obra directa 0,03 centavos de dólar y costos indirectos de fabricación 0,17 centavos de dólar.

De acuerdo a los costos de procesamiento cabe indicar que el rendimiento de la col blanca es del 53 %, considerando que la utilización y procesamiento se realiza únicamente de las hojas.

En lo referente a la mano de obra directa el costo unitario será de 0,03 centavos de dólar, valor que se calculó de manera proporcional y en función de la producción de 4 000 unidades de 250 g y como se indicó anteriormente es una propuesta para empresas que ya están elaborando PMP. Los Costos Indirectos de Fabricación tienen un valor unitario de 0,17 centavos de dólar, costos que son estimados y utilizados en función de la variabilidad de la producción.

Tabla 3.23. Depreciación y valores en libros

Rubros	Valor Unitario (USD)	Cuota Depreciación	Plusvalía	Depreciación (USD)					Depreciación Acumulada	Valor en Libros (USD)
				1	2	3	4	5		
Terreno	0,00		0,00 %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Obras civiles	0,00	5 %		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Línea de producción	12 400,00	10 %		1 240,00	1 240,00	1 240,00	1 240,00	1240,00	6 200,00	6 200,00
Muebles y enseres	1 000,00	10 %		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	500,00	500,00
Equipo de oficina	700,00	10 %		70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	350,00	350,00
Equipo de cómputo	900,00	33,33 %		300,00	300,00	300,00			900,00	0,00
Total inversión fija	15 000,00			1 710,00	1 710,00	1 710,00	1 410,00	1 410,00		7 050,00

En la tabla se muestra los gastos de depreciación de la línea de producción que son: 1 Cortadora, 1 selladora, 2 tanques de inmersión , 1 tanque de lavado, 2 mesas de trabajo, 1 balanza y 1 destilador; equipos que tienen una depreciación del 10% anual y su vida útil es de 10 años. El total de valor a depreciar de la línea de producción es de USD 12 400,00; cada año se depreciará USD 1240,00, con una depreciación acumulada de USD 6 200,00 para el año cinco y un valor en libros de USD 6 200,00.

El valor de los muebles y enseres es de USD 1 000,00; con una depreciación del 10 % anual y una vida útil de 10 años, se depreciará USD 100,00 del año uno al

año cinco, muestra un valor de depreciación acumulada de USD 500,00 y un valor en libros de USD 500,00.

El equipo de oficina presenta un valor de adquisición de USD 700,00, con un 10 % de depreciación anual y 10 años de vida útil, mostrando una depreciación de USD 70,00 cada año con una depreciación acumulada de USD 350,00 y un valor en libros de USD 350,00. Finalmente se observa el equipo de cómputo el mismo que tiene un valor de adquisición de USD 900,00, su vida útil es de 3 años debido a la tecnología y su porcentaje de depreciación es del 33,33 % anual; cada año se depreciará USD 300,00, su depreciación acumulada será de USD 900,00 al final del tercer año y su valor en libros será 0.

3.4.6 ELABORACIÓN DEL FLUJO DE CAJA Y CÁLCULO DE LOS ÍNDICES FINANCIEROS

En el cálculo del flujo de efectivo o flujo económico del proyecto se observa que se obtiene como gastos fijos USD 35 501,00 donde incluye los gastos administrativos y gastos de ventas necesarios para la comercialización de la col mínimamente procesada. En lo referente a los gastos variables son todos los componentes necesarios para la producción de la col mínimamente procesada, esto es Materia prima, Mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación que tienen un valor de USD 16 560,00 para el primer año concluyendo con un valor de USD 18 936,97 para el año cinco; esta variación se debe a la proyección realizada tomando en cuenta la inflación anual de 3,41 % tomado de la información del Banco Central del Ecuador, mayo 31 del 2014.

Tabla 3.24. Flujo de caja y cálculo de índices financieros

	0	1	2	3	4	5
	USD					
Inversión Inicial	-20 932,38					
Bolsas de 250 g	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00	48 000,00
Precio	1,25	1,29	1,34	1,38	1,43	1,43
Ingresos	60 000,00	62 046,00	64 161,77	66 349,68	68 612,21	68 612,21
Gastos Variables	16 560,00	17 124,70	17 708,65	18 312,51	18 936,97	18 936,97
Gastos Fijos	35 501,00	39 034,80	39 034,80	39 034,80	39 034,80	39 034,80
Gastos de depreciación	1 710,00	1 710,00	1 710,00	1 410,00	1 410,00	1 410,00
Utilidad Operativa	6 229,00	4 176,50	5 708,32	7 592,37	9 230,44	9 230,44
Participación utilidades 15 %	934,35	626,48	856,25	1 138,86	1 384,57	1 384,57
Utilidad neta antes de impuestos	5 294,65	3 550,03	4 852,07	6 453,52	7 845,87	7 845,87
Impuesto a la renta (base imponible)	-1 318,80	-1 580,50	-1 385,19	-1 144,97	-936,12	-936,12
Utilidad neta	6 613,45	5 130,52	6 237,26	7 598,49	8 781,99	8 781,99
Gastos de depreciación (fondo)	1 710,00	1 710,00	1 710,00	1 410,00	1 410,00	1 410,00
Flujos de efectivo	8 323,45	6 840,52	7 947,26	9 008,49	10 191,99	10 191,99
Flujo de cierre (valor en libros y capital trabajo)						12 522,38
FLUJOS DE FECTIVO NETOS	-20 932,38	8 323,45	6 840,52	7 947,26	9 008,49	22 714,37

Para el cálculo de las ventas también se tomó en cuenta los puntos porcentuales de inflación del 3,41 % tomado de la información del Banco Central del Ecuador, mayo 31 del 2014; lo asciende a USD 60 000,00 para el primer año; USD 62 046,00 para el segundo año; USD 64 161,77 para el tercer año; USD 66 349,68 para el cuarto año y USD 68 612,21 para el quinto año.

La utilidad operativa para el primer año será de USD 6 229,00 y para el quinto año será de USD 9 230,44. Los flujos de efectivo netos serán: para el año uno USD 8 323,45; para el año dos USD 6 840,52; para el año tres USD 7 947,26; para el año cuatro USD 9 008,49 y para el año cinco USD 22 714,37; la recuperación de la inversión será en el primer trimestre del tercer año, cuando el flujo de efectivo neto ascienda a USD 23 111,23.

Una vez realizado los estudios financieros se determinó que el proyecto es viable ya que presenta una TIR (Tasa Interna de Retorno) de 35 % que supera en 23,72 % a la tasa efectiva referencial tomada de las PYMES que es del 11,28 %; estos resultados obtenidos indican que es mejor realizar la inversión para el procesamiento de la col blanca mínimamente procesada en lugar de realizar un depósito bancario el cual genera un rendimiento del 9% aproximadamente según el tiempo y el monto del capital.

El valor del VAN (Valor Actual Neto) del proyecto es de USD 17 024, valor positivo lo que refleja que a más de recuperar la inversión genera una utilidad. La relación costo - beneficio es de 0,39 centavos de dólar por cada dólar invertido.

En lo referente al punto de equilibrio se debe producir y comercializar 39 228 unidades 250 g de col blanca mínimamente procesada a un precio de USD 1,25 cubriendo los costos fijos y los costos variables para obtener un ingreso de USD 49 034,53; con lo que no se obtendrá una utilidad operativa donde no se pierda ni se gane (Figura 3.7).

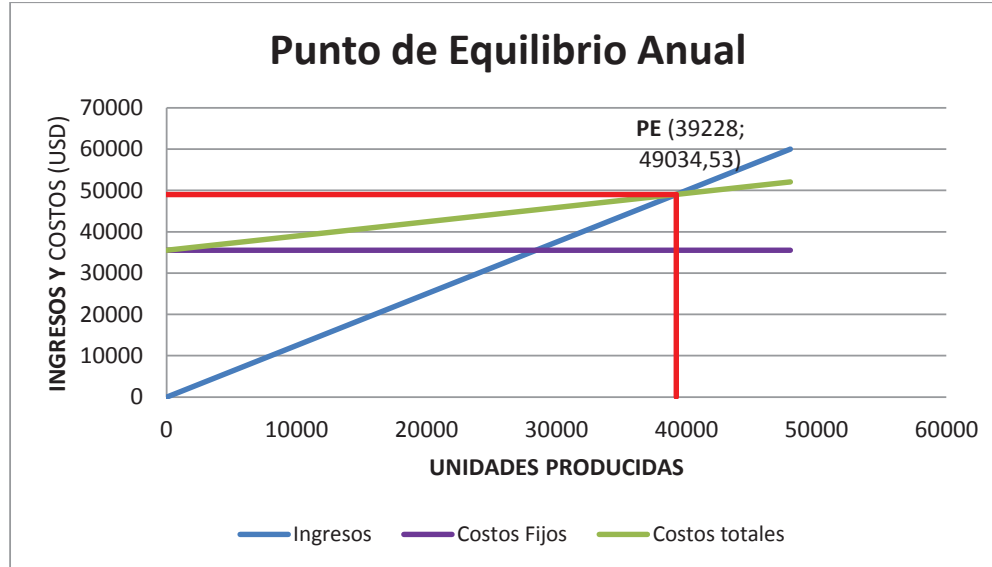


Figura 3.7. Punto de equilibrio para el proyecto de col mínimamente procesada

En general, el PVP (precio de venta al público) de la bolsa de col blanca mínimamente procesada será de USD 1,25; precio que permitirá recuperar los costos fijos y variables con un margen de contribución de 0,39 centavos de dólar por unidad vendida.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La evaluación física clasificó a la materia prima como una col blanca (*Brassica oleracea* var. capitata) de tamaño mediano (0,7 – 1,5 kg) según el estándar de la USDA, (2002). Los parámetros de color L*, a* y b* fueron característicos de la col blanca. Los análisis químicos reportaron un pH de 6,4 y 4 °Brix característicos de hortalizas de hojas. De acuerdo a los análisis microbiológicos los resultados cumplieron con los rangos establecidos.
- En la aplicación de tratamientos químicos con sustancias GRAS, el tratamiento con solución de ácidos ascórbico y cítrico (AA) conservó las características físicas de color, menor índice de pardeamiento ($\Delta E = 4,16$), menor contaje de aerobios totales, mohos y levaduras y coliformes totales. El análisis sensorial indicó que el tratamiento AA conservó las características organolépticas de apariencia general, olores extraños y pardeamiento hasta el final del almacenamiento.
- En el desarrollo de la experimentación preliminar los resultados de los análisis sensoriales mostraron un incremento de olores extraños al final almacenamiento en las soluciones de ácido acético (AT) y sorbato de potasio (SP) con calificaciones de 5,85 y 6,21 respectivamente.
- La aplicación del tratamiento térmico (TE) mediante agua caliente a 60 °C en col blanca rallada al final del almacenamiento disminuyó significativamente la pérdida de peso 0,123 % y 0,176 % en empaques de polipropileno y polietileno de baja densidad, respectivamente. El aumento de la concentración de CO₂ en el interior de los empaques también fue menor en comparación al tratamiento con mezcla de ácidos y control. Los valores registrados de concentración de

CO₂ en empaques de polipropileno y polietileno de baja densidad fueron de 13,63 % y 8,18 %, respectivamente al final del almacenamiento. Este comportamiento fisiológico del vegetal fue probablemente debido al efecto de la temperatura sobre enzimas relacionadas con el aumento de la respiración (Javdani, Ghasemnezhad, y Zare, 2013, p. 191).

- Las diferencias de permeabilidad de los empaques probablemente determinaron una mayor concentración de CO₂ en bolsas de polipropileno (PP) que en polietileno de baja densidad (PEBD) al final del almacenamiento. De acuerdo a datos bibliográficos el coeficiente de permeabilidad a 25 °C y 25 µm de grosor del PP es menor que el PEBD con valores de 0,079 y 0,414 cm³/(m²*día*Pa), respectivamente (Plestenjak et al., 2008, p. 428).
- Los empaques de polipropileno y polietileno de baja densidad no influyeron significativamente ($P > 0,05$) en los análisis de dureza, SST y pérdida de peso de col blanca mínimamente procesada durante el tiempo de almacenamiento (12 días) a 4 °C.
- En la mayoría de los tratamientos térmicos (TE), químicos (AA) y control (C) realizados a la col blanca mínimamente procesada y almacenada a 4 °C, se observó la disminución del contenido de polifenoles totales conforme avanzó tiempo de almacenamiento, lo que sugiere que la PFO utiliza a los polifenoles como sustrato para las reacciones de oxidación, conocidas como reacciones de pardeamiento enzimático.
- En la implementación de una nueva línea para el procesamiento de col mínimamente procesada se determinó una TIR de 35 % con una tasa referencial tomada de la PYMES de 11,28 % y un VAN de USB 17 024, lo que hace un proyecto viable con un punto de equilibrio de 39 228 unidades.

4.2 RECOMENDACIONES

- Analizar factores fisiológicos como la tasa de respiración y producción de etileno entre un producto entero y cortado para conocer mejor el funcionamiento biológico de los PMP.
- Evaluar el efecto sinérgico de la combinación de dos o más tratamientos físicos (radiación UV, calóricos, recubrimientos, atmósferas modificadas, campos eléctricos) y químicos (ozono, sustancias GRAS, cloro)
- Analizar el efecto de tratamientos convencionales de sanitización (tratamientos con cloro) con tratamientos alternativos como radiación UV
- Analizar compuestos bioactivos específicos como los glucosinolatos contenido de vitamina C, fibra dietética.
- Evaluar la actividad enzimática de las enzimas polifenol oxidasa PFO, principal enzima que interviene en la oxidación de polifenoles totales, fenilalanina amonio liasa (PAL) que favorece en la síntesis de polifenoles y tirosinasa responsable de la generación de malos olores en col.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, M., Beirão-da-Costa, S., Gonçalves, E. M., Beirão-da-Costa, M. L., y Moldão-Martins, M. (2003). Use of mild heat pre-treatments for quality retention of fresh-cut “Rocha” pear. *Postharvest Biology and Technology*, 30(2), 153–160.
2. Adams, J. B. y Brown, H. M. (2007). Discoloration in raw and processed fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(3), 319–33.
3. Ahvenainen, R. (2000). *Fruit and Vegetables Flair-Flow Europe Technical Manual* (p. 32). Dublin-Irlanda.
4. Alegria, C., Pinheiro, J., Duthoit, M., Gonçalves, E. M., Moldão-Martins, M. y Abreu, M. (2012). Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 197–203.
5. Alegria, C., Pinheiro, J., Goncalves, E. M., Fernandes, I., Moldao, M. y Abreu, M. (2010). Evaluation of a pre-cut heat treatment as an alternative to chlorine in minimally processed shredded carrot. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 11, 155–161.
6. Ansorena, M. R., Marcovich, N. E. y Roura, S. I. (2011). Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 53–63.
7. AOAC. (2005). *Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists* (8va ed.). Arlington, USA.

8. Aparecida, M., Oliveira, D., Maciel, V., Souza, D., Maria, A., Bergamini, M. y Martinis, P. (2011). Microbiological quality of ready-to-eat minimally processed vegetables consumed in Brazil. *Food Control*, 22(8), 1400–1403.
9. Artés, F., Gómez, P. A. y Artés Hernández, F. (2007). Physical, Physiological and Microbial Deterioration of Minimally Fresh Processed Fruits and Vegetables. *Food Science and Technology International*, 13(3), 177–188.
10. Artés, F., Gómez, P., Artés-hernández, F. y Aguayo, E., (2011). Redalyc.Innovaciones en el mantenimiento de la calidad y seguridad alimentaria de los productos hortícolas mínimamente procesados. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 8–18.
11. Artés-Hernández, F., Gómez, P. y Artés, F. Unit Processing Operations in the Fresh-Cut Horticultural Products Industry: Quality and Safety Preservation. Lima G. y Vianello F. (Eds.), *Food Quality , Safety and Technology* 189 (2013). Padua-Italia: Springer.
12. Ayala-Zavala, J. F. y González-Aguilar, G. A. (2011). Use of Additives to Preserve the Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. En Martín-Belloso O. y Soliva-Fortuny R. C. (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (1ra ed., p. 387). New York, USA: CRC PRESS.
13. Bachmann, J. y Earles, R. (2000). *Postharvest Handling of Fruits and Vegetables* (p. 19).
14. Baldwin, E. y Bai, J. (2011). Physiology of Fresh-cut Fruits and Vegetables. En Martín-belloso O. y Soliva-Fortuny R. C. (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (1ra ed., p. 402). Lleida, España: CRC Press.

15. Banco Central del Ecuador. (2014). Tasa de Interes. Recuperado de: <http://www.bce.fin.ec/index.php/tablaprueba>, Febrero, 2015
16. Barrett, D. M., Beaulieu, J. C. y Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–89.
17. Bastidas, R., Moscoso, N., Valencia-Chamorro, S. y Vasco, C. (2013). *Estado actual de la industria ecuatoriana de productos de IV gama* (p. 23). Quito, Ecuador.
18. Beaulieu, J. C. y Baldwin, E. A. (2002). Flavor and Aroma of Fresh-cut Fruits and Vegetables. En Olusola L. (Ed.), *Fresh - Cut Friuts and Vegetables Science, Technology and Market* (1ra ed., p. 452). Washitong D.C.: CRC PRESS.
19. Campas-Baypoli, O. N., Bueno-Solano, C., Martínez-Ibarra, D. M., Camacho-Gil, F., Villa-Lerma, A. G., Rodríguez-Núñez, J. R., y Sánchez-machado, D. I. (2009). en vegetales crucíferos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 95–100.
20. Cantos, E., Espín, J. C. y Tomás-Barberán, F. (2001). Effect of wounding on phenolic enzymes in six minimally processed lettuce cultivars upon storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 322–30.
21. Ciska, E., Karamaæ, M. y Kosińska, A. (2005). Antioxidant activity of extracts of white cabbage and sauerkraut. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14(4), 367–373.

22. Conte, A., Scrocco, C., Brescia, I., Mastromatteo, M. y Nobile, M. A. (2011). LWT - Food Science and Technology Shelf life of fresh-cut Cime di rapa (*Brassica rapa* L.) as affected by packaging. *LWT - Food Science and Technology*, 44(4), 1218–1225.
23. De-Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Plaza, L. y Cano, M. P. (2011). Nutritional and Health Aspects of Fresh-Cut Vegetables. En Martín-Belloso O. y Soliva-Fortuny R. C. (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (1ra ed., p. 384). New York, USA: CRC PRESS.
24. Dixon G. R. (2007). *Vegetable Brassicas and Related Cruciferes* (1ra ed., p. 339). Wallingford, Oxfordshire, GBR: CABI Publishing.
25. Djioua, T., Charles, F., Murillo, F., Filgueiras, H. y Sallanon, H. (2010). Original article Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 849–855.
26. Domínguez-Perles, R., Mena, P., García-Viguera, C. y Moreno, D. A. (2013). Brassica Foods as a Dietary Source of Vitamin C : A Review Brassica Foods as a Dietary Source of Vitamin C : A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1(1), 37–41.
27. Escarpa, y Gonzalez, M. C. (2001). An Overview of Analytical Chemistry of Phenolic Compounds in Foods. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 31(2), 57–139.
28. Escobar, A., Márquez, C., Restrepo, C. y Pérez, L. (2014). Aplicación de Tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias de Medellín*, 67(1), 7237–7245.

29. Folin, O. y Ciocalteu, V. (1927). On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(2), 627–650.
30. Food and Drug Administration United States Department of Agriculture (FDA/USDA). (1998). *Guidance for Industry Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables* (Vol. 20204, p. 41). Washington.
31. Food and Drug Administration United States Department of Agriculture (FDA/USDA). (2013). Alphabetical List of SCOGS Substances. Recuperado de: <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/SCOGS/ucm084104.htm> (marzo, 2014)
32. Francis, G., Gallone, A., Nychas, G. J., Sofos, J. N., Colelli, G., Amodio, M. L. y Spano, G. (2012). Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(7), 595–610.
33. Fuentes, F. E. y Perez, J. (2003). *Guia Técnica del Cultivo de Repollo* (1ra ed.). El Salvador: CENTA.
34. Gang, J., Luo, Y. y Gross, K. C. (2004). Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy. *Postharvest Biology and Technology*, 32, 99–107.
35. Garcia, E. y Barrett, D. M. (2002). Preservative Treatments for Fresh-cut Fruits and Vegetables. En Olusola L. (Ed.), *Fresh-Cut Fruits and Vegetables Science, Technology and Market* (1ra ed., p. 441). New York, USA: CRC Press.

36. Ghazala, S., Graham, D. M., Murrell, K. D. y Nip, W.-K. (2003). *Handbook of Preservation and Processing edited by. Ghazala S., Graham D. M., Murrell K. D. y Nip W.-K., (Eds.)* (1ra ed., p. 723). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
37. Ghosh, S. P. y Madhavi, D. L. (2004). Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. En Salunkhe. D.K. y Kadam. S.S. (Eds.), *La Col* (p. 739). Zaragoza, España: ACRIBIA, S.A.
38. Gil, M. I., Allende, A. y Selma, M. V. (2011). Treatments to ensure Safety of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. En Martín-Belloso O. y Soliva-Fortuny R. (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (1ra ed., p. 402). Lleida, España: CRC Press.
39. Gómez-López, V. M., Ragaert, P., Debevere, J. y Devlieghere, F. (2008). Decontamination methods to prolong the shelf-life of minimally processed vegetables, state-of-the-art. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(6), 487–95.
40. Gómez-López, V. M., Ragaert, P., Jeyachandran, V., Debevere, J. y Devlieghere, F. (2008). Shelf-life of minimally processed lettuce and cabbage treated with gaseous chlorine dioxide and cysteine. *International Journal of Food Microbiology*, 121(1), 74–83.
41. Gómez-López, V. M., Ragaert, P., Ryckeboer, J., Jeyachandran, V., Debevere, J. y Devlieghere, F. (2007). Shelf-life of minimally processed cabbage treated with neutral electrolysed oxidising water and stored under equilibrium modified atmosphere. *International Journal of Food Microbiology*, 117(1), 91–8.
42. Guía 3M. (1999). Interpretation Guide E. coli/Coliform Count Plate. Recuperado de:

- http://www.3m.com/intl/kr/microbiology/p_ecoli/use3.pdf (agosto, 2014)
43. Guía 3M. (2001). Interpretation Guide Aerobic Count Plate. Recuperado de: http://www.3m.com/intl/kr/microbiology/p_aerobic/use3.pdf (agosto, 2014)
44. Guía 3M. (2004). Interpretation Guide Yeast and Mould Count Plate. Recuperado de http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUm8mvOx_1ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS-- (agosto, 2014)
45. Gül, H., Yanik, A. y Acun, S. (2013). Effects of white cabbage powder on cookie quality. *Journal of Food, Agriculture and Environmental*, 11(1), 68–72.
46. Hansen, M. E., Sørensen, H. y Cantwell, M. (2001). Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 22(3), 227–237.
47. Hassimotto, N. M. A., Genovese, M. I. y Lajolo, F. M. (2005). Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables and comercial frozen fruit pulp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2928–2935.
48. He, Q. y Luo, Y. (2007). Enzymtic browning and its control in fresh-cut produce. *Stewart Postharvest Review*, 6(3), 1–7.
49. Hu, W., Jiang, A., Qi, H., Pang, K. y Fan, S. (2007). Effects of initial low oxygen and perforated film package on quality of fresh-cut cabbages, 87, 2019–2025.

50. Ibrahim, R., Osman, A., Saari, N. y Rahman, R. A. (2004). Effects of anti-browning treatments on the storage quality of minimally processed shredded cabbage. *Food, Agriculture & Environment*, 2(2), 54–58.
51. IFPA. (2014). Offering Global Expertise in Fresh-cut Produce. Recuperado de: <http://www.creativew.com/sites/ifpa/about.html> (agosto, 2014)
52. INEC. (2010). Proyecciones poblacionales. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
53. Ioannou, I. y Ghoul, M. (2013). Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *European Scientific Journal*, 9(30), 310–341.
54. James, J. B. y Ngarmsak, T. (2010). *Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A Technical Guide*. Bangkok-Thailand: FAO.
55. Jaramillo, J. E. y Díaz, C. A. (2006). *El Cultivo de las Crucíferas* (1ra ed., p. 176). Antioquia, Colombia: Litomadrid.
56. Javdani, Z., Ghasemnezhad, M. y Zare, S. (2013). A comparison of heat treatment and ascorbic acid on controlling enzymatic browning of fresh-cuts apple fruit. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(3), 186–193.
57. Kader, A. (2011). Postharvest Biology of Tropical and Subtropical. En Yahia E. M. (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (1st ed., p. 500). Nueva Delhi- India: Woodhead Publishing Limited.
58. Kim, D. O., Padilla-Zakour, O. I. y Griffiths, P. D. (2004). Flavonoids and antioxidant capacity of various cabbage genotypes at juvenile stage. *Journal of Food Science*, 69, 685–689.

59. Kim, J. G. (2012). Environmental Friendly Sanitation to Improve Quality and Microbial Safety of Fresh-Cut Vegetables. En Sammour R. (Ed.), *Bitechnology-Molecular Studies and Novel Applications for Improved Quality of Human Life* (p. 250). Suwon, Korea: In Tech.
60. Kramchote, S., Srilaong, V., Wongs-Aree, C. y Kalnlayanarat, S. (2012). Low temperature storage maintains postharvest quality of cabbage (*Brassica oleraceae* var . *capitata* L.) in supply chain. *International Food Research Journal*, 19(2), 759–763.
61. Laboissière, L. H. E. S., Deliza, R., Barros-Marcellini, M., Rosenthal, Camargo, L. M. Q. y Junqueira, R. G. (2007). Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on sensory characteristics of yellow passion fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(4), 469–477.
62. Llorach, R., Gil-Izquierdo, A., Ferreres, F. y Tomas-Barberan, F. A. (2003). HPLC-DAD-MS/MS ESI characterization of unusual highly glycosylated acylated flavonoids from cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) agroindustrial byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3895–3899.
63. Lobo, G. y González, M. (2007). *Estado actual de los productos mínimamente procesados en España* M. Gloria Lobo y Mónica González (pp. 1–7). Islas Canarias.
64. Lola-Luz, T., Hennequart, F. y Gaffney, M. (2013). Enhancement of phenolic and flavonoid compounds in cabbage (*Brassica oleraceae*) following application of commercial seaweed extracts of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science*, 22, 288–295.

65. Manolopoulou, E. y Varzakas, T. (2011). Effect of Storage Conditions on the Sensory Quality , Colour and Texture of Fresh-Cut Minimally Processed Cabbage with the Addition of Ascorbic Acid , Citric Acid and Calcium Chloride. *Internacional Journal of Agricultural and Food Research*, 2, 956–963.
66. Manolopoulou, E. y Varzakas, T. H. (2013). Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the Quality of “ Ready-To-Eat ” Shredded Cabbage. *Internacional Journal of Agricultural and Food Research*, 2(3), 30–43.
67. Manolopoulou, H., Lambrinos, G., Chatzis, E., Xanthopoulos, G. y Aravantinos, E. (2010). Effect of Temperature and Modified Atmosphere Packaging on Storage Quality of Fresh-Cut Romaine Lettuce. *Journal of Food Quality*, 33, 317–336.
68. Martínez, A., Lee, R., Chaparro, D. y Páramo, S. (2003). *Poscosecha y Mercadeo de Hortalizas de Clima Frio bajo Practicas de Producción Sostenible*. Elasco Rojas, (Ed.) (1ra ed., p. 210). Bogotá-Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jprge Tadeo Lozano.
69. Martínez, J. A., Chiesa, A., Tovar, F. y Artés, F. (2005). Respiration rate and ethylene production of fresh cut lettuce as affected by cutting grade. *Agricultural and Food Science*, 14, 354–361.
70. Montero-Calderón, M. y Cerdas-Araya, M. del M. (2011). Fruits and Vegetables for the Fresh-Cut Processing Industry. In Martín-belloso O. y Soliva-Fortuny R. C. (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (1ra ed., p. 387). New York, USA: CRC Press.

71. Moya, F. I. y Angulo, Y. B. (2001). *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Francisco Ibáñez Moya, (Ed.) (1ra ed., p. 180). Taylor & Francis.
72. Naphaporn, C. y Pornpen, M. (2009). Effects of Acetic Acid Pretreatment and Hot Air Drying on Resistance of Salmonella on Cabbage Slices Effects of Acetic Acid Pretreatment and Hot Air Drying on Resistance of Salmonella on Cabbage Slices. *Drying Technology: An International Journal*, 27(9), 955–961.
73. O'Connor-Shaw, R. (2004). Handbook of Preservation and Processing. En Ghazala S., Graham D. M., Hui Y. H., Murrell K. D. y Nip W.-K. (Eds.), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing* (1ra ed., p. 723). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
74. OMS. (2014). La FAO y la OMS presentan un informe de expertos sobre dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2003/pr32/es/>
75. Orjuela-Caicedo, O. y Galvis-Vanegas, J. A. (2012). Comportamiento de ácidos cítrico , ascórbico y málico en tomate frente a tres sistemas de conservación. *Avances Investigación en Ingeniería*, 9(1), 7–13.
76. Peñaherrera, L. y Zuñiga, R. (2006). *Diseño de una planta para la elaboración de Hortalizas Mínimamente Procesadas*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
77. Piagentini, M., Pirovani, M. E. y Güemes, D. R. (2004). Cinética De Deterioro de la Calidad de Repollo Fresco Cortado. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 4(3), 169–176.

78. Plestenjak, A., Hribar, J., Unuk, T. y Vidrih, R. (2008). Regulation of Metabolic Changes in Shredded Cabbage by Modified Atmosphere Packaging, *46*(4), 427–433.
79. Queiroz, C., Mendes Lopes, M. L., Fialho, E. y Valente-Mesquita, V. L. (2008). Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International*, *24*(4), 361–375.
80. Ragaert, P., Devlieghere, F. y Debevere, J. (2007). Role of microbiological and physiological spoilage mechanisms during storage of minimally processed vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, *44*, 185–194.
81. Ragaert, P., Jacxsens, L., Vandekinderen, I., Baert, L. y Devlieghere, F. (2011). Microbiological and Safety Aspects of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. En Martín-Belloso O. y Soliva-Fortuny R. C. (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (1st ed., p. 387). Lleida, España: CRC Press.
82. Rahman, S. M. E., Jin, Y.-G. y Oh, D.-H. (2010). Combined effects of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to control microorganisms on cabbage. *Journal of Food Science*, *75*(2), 111–115.
83. Ramos, B., Miller, F. a., Brandão, T. R. S., Teixeira, P. y Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and vegetables: An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *20*, 1–15.
84. Real Academia Española RAE. (2012). Biogeografía. Recuperado de: <http://lema.rae.es/drae/>. (Marzo, 2015)

85. Respondek, A. y Zvalo, V. (2008). *Cabbage: Vegetable crops production guide for Nova Scotia* (pp. 1–16). Nova Scotia.
86. Rico, D., Martín-Diana B., Barat, J. M. y Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 373–386.
87. Rivera, C., Alexander, J., Duarte, B., Estrella, L., Cuenca, N., Eduardo, C. y Amarilla, D. E. P. (2006). Catalasa, Peroxidasa y Polifenoloxidasa de pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). *Revista Colombiana de Química*, 35, 91–101.
88. Rosidah, G., Jitareerat, P., Uthairatanakij, A., Sri-laong, V. y Samphanvejsopha, S. (2010). Effect of Potassium Sorbate on Microbial Decontamination and Shelf Life of Fresh Cut Cabbage. *Agricultura Sci. J*, 41(3), 369–372.
89. Roura, S. I., Pereyra, L. y Del Valle, C. E. (2008). Phenylalanine ammonia lyase activity in fresh cut lettuce subjected to the combined action of heat mild shocks and chemical additives. *LWT - Food Science and Technology*, 41(5), 919–924.
90. Sakakibara, H., Honda, Y., Nakagawa, S., Ashida, H. y Kanazawa, K. (2003). Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 571–581.
91. Salveit, M. E. y Kader, A. A. (1997). *Postharvest Physiology and handling laboratory*. (p. 32). California, USA.
92. Sanz, S., Olarte, C., Ayala, F. y Echávarri, J. F. (2009). Evolution of quality characteristics of minimally processed asparagus during storage in

different lighting conditions. *Journal of Food Science*, 74(6), 296–302.

93. Seo, Y.-H., Jang, J.-H. y Moon, K.-D. (2010). Microbial evaluation of minimally processed vegetables and sprouts produced in Seoul, Korea. *Food Science and Biotechnology*, 19(5), 1283–1288.
94. Sgroppo, S. C. y Pereyra, M. V. (2009). Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1793–1801.
95. Siddiq, M., Harte, J. B., Beaudry, R. M., Dolan, K. D., Singh, S. P. y Saha, K. (2014). Physicochemical Properties of Whole Fruit and Sensory Quality of Fresh-Cut Apples Pre-Treated with 1-Methylcyclopropene (1-MCP). *International Journal of Food Properties*, 17(5), 1081–1092.
96. Siddiq, M., Roidoung, S., Sogi, D. S. y Dolan, K. D. (2013). Total phenolics, antioxidant properties and quality of fresh-cut onions (*Allium cepa* L.) treated with mild-heat. *Food Chemistry*, 136(2), 803–6.
97. Siddiqui, M. W., Chakraborty, I., Ayala-Zavala, J. F. y Dhua, R. S. (2011). Advances in minimal processing of fruits and vegetables: A Review. *JSIR*, 70, 823–834.
98. Silveira, A. C., Aguayo, E., Escalona, V. H. y Artés, F. (2011). Hot water treatment and peracetic acid to maintain fresh-cut Galia melon quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(4), 569–576.
99. Sivakumar, D. y Fallik, E. (2013). Influence of Heat Treatments on Quality Retention of Fresh and Fresh-Cut Produce. *Food Reviews International*, 29(3), 294–320.

100. Soliva-Fortuny, R. C. y Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14(9), 341–353. doi:10.1016/S0924-2244(03)00054-2
101. Steiner, A., Abreu, M., Correia, L., Beirão-da-Costa, S., Leitão, E., Beirão-Da-Costa, M. L. y Moldão-Martins, M. (2006). Metabolic response to combined mild heat pre-treatments and modified atmosphere packaging on fresh-cut peach. *European Food Research and Technology*, 222(3-4), 217–222.
102. Tanongkankit, Y., Naphaporn, C. y Sakamon, D. (2010). Effect of Processing on Antioxidants and Their Activity in Dietary Fiber Powder from Cabbage Outer Leaves. *Drying Technology: An International Journal*, 28(9), 1063–1071.
103. Thuwapanichayanan, R., Phowong, C., Jaisut, D. y Štencl, J. (2014). Effects of pretreatments and drying temperatures on drying characteristics, antioxidant properties and color of ginger slice. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 62(5), 1125–1134.
104. Toivonen, P. M. y Brummell, D. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1–14.
105. Toivonen, P. M. A. y DeEll, J. R. (2002). Physiology of Fresh-cut Fruits and Vegetables. En Lamikanra O. (Ed.), *Fresh-Cut Fruits and Vegetables Science, Technology and Market* (1ra ed., p. 421). New York, USA: CRC PRESS.

106. USDA. (2002). *Cabbage: Shipping Point and Market Inspection Instructions* (p. 28). USA.
107. Vaclavik, V. A. y Christian, E. W. (2002). *Fundamentos de la ciencia de los alimentos*. (ACRIBIA S. A., Ed.) (1ra ed., p. 485). Madrid, España: ACRIBIA, S.A.
108. Valero, D. y Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. Valero D. y Serrano M., (Eds.) (1ra ed., p. 217). New York, USA: CRC PRESS.
109. Vallejo, F., Tomas-Barberan, F. A. y Garcia-Viguera, C. (2003). Effect of climatic and sulphur fertilisation conditions, on phenolic compounds and vitamin C, in the inflorescences of eight broccoli cultivars. *European Food Research and Technology*, 216, 395–401.
110. Wang, C. Y. (2003). Storage Characteristics of Different categories of vegetables: Leafy, Floral, and Succulent Vegetables. En Bartz J. A. y Brecht J. K. (Eds.), *Postharvest Physiology and Patology of Vegetables* (2da ed., p. 712). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
111. Zeuthen, P. (2000). Safety criteria for minimally processed foods. En Ohlsson T. y Bengtsson N. (Eds.), *Minimal processing technologies in the food industry* (1ra ed., p. 282). Cambrige, Inglaterra.

ANEXOS

ANEXO I

CONDICIONES DE TRABAJO DEL EQUIPO DE ENSAYOS UNIVERSALES INSTRON

Tipo de prueba: compresión

Masa de la muestra (col rallada): 80 g

Velocidad de las cizallas: 100 mm/min

En la figura A. I.1 se observa la celda Kramer utilizada para medir a dureza del producto, en la cual se introdujo una cantidad de 80 g de col rallada.

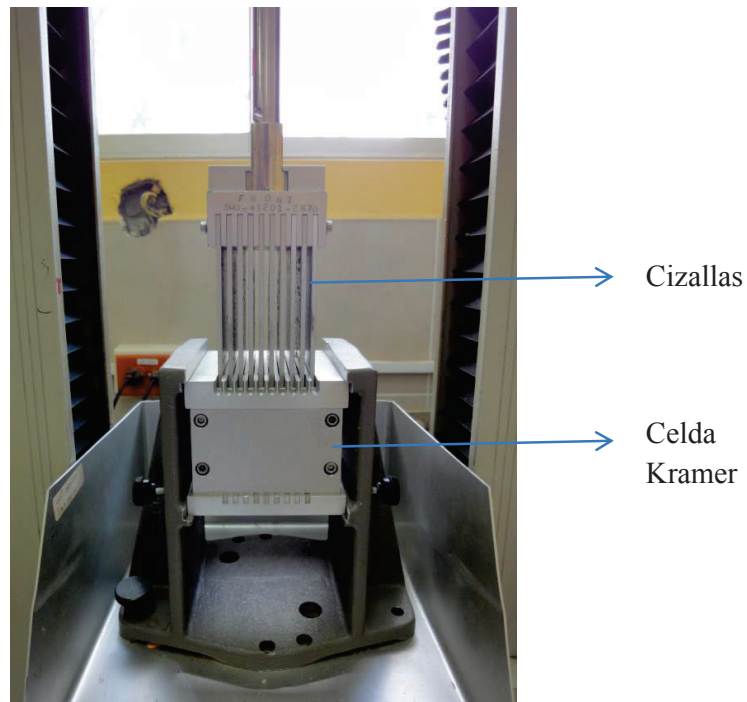


Figura A.I.1. Celda Kramer equipada con 10 cizallas.

ANEXO II

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES MEDIANTE EL REACTIVO DE FOLIN-CIICALTEU'S

Equipos

- Espectrofotómetro UV-VISIBLE RECORDING SPECTROPHOTOMETER UV – 160°, SHIMADZU
- Cronómetro
- Baño con temperatura controlada PRECISION Resiprocal Shaking Bath Model 25
- Agitador vórtex VORTEX MIXER VM – 300, GEMM INDUSTRIAL CORP.
- Agitadores magnéticos
- Ultra – turax ULTRA – TURRAX T50, JANKE y KUNKEL IKA Labotechnik

Reactivos

- Acetona (CH_3COCH_3): 70 % v/v (con agua destilada) (solución extractora)
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3): 75 g/L (con agua destilada)
- Ácido gálico ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$): 500 ppm (25 mg/50 mL) (con agua destilada)
- Folin-Ciocalteu's phenol (dilución 1/10 con agua destilada), se prepara al momento del análisis y se protege con papel aluminio
- Metanol grado HPLC

Preparación del estándar (ácido gálico) y curva de calibración

1. Para preparar la solución madre (500 ppm) se pesa 25 mg de ácido gálico, se disuelve con tres gotas de metanol y se afora a 50 mL con agua destilada. La curva de calibración se obtiene diluyendo esta solución madre entre 10 – 100 ppm. De cada dilución se toma 500 μL , se utiliza 500 μL de agua destilada como blanco y se procede a seguir el protocolo de Folin - Ciocalteu's descrito posteriormente
2. Se encera el espectrofotómetro con el blanco y se realiza la lectura de la absorbancia a 760 nm

3. Se pesa (0,2 g de muestra liofilizada, 3 g de pulpa o jugo pulposo, en el caso de jugo clarificado no se requiere extracción) en un erlenmeyer de 25 mL forrado con papel aluminio
4. Se añade (10 mL de solución extractora: acetona 70 % v/v en el caso de muestra liofilizada, o 7 mL de solución extractora: acetona pura en el caso de pulpa o jugo pulposo). Se tapa o se cubre con parafilm
5. Se lleva a agitación durante 10 min con un agitador magnético a 500 rpm
6. Se homogeniza la muestra utilizando un ultra – turax
7. Se agita durante 10 min con una pastilla magnética
8. Se filtra la solución con papel filtro (Whatman 41)
9. Se lava los residuos del Erlenmeyer con 2 mL de la solución extractora
10. Se agita 2 min con pastilla magnética
11. Se filtra en el mismo papel filtro Whatman 41, se recoge en el mismo recipiente y se anota el volumen. Se pasa el filtrado a botellas ámbar que ayuden a evitar el paso de la luz o a recipientes con tapa y con papel aluminio
12. Esta solución filtrada (extracto cetónico) es tratada de dos formas diferentes A y B
PARTE A: Dilución del extracto cetónico
 - Muestra liofilizada: se toma una alícuota total de 500 μ L: 25 μ L del extracto con 475 μ L de agua destilada en un tubo de ensayo. Esta proporción puede variar dependiendo de la muestra pero siempre debe tener un volumen final de 500 μ L.
 - Pulpa y jugo pulposo: se toma una alícuota total de 10 mL: 100 μ L de extracto con 9,9 mL de agua destilada. Esta proporción puede variar dependiendo de la muestra pero siempre debe tener un volumen final de 10 mL.
 - Jugo clarificado: se toma una alícuota de 100 μ L del jugo clarificado directamente (sin hacer extracción) con 9,9 mL de agua destilada. Esta proporción puede variar dependiendo de la muestra pero siempre debe tener un volumen final de 10 mL.
13. De esta dilución obtenida en el punto 12, se toma una alícuota de 500 μ L en un tubo de ensayo. Se utiliza como blanco acetona 70 % v/v diluida en la misma proporción que el extracto (ejemplo: 25 μ L de acetona 70 % v/v con 475 μ L de agua destilada para muestras liofilizadas) y se procede a seguir el protocolo de Folin - Ciocalteu's descrito posteriormente
14. Se encera el espectrofotómetro con blanco y se realiza la lectura de la absorbancia (Abs A) a 760 nm

PARTE B: Eliminación de vitamina C y azúcares reductores mediante cartuchos de separación OASIS HLB

Mediante los cartuchos se preparan los polifenoles de la vitamina C y azúcares reductores con propósito de eliminar la interferencia de estos con la cuantificación de polifenoles

Separación de polifenoles y vitamina C

15. Se diluye el extracto cetónico obtenido en el punto 12, tomando una alícuota de 500 μL de extracto con 3 500 μL de agua destilada: esta proporción puede variar dependiendo de la muestra pero siempre debe tener un volumen final de 4 mL
16. Se deposita 2 mL de esta dilución en el cartucho OASIS (previamente acondicionado) y se recoge en una probeta el volumen que pasa por gravedad
17. Se lava con 2 mL de agua destilada para recuperar la vitamina C y azúcares (material soluble en agua). Se recoge el filtrado en la misma probeta y se anota el volumen total recolectado. Dependiendo del contenido de vitamina C en la muestra se deberá hacer más de un lavado. En el cartucho solo se quedan retenidos los polifenoles.
18. De este filtrado se toma una alícuota de 500 μL , se utiliza 500 μL de agua destilada como blanco y se procede a seguir el protocolo de Folin - Ciocalteu's descrito posteriormente
19. Se encera el espectrofotómetro con el blanco y se realiza la lectura de la absorbancia (Abs B) 760 nm

Proceso REDOX: Protocolo del Folin - Ciocalteu's

Se debe considerar que a partir de este punto el blanco, os estándares (diluciones del ácido gálico), los extractos cetónicos y los filtrados deben recibir el mismo tratamiento.

20. Se toma una alícuota de 500 μL y se coloca en un tubo de ensayo
21. Se agrega 2,5 mL de solución Folin, se agita en el vortex y se deja en reposo por 2 min a temperatura ambiente
22. Se añade 2 mL de solución de carbonato de sodio, se agita en el vórtex y se coloca en un baño de agua a 50 $^{\circ}\text{C}$ por 15 min

23. Se enfría rápidamente el tubo en un baño de hielo. Desde aquí se tienen hasta 30 min para realizar la lectura
24. En el espectrofotómetro se lee la absorbancia de cada tubo a 760 nm, encerrando el equipo con el blanco respectivo

Acondicionamiento del cartucho OASIS, antes de usar

Se debe realizar 3 lavados por gravedad: 1 lavado con 3 mL de metanol puro, seguido de 2 lavados con 3 mL de agua destilada

Reacondicionamiento del cartucho OASIS, después de usar

Se debe realizar 6 lavados por gravedad: 4 lavados con 3 mL de metanol, seguido de 2 lavados con 2 mL de agua destilada. El cartucho solo puede ser reusado 5 veces

Nota: se realiza triplicados por cada muestra y duplicados por cada blanco. Si a muestra está muy concentrada y se obtienen valores de absorbancia fuera del rango del estándar, se varían los pasos iniciales o las diluciones según convenga.

CÁLCULO

La curva de calibración se obtiene graficando la concentración vs absorbancia de los estándares. Con la regresión lineal se interpolan los valores de absorbancia de las muestras y se obtiene la concentración.

De la regresión lineal $y = mx + b$

Dónde:

y = absorbancia de los estándares

x = concentración (mg/L de ácido gálico)

b = interceptó en el eje y

Por lo tanto:

$$C_n A = (y - b) / m * fd * V / P$$

$$C_n B = (y - b) / m * fd * V / P$$

Para muestras líquidas (Sin extracción):

$$C_n A = (y - b) / m * fd$$

$$C_n B = (y - b) / m * fd$$

Entonces:

$$C_n = C_n A - C_n B$$

Dónde:

C_n = concentración de polifenoles totales como equivalente de ácido gálico (mgAG/g de muestra)

fd = factor de dilución

V = volumen extrantante (L)

P = peso de la muestra (g)

ANEXO III



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA

EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL

Producto: Col mínimamente procesada

Nombre: **Fecha:**..... **Hora:**.....

Usted está recibiendo cuatro muestras para evaluar. La prueba es simple, consiste en valorar cada una de las muestras y señalar en la escala con una raya vertical la calificación, sobre dicha raya debe colocarse el correspondiente número de muestra.

APARIENCIA GENERAL:

Muy Seco

Muy Fresco



OLORES EXTRAÑOS:

Débil

Intenso



DUREZA:

Blando

Firme



PARDEAMIENTO:

Débil

Intenso



OBSERVACIONES:

.....

Gracias por su colaboración.

CT/SV

ANEXO IV

CONDICIONES DE TRABAJO DEL ANALIZADOR DE GASES POSTHARVEST RESEARCH

Volumen de muestra: 1 ml

Gas portador: Nitrógeno

Flujo de gas portador: 100 mL/min

Presión del gas portador: 15 psig

Para determinar atmósfera interna

Estándar de CO₂: 10 %

Rango del detector de CO₂: 2 %

Regulación del registrador

Rango del registro de CO₂: 10 V

A continuación se observa el analizador rápido de CO₂-O₂ utilizado para determinar la concentración de CO₂ en el interior de los empaques.



Figura A.IV.2. Analizador de rápido de gases Postharvest Research