

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO POSCOSECHA POR
IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA VIDA ÚTIL DE LA CEBOLLA
PERLA ECUATORIANA DE EXPORTACIÓN (*Allium cepa* L.)**

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

ERIKA TATIANA RUIZ RAMOS
erika.ruiz@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. FRANCISCO SALGADO, M.Sc.
francisco.salgado@epn.edu.ec

Quito, febrero 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Erika Tatiana Ruiz Ramos, 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.

Erika Tatiana Ruiz Ramos

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erika Tatiana Ruiz Ramos, bajo mi supervisión.

Ing. Francisco Salgado, M.Sc.

DIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del Proyecto Semilla PIS-14-45, “Estudio del efecto del tratamiento poscosecha por irradiación gamma en la vida útil de la cebolla perla ecuatoriana de exportación (*Allium cepa* L.)”, que se ejecutó en el Departamento de Ciencias Nucleares (DCN).

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, mi guía y fortaleza, por darme la vida y a mis seres queridos, por poner en mi camino a las personas perfectas en el momento justo.

Gracias a mis padres, Franco Ruiz y María Dolores Ramos por el apoyo incondicional, el amor, la comprensión y el inmenso sacrificio, que hicieron posible la culminación de mi carrera profesional. A Franco por acompañarme y cuidarme siempre, por su enorme ayuda en el desarrollo de este proyecto. A Diego y Dome, por alegrar mis días y por todo el cariño y amor.

A la Escuela Politécnica Nacional y al Departamento de Ciencias Nucleares por abrirme las puertas y brindarme el apoyo y el conocimiento necesario para la realización de este proyecto.

Al Ing. Francisco Salgado, Dra. Catalina Vasco, Ing. Jenny Ávila e Ing. Marco Sinche muchas gracias por la guía, el conocimiento compartido y por haberse dado el tiempo para la revisión y corrección del proyecto.

A Mary, Naty y Héctor, quienes con su amistad me motivaron a la culminación de este proyecto. Gracias por todos los momentos compartidos a lo largo de toda la carrera. Gracias a todas las personas que tuve la oportunidad de conocer y que estuvieron presentes en toda o una gran parte de la realización y desarrollo del proyecto, entre ellos: Belén, Ibeth, Pablo, Pato, Don Jorge, Edison, Paito y Eve.

A Edu, por el amor, la comprensión y el apoyo brindados. Por todo eso y mucho más, gracias amor.

Muchas gracias de corazón a todos ustedes por hacer de esta etapa una de las más importantes e inolvidables de mi vida.

DEDICATORIA

A Dios por su inmenso amor, fortaleza y todas las bendiciones que ha puesto en mi vida

A mi familia por estar siempre presentes y ser mi motivación y felicidad. A mis padres Franco y María y mis hermanos Franco, Diego y Dome.

A mis mejores amigos por alegrar mis días.

A Edu por su cariño y amor.

Esto es para y por ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
GLOSARIO	x
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Preservación de cebollas	1
1.1.1 Cebolla perla (<i>Allium cepa</i> L.)	1
1.1.1.1 Generalidades	1
1.1.1.2 Descripción botánica	1
1.1.1.3 Composición	2
1.1.1.4 Variedades	6
1.1.1.5 Usos	7
1.1.1.6 Condiciones del cultivo	8
1.1.1.7 Cosecha	9
1.1.1.8 Manejo poscosecha	10
1.1.1.9 Fisiología poscosecha	13
1.1.1.10 Producción	15
1.1.1.11 Exportación	16
1.1.2 Métodos de preservación	17
1.1.2.1 Curado	18
1.1.2.2 Hidrazida maleica	19
1.1.2.3 Etileno	19
1.1.2.4 1-Metil ciclopropeno	20
1.1.2.5 Altas o bajas temperaturas	20
1.2 Irradiación de alimentos	21
1.2.1 Ventajas y desventajas	22
1.2.2 Objetivos	22
1.2.3 Irradiación de bulbos	23
1.2.4 Irradiación en Ecuador	25
1.2.5 Regulaciones	25
2 PARTE EXPERIMENTAL	27
2.1 Materiales y equipos	27
2.2 Caracterización de la cebolla perla	28
2.2.1 Peso	28
2.2.2 Diámetro	28
2.2.3 Firmeza	28
2.2.4 Densidad	29
2.2.5 pH	29
2.2.6 Análisis bromatológicos	30

2.3	Determinación del efecto de la dosis de radiación gamma, curado y condiciones de almacenamiento en la calidad poscosecha de la cebolla perla ecuatoriana de exportación	30
2.3.1	Diseño experimental	30
2.3.2	Irradiación de muestras	31
2.3.3	Calidad poscosecha	32
2.3.3.1	Brotación externa	32
2.3.3.2	Brotación interna	32
2.3.3.3	Pudrición	33
2.3.3.4	Pérdida de peso	33
2.3.3.5	Firmeza	33
2.3.3.6	Pérdida de hojas secas	33
2.3.3.7	Apariencia general	34
2.3.3.8	Composición proximal	35
2.3.4	Análisis estadístico	35
2.4	Análisis sensorial	35
2.5	Evaluación de la factibilidad económica del proceso de irradiación	36
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1	Caracterización de la cebolla perla	38
3.2	Efecto de la dosis de radiación gamma, curado y condiciones de almacenamiento en la calidad poscosecha de la cebolla perla ecuatoriana de exportación	41
3.2.1	Condiciones de almacenamiento	41
3.2.2	Brotación externa	42
3.2.3	Brotación interna	47
3.2.4	Pudrición	49
3.2.5	Pérdida de peso	53
3.2.6	Firmeza	57
3.2.7	Pérdida de hojas secas	58
3.2.8	Apariencia general	59
3.2.9	Tiempo de vida útil	62
3.2.10	Composición proximal	64
3.3	Análisis sensorial	65
3.4	Evaluación de la factibilidad económica del proceso de irradiación de cebolla perla de exportación	67
3.4.1	Costo de producción	67
3.4.2	Gastos de administración y ventas	69
3.4.2.1	Requisitos de exportación	70
3.4.2.2	Transporte	71
3.4.2.3	Trámites aduaneros y tarifas arancelarias	71
3.4.3	Ingresos	72

3.4.4	Análisis costo-beneficio	72
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1	Conclusiones	74
4.2	Recomendaciones	75
	BIBLIOGRAFÍA	76
	ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Composición nutricional de cebolla de bulbo	3
Tabla 1.2.	Exportación de cebolla perla (<i>Allium cepa</i> L.) en el período 2011-2014	16
Tabla 1.3.	Dosis, efectos y aplicaciones de la irradiación en alimentos	23
Tabla 1.4.	Estudios sobre irradiación gamma de bulbos y tubérculos	24
Tabla 2.1.	Tiempos de irradiación de los sacos de cebolla perla de acuerdo a la dosis	31
Tabla 2.2.	Escala de valoración de apariencia general para la cebolla perla	34
Tabla 3.1.	Caracterización físico-química de los bulbos curados y no curados de cebolla perla (<i>Allium cepa</i> L.) variedad “Campo Lindo”	39
Tabla 3.2.	Clasificación de la cebolla perla según el diámetro ecuatorial	40
Tabla 3.3.	ANOVA del porcentaje de brotación externa de cebolla perla <i>Allium cepa</i> L. variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento	43
Tabla 3.4.	ANOVA del porcentaje de pudrición de cebolla perla <i>Allium cepa</i> L. variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento	50
Tabla 3.5.	ANOVA del porcentaje de pérdida de peso de cebolla perla <i>Allium cepa</i> L. variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento	54
Tabla 3.6.	Valoración de apariencia general de cebolla perla almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.)	60
Tabla 3.7.	Valoración de apariencia general de cebolla perla almacenada en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.)	61
Tabla 3.8.	Composición proximal de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no irradiada en el día 0 e irradiada con una dosis de 50 Gy en el día 180 de almacenamiento en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.)	64
Tabla 3.9.	Análisis estadístico de la prueba sensorial triangular de muestras de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada e irradiada con una dosis de 50 Gy en el día 0 y 30 de almacenamiento en condiciones ambientales	66
Tabla 3.10.	Costos directos e indirectos en dólares para la producción del cultivo de una hectárea de cebolla perla	68

Tabla 3.11.	Gastos de transporte interno y externo, trámite aduanero y tarifas arancelarias para la exportación de cebolla perla	70
Tabla 3.12.	Relación beneficio-costo de las alternativas de comercialización de cebolla perla a Estados Unidos y Brasil	73
Tabla AV.1.	Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) durante 180 días	96
Tabla AV.2.	Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) durante 180 días	97
Tabla AV.3.	Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) durante 180 días	98
Tabla AV.4.	Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) durante 180 días	99

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Esquema de un bulbo de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	2
Figura 1.2.	Formación de tiosulfatos mediante la ruptura celular en una cebolla	5
Figura 1.3.	Forma de los bulbos maduros. (1) plana (achatada); (2) plana esférica; (3) romboidal; (4) ovoide ancha; (5) esférica; (6) elíptica ancha; (7) ovalada (oval alargado); (8) a husillo; (9) punta alta	7
Figura 1.4.	Diagrama del cultivo de cebolla de bulbo	9
Figura 1.5.	Diagrama del proceso poscosecha de cebolla de bulbo	11
Figura 1.6.	Producción mundial de cebolla de bulbo	15
Figura 1.7.	Pudrición de bulbos producido por bacterias	18
Figura 1.8.	Símbolo internacional de irradiación de alimentos	26
Figura 2.1.	Ubicación de los sacos de cebolla perla en la cámara de irradiación	31
Figura 3.1.	Temperatura en el tiempo de almacenamiento	41
Figura 3.2.	Humedad en el tiempo de almacenamiento	42
Figura 3.3.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la brotación externa de cebolla perla almacenada hasta 180 días	43
Figura 3.4.	Interacción e intervalos LSD de los factores condiciones de almacenamiento y dosis de irradiación para la brotación externa de cebolla perla a los 180 días de almacenamiento	45
Figura 3.5.	Cebolla perla variedad “Campo Lindo” con brotes (izquierda) y pseudobrotes (derecha) en muestras control e irradiadas respectivamente	45
Figura 3.6.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor curado para la brotación externa de cebolla perla almacenada hasta 180 días	46
Figura 3.7.	Brotación externa de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada (C), irradiada con 50 Gy y almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R)	47

Figura 3.8.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la tasa de brote interno de cebolla perla variedad “Campo Lindo” almacenada hasta 180 días	48
Figura 3.9.	Brotación interna de cebolla curada (C) y no curada (NC) almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R) no irradiada (control) e irradiada	48
Figura 3.10.	Pardeamiento en el punto de crecimiento en bulbos irradiados y almacenados en condiciones ambientales (izquierda) y refrigeración (derecha) a los 180 días	49
Figura 3.11.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la pudrición de cebolla perla almacenada hasta 180 días	51
Figura 3.12.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor curado para la pudrición de cebolla perla almacenada hasta 180 días	51
Figura 3.13.	Casos de pudrición en catáfilas externas (A), en la base (B), en el cuello (C) y presencia de moho negro (D)	52
Figura 3.14.	Pudrición de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada (C) y no curada (NC), irradiada con una dosis de 50 Gy y almacenada en condiciones ambientales (CA)	53
Figura 3.15.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la pérdida de peso de cebolla perla almacenada hasta 180 días	54
Figura 3.16.	Interacción e intervalos LSD de los factores condiciones de almacenamiento y dosis de irradiación para la pérdida de peso de cebolla perla a los 180 días de almacenamiento	55
Figura 3.17.	Pérdida de peso de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada (C), irradiada con 50 Gy y almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R)	56
Figura 3.18.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor condiciones de almacenamiento para la firmeza de cebolla perla almacenada hasta 180 días	57
Figura 3.19.	Firmeza de cebolla perla almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R) durante 180 días	58
Figura 3.20.	Porcentaje de pérdida de hojas secas de cebolla perla no irradiada (control) e irradiada con 4 dosis durante 180 días de almacenamiento	59
Figura 3.21.	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la apariencia general de cebolla perla almacenada hasta 180 días	60

Figura 3.22.	Apariencia general de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no curada (NC), curada (C) y almacenada en refrigeración (R)	62
Figura 3.23.	Tiempo de vida útil de cebolla perla curada y almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R) con brotación externa menor a 10 % y pudrición menor a 2 %	63
Figura AI.1.	Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	89
Figura AI.2.	Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	89
Figura AI.3.	Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días	90
Figura AI.4.	Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días	90
Figura AII.1.	Pudrición de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	91
Figura AII.2.	Pudrición de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	91
Figura AIII.1.	Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	92
Figura AIII.2.	Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	92
Figura AIII.3.	Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días	93
Figura AIII.4.	Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días	93
Figura AIV.1.	Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	94
Figura AIV.2.	Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días	94
Figura AIV.3.	Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días	95
Figura AIV.4.	Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días	95

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Resultados de brotación externa	89
ANEXO II Resultados de pudrición	91
ANEXO III Resultados de pérdida de peso	92
ANEXO IV Resultados de apariencia general	94
ANEXO V Evolución de la apariencia cebolla perla variedad “Campo Lindo” en todos los tratamientos	96
ANEXO VI Hoja de datos de parámetros de calidad poscosecha	100
ANEXO VII Formato de evaluación de análisis sensorial	101

GLOSARIO

Ácido abscísico: Hormona vegetal que inhibe la división celular en las yemas lo cual provoca la suspensión del crecimiento (Campbell, Mitchell y Reece, 2001, p. 665).

Auxinas: Sustancias químicas que estimulan el alargamiento de las células del meristemo apical de los tallos (Campbell, Mitchell y Reece, 2001, p. 662).

Catáfilas: Hojas modificadas que forman la estructura del bulbo, se forman a partir de las vainas foliares que son gruesas y carnosas en el interior y delgadas y secas en el exterior (Bianco, Kraus y Vegetti, 2004, p. 42)

Citoquininas: Hormonas vegetales que estimulan la división celular. Están presentes principalmente en raíces, embriones y frutos en crecimiento (Campbell, Mitchell y Reece, 2001, p. 659).

Dormancia: Estado en el cual un tejido predispuesto a alargarse no lo hace debido a la acción de hormonas vegetales (Brewster, 2001, p. 168).

Giberelinas: Hormonas vegetales que estimulan el crecimiento de tallos y hojas y el desarrollo del fruto (Campbell, Mitchell y Reece, 2001, p. 675).

Inflorescencia: Estructura, por lo general de forma regular, en la cual las flores se disponen de manera agrupada o aislada (López, Arnelas, Rodríguez, De la Estrella, Martínez y Devesa, 2014, p. 144).

Limbo: Es la parte delgada, aplanada y expandida de la hoja con una superficie superior y otra inferior que puede presentar variaciones en el patrón de la venación, en los contornos y ápices dependiendo de las distintas especies (Bianco, Kraus y Vegetti, 2004, p. 12).

Pseudotallo: Tallo falso, erecto y carnoso formado por la agrupación de bases foliares (Vargas, 2011, p. 257).

Pungencia: Sensación de ardor que se percibe en la parte posterior de la boca y la garganta. Es un parámetro de tipificación varietal de las cebollas que se relaciona con su capacidad de acumular compuestos azufrados (Raigón, 2006, p. 49 y 50).

Tejido meristemático: Tejido de crecimiento exclusivo de los vegetales que se caracteriza por poseer células que mantienen su capacidad de división (Vargas, 2011, p. 164).

Umbela: Inflorescencia característica en la que la disposición de las flores forman una sombrilla (López, Arnelas, Rodríguez, De la Estrella, Martínez y Devesa, 2014, p. 146).

Vaina: Estructura en la base de la hoja que abraza al tallo y cubre uno o más entrenudos. Las vainas en el bulbo de cebolla son cilíndricas y totalmente cerradas (Bianco, Kraus y Vegetti, 2004, p. 15).

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se estudió el efecto de la radiación gamma, el curado "*in situ*" y las condiciones de almacenamiento sobre la calidad poscosecha de cebolla perla ecuatoriana de exportación (*Allium cepa* L.) variedad "Campo Lindo" proveniente de Manabí. Los bulbos de cebollas curadas y no curadas fueron irradiados con diferentes dosis de rayos gamma de la fuente de ^{60}Co (50, 100, 150 y 200 Gy) y almacenados en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) y condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) por 180 días.

Los resultados mostraron una reducción significativa de la pérdida de peso, brotación y pudrición de los bulbos irradiados en comparación con las muestras control. El tratamiento que permitió extender el tiempo de vida útil hasta 135 días con respecto a su control (75 días) fue la irradiación de bulbos curados con una dosis de 50 Gy, almacenados a 6 °C de temperatura y 70 % de humedad relativa. El análisis sensorial realizado mediante una prueba discriminativa triangular, demostró que no existieron diferencias significativas entre las muestras irradiadas con 50 Gy y su respectivo control. El análisis de factibilidad económica mediante la relación costo-beneficio demostró que el tratamiento de irradiación permite obtener mayores ganancias a través de la exportación a Brasil y Estados Unidos en comparación con la alternativa de inversión sin irradiación y venta local.

Se concluye que la irradiación gamma combinada con un correcto proceso de curado y almacenamiento a bajas temperaturas puede ser aplicado para reducir las pérdidas económicas y el uso de productos químicos inhibidores de la brotación al extender el tiempo de vida útil de la cebolla perla ecuatoriana de exportación.

INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es la segunda hortaliza de mayor consumo a nivel mundial (FAOSTAT, 2012). Debido a sus propiedades organolépticas, nutritivas y medicinales la cebolla presenta diversos usos en la cocina, industria y medicina (Suquilanda, 2003, p. 182; Vallejo, Pera y Carrasco, 2008, p. 3). Una de las características de la cebolla es la presencia de compuestos bioactivos como los fructooligosacáridos (FOS) y compuestos fenólicos que le otorgan propiedades funcionales (Benkeblia, Onodera y Shiomi, 2004, p. 379).

En Ecuador se produce la variedad de cebolla perla amarilla de día corto “Campo Lindo” en los cultivos de la Corporación de Productores de Cebolla ubicada en la provincia de Manabí, principal zona de producción de esta hortaliza. El cultivo de cebolla perla es estacional con una duración de 5 meses: desde los meses de junio y julio hasta su cosecha entre noviembre y diciembre (PROECUADOR, 2013b; Carrillo, Carvajal, Valarezo, Cañarte, Mendoza y Mendoza, 2010, p. 61).

La cebolla perla se exporta a Colombia y Venezuela por vía terrestre, en sacos de yute de 25 a 50 kg, que se disponen en camiones sin condiciones controladas de temperatura y humedad relativa. El único tratamiento poscosecha que se realiza para preservar los bulbos de cebolla es el curado “*in situ*”, que consiste en colocar las plantas en el campo formando hileras (acordonado), de tal manera que el follaje de unas cubra al bulbo de otras para evitar daño por sol durante 1 o 2 semanas. Este proceso de deshidratación permite formar las envolturas secas que funcionarán como barrera para la pérdida de agua, penetración de patógenos, daños físicos y pérdida de firmeza (Arbolea, Maeso, Campelo, Paullier y Giménez, 2013, p. 16).

Actualmente, Colombia, el principal destino de exportación, produce cebolla perla y en algunas ocasiones presenta sobreproducción. Por tal razón, en los últimos años se ha presentado una disminución de las exportaciones (BCE, 2015). Debido a la estacionalidad del cultivo y al reducido tiempo de vida útil (2-3 meses) no es posible el abastecimiento de cebolla durante todo el año, por lo que los productores se ven

obligados a vender su producto lo más rápido posible y en precios muy bajos que no cubren los costos de producción.

Las pérdidas poscosecha de cebolla de exportación se producen principalmente por la aparición de brotes, pudrición y pérdida de peso durante la manipulación, transporte y almacenamiento (Anbukkarasi, Paramaguru, Pugalendhi, Ragupathi y Jeyakumar, 2013, p. 256). Por esta razón, se utilizan productos como la hidrazida maleica, que es un inhibidor de la brotación, cuya aplicación se realiza en la precosecha pero su uso está restringido por la toxicidad (Rees, Farrell y Orchard, 2012, p. 368; Swietlinska y Zuk, 1978, p. 16).

Una de las alternativas propuestas es la aplicación de radiación gamma. Esta tecnología aplicada a bulbos y tubérculos con una dosis máxima de 200 Gy ha demostrado ser efectiva en la inhibición de la brotación, dependiendo de la variedad, el periodo entre la cosecha y el tratamiento y las condiciones de almacenamiento (Arvanitoyannis, 2010, p. 127).

Por lo tanto, el objetivo del presente proyecto fue evaluar el tratamiento de la cebolla con radiación gamma para evitar el apareamiento de brotes en los bulbos de cebolla perla y extender su vida útil por un tiempo que permita exportar el producto a mercados más lejanos y aumentar su disponibilidad durante todo el año.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PRESERVACIÓN DE CEBOLLAS

1.1.1 CEBOLLA PERLA (*Allium cepa* L.)

1.1.1.1 Generalidades

La cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) es una planta originaria de Asia Central pero cultivada en diferentes zonas templadas y subtropicales del mundo. Posee un aroma y sabor característicos por la presencia de compuestos azufrados (Lanzotti, 2006, p. 4; Randle y Hui, 1997, p. 209).

De acuerdo con Fritsch y Friesen (2002), la cebolla presenta la siguiente clasificación taxonómica (p. 6):

- Clase: *Liliopsida*
- Subclase: *Liliidae*
- Orden: *Amaryllidales*
- Familia: *Alliaceae*
- Género: *Allium*
- Especie: *A. cepa*

1.1.1.2 Descripción botánica

La cebolla posee un tallo en forma de disco que sostiene por la parte inferior raíces simples de color blanco y por la superior hojas envainadoras, alargadas y puntiagudas constituidas por un limbo y una vaina cilíndrica como se representa en el esquema de la figura 1.1 (Suquilanda, 2003, p. 179).

El bulbo constituye una estructura de reserva de sustancias nutritivas que sirven en el desarrollo de los brotes y está compuesto de hojas llamadas catáfilas (figura 1.1).

Las catáfilas son gruesas, carnosas y firmes en el interior. Las catáfilas externas son secas y delgadas y están constituidas por células muertas que actúan como una barrera a la difusión de vapor de agua y protegen al bulbo de daños mecánicos y ataque de hongos (Sánchez Pineda de las Infantas, 2004, p. 19).

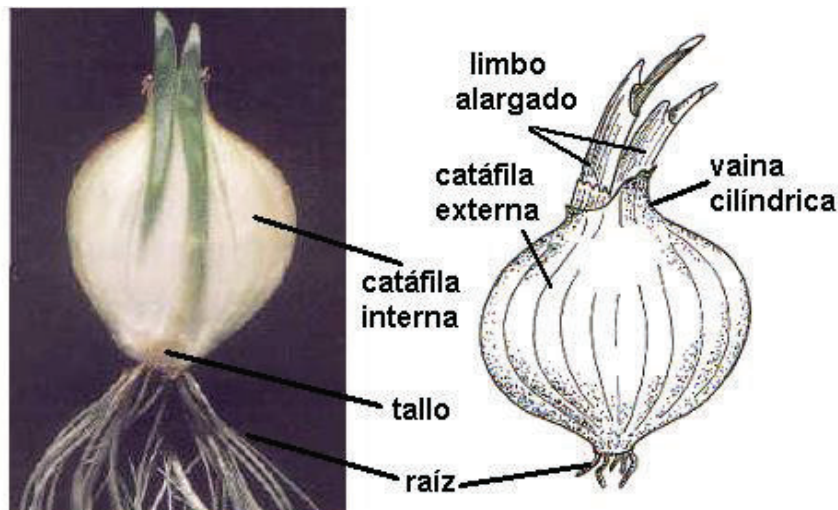


Figura 1.1. Esquema de un bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.)
(González, 2014)

El bulbo inicia con el engrosamiento de las vainas foliares debido a la expansión lateral de las células. Cuando se completa la madurez del bulbo las vainas externas se secan, forman pieles delgadas y los tejidos de la región del cuello pierden turgencia lo que provoca la caída de las hojas (Brewster, 2001, pp. 25 y 29).

Las flores (entre 50 y 2 000) están agrupadas en inflorescencias del tipo umbelas de color blanco. El fruto consiste en una cápsula de aproximadamente 5 mm de longitud que contiene a las semillas rugosas de color negro (Fritsch y Friesen, 2002, p. 20).

1.1.1.3 Composición

La cebolla posee sustancias nutritivas asociadas a otras hortalizas. La composición nutricional de 100 g de la parte comestible de cebolla de bulbo se encuentra en la tabla 1.1 (el rango de los componentes no corresponde a una variedad específica).

Su composición se ve afectada por la variedad, características físicoquímicas del suelo y condiciones del cultivo (Rodríguez, Tascón, Rodríguez y Díaz, 2009, p. 31).

Tabla 1.1. Composición nutricional de cebolla de bulbo

Compuesto	Cantidad
Humedad (g/100g)	86,3-92,9
Materia seca (g/100 g)	7-15
Proteína (g/100g)	0,8-1,4
Cenizas (g/100g)	0,3-0,8
Fibra cruda (g/100g)	0,4-1,8
Carbohidratos totales (g/100g)	5,9-11,3
Valor calórico (Kcal/100g)	26-49
Grasa (g/100g)	0,1-0,2
Vitamina C (mg/100 g)	3,7-10
Vitamina B6 (mg/100 g)	0,06-0,16
Niacina (mg/100 g)	0,12-0,3
Riboflavina (mg/100 g)	0,04-0,06
Tiamina (mg/100 g)	0,02-0,04
Calcio (mg/100 g)	20-100
Fósforo (mg/100 g)	17-40
Zinc (mg/100 g)	0,10-0,39
Hierro (mg/100 g)	0,2-1,2
Potasio (mg/100 g)	157-276
Sodio (mg/100 g)	10-16

(Reyes, Gómez-Sánchez, Espinoza, Bravo y Ganoza, 2009, p. 18; Menchú y Méndez, 2007, p. 33)

Los carbohidratos representan la mayor fracción de su composición después del agua. La pectina es un carbohidrato estructural presente en gran cantidad principalmente en las catáfilas secas o piel de la cebolla. Cerca de 80 % de la materia seca corresponde a carbohidratos no estructurales dentro de los cuales sobresalen los fructooligosacáridos (FOS) como los fructanos y monosacáridos como la glucosa, fructosa y sacarosa (Benkeblia, Onodera y Shiomi, 2004, p. 379).

La cebolla es una de las fuentes más abundantes de fructanos, un tipo de carbohidrato no digerible que actúa como prebiótico, es decir, protege la flora intestinal mediante la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos (Roberfroid y Delzenne, 1998, p. 120).

Entre los principales compuestos no volátiles presentes en la cebolla están las saponinas y compuestos fenólicos (Lanzotti, 2006, p. 6). Las saponinas (glicósidos con agliconas triterpenoides o esteroidales) son metabolitos secundarios que poseen actividad antimicrobiana, antitumoral y antiespasmódica (Lanzotti, 2006, p. 11). Mediante la hidrólisis de las saponinas se han encontrado las siguientes saponinas (agliconas): sitosterol, gitogenina, ácido oleanólico, amirina y diosgenina (Lanzotti, Romano, Lanzuise, Bonanomi y Scala, 2012, p. 133).

La cebolla contiene altos niveles de compuestos antioxidantes específicamente flavonoides (Boots, Haenen y Bast, 2008, p. 326). De este grupo los flavonoles glucósidos como la quercetina (quercetina 3,4´diglucósido y 4´glucósido) están presentes en mayor cantidad y su importancia se debe a sus efectos benéficos en el tratamiento de enfermedades como alergias, osteoporosis, ciertos tipos de cáncer, problemas respiratorios y cardiovasculares (Machavarapu, Sindiri y Vangalapati, 2013, p. 3125). Las variedades rojas poseen una actividad antioxidante superior a cebollas blancas y amarillas debido a la presencia de antocianinas (Rodrigues, Pérez-Gregorio, García-Falcón y Simal-Gándara, 2009, p. 1 331; Lee, Patil y Yoo, 2015, p. 108).

El sabor y olor característicos de la cebolla se producen cuando se rompe su estructura celular y se liberan compuestos azufrados que incluyen los precursores del aroma y sabor (Zhang, Wu y Li, 2006, p. 322). Estos precursores son aminoácidos no proteícos que carecen de olor conocidos como sulfóxidos de S-alqu(en)il cisteína (ACSOs). Los ACSOs presentes en el citoplasma de las células reaccionan bajo la acción de la enzima alinasa ubicada en las vacuolas para liberar ácidos sulfénicos, amoníaco y piruvato como se presentan en las rutas de reacción de la figura 1.2. Por esta razón los bulbos hervidos enteros sin un previo daño tisular carecen de aroma y sabor (Lanzotti, 2006, p. 4). La cantidad de piruvato permite

clasificar a la cebolla por su grado de pungencia. Por ejemplo, valores superiores a 9 $\mu\text{mol/g}$ clasifican a la cebolla como extremadamente pungente (Abrameto, Pozzo, Gil, y Molina, 2010, p. 124).

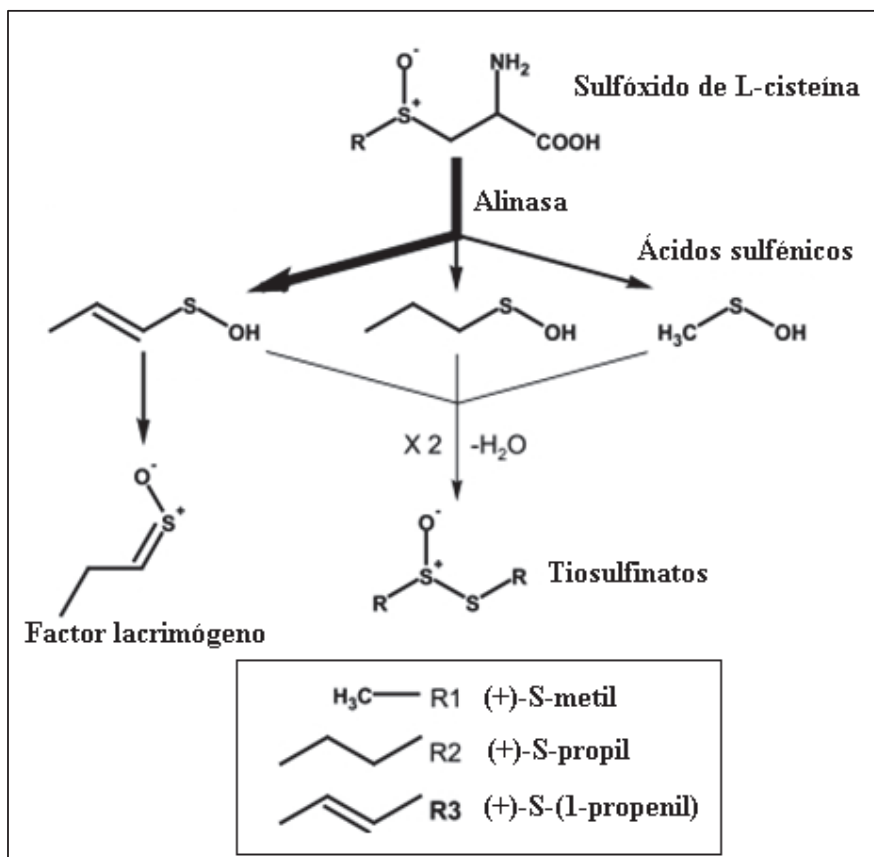


Figura 1.2. Formación de tiosulfinatos mediante la ruptura celular en una cebolla (Eady et al., 2008, p. 2 097)

Los ácidos sulfénicos son muy reactivos y se reordenan espontáneamente para producir una gama de compuestos volátiles de olor fuerte como tiosulfinatos, tiosulfonatos, monosulfuros, disulfuros y trisulfuros (Brewster, 2001, p. 221). Por ejemplo el ácido 1-propenil sulfénico se reordena para formar el factor lacrimógeno, el tiopropanal S-óxido.

El procesamiento de la cebolla (temperatura y duración de los procesos) determina la composición y espectro de los volátiles responsables del aroma y sabor característicos (Brewster, 2001, p. 227).

1.1.1.4 Variedades

Existen diversos criterios para la clasificación de las cebollas. Por la variabilidad genética se pueden diferenciar diversos cultivares de cebolla caracterizados por su fotoperiodo, tamaño, color, forma y grado de pungencia (Mallor, 2006, pp. 12-19).

La clasificación más común de las cebollas se la realiza según el fotoperiodo, es decir, el tiempo mínimo requerido de luz para que se produzca la bulbificación. De esta manera las cebollas pueden ser de día largo (más de 14 h de luz), día intermedio (13 a 14 h de luz) y día corto (de 12 a 13 h de luz) (Suquilanda, 2003, p. 180).

El tamaño o calibre se caracteriza en base al diámetro ecuatorial y depende principalmente de la variedad, pero puede ser afectado por factores como la fertilización, condiciones climáticas y el manejo del cultivo (Viloria, Arteaga, Diaz y Delgado, 2003, p. 131).

De acuerdo con el color de la catáfila externa las cebollas se clasifican en amarillas, blancas o rojas. La forma característica de un bulbo se puede determinar con los descriptores presentados en la figura 1.3.

Según el contenido de ácido pirúvico (μmol de ácido pirúvico/g de peso fresco) el grado de pungencia de las cebollas puede ser: bajo (0-3), medio (3-7) o alto (>7). Generalmente las cebollas de variedades moradas presentan una mayor pungencia que las amarillas y blancas (Yoo, Pike, Crosby, Jones y Leskovar, 2006, p. 149).

Las condiciones climáticas en Ecuador permiten el cultivo de variedades de cebolla perla (color amarillo) de ciclo corto y forma aglobada como: Híbrido Lara, Pegasos, Yellow Granex, Don Víctor, Linda Vista, 436, Texas 438, Fiesta, Nikita, y Campo Lindo (INIAP, 2008, p. 2; Carrillo et al., 2010, p. 61).

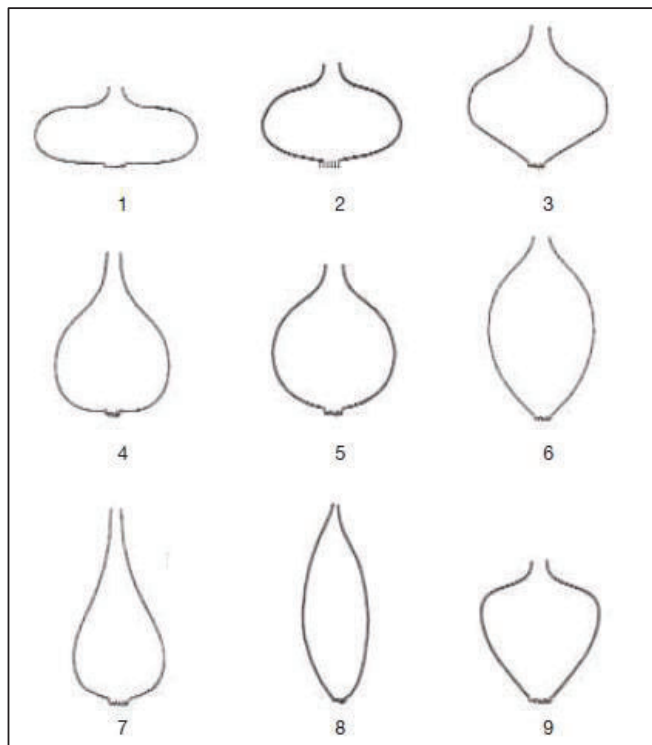


Figura 1.3. Forma de los bulbos maduros. (1) plana (achatada); (2) plana esférica; (3) romboidal; (4) ovoide ancha; (5) esférica; (6) elíptica ancha; (7) ovalada (oval alargado); (8) a husillo; (9) punta alta (IPGRI, 2001, p. 20)

La Corporación de Productores de Cebolla Perla cultiva la variedad “Campo Lindo”, un tipo de cebolla de ciclo corto y color amarillo que puede alcanzar rendimientos de hasta 36 t/ha (Marcía, 2009, p. 6).

1.1.1.5 Usos

La cebolla perla presenta múltiples usos debido a sus propiedades organolépticas, nutritivas y medicinales. En la cocina popular, la cebolla se utiliza, en fresco, para la elaboración de sopas, ensaladas, encurtidos y hamburguesas. En la industria alimentaria el aceite esencial concentrado o la cebolla deshidratada se usa para conferir sabor y olor a alimentos procesados y en la fabricación de condimentos (Suquilanda, 2003, p. 182). Las propiedades antimicrobianas y antioxidantes del aceite esencial de cebolla lo hacen apto para su uso como preservante de alimentos (Ye, Dai y Hu, 2013, p. 52). En medicina la cebolla es conocida por sus efectos

benéficos en el tratamiento de problemas digestivos y afecciones respiratorias, cáncer y diabetes debido a la presencia de compuestos fenólicos (Muñoz y Ramos, 2007, p. 23; Vallejo, Pera y Carrasco, 2008, p. 3).

1.1.1.6 Condiciones del cultivo

Las condiciones climáticas óptimas para el cultivo de cebolla son: temperaturas entre 20 °C y 30 °C, precipitación en el rango de 800 a 1 200 mm por año y altitud desde el nivel del mar hasta 2 200 m (INIAP, 2008, p. 1). El fotoperiodo (número de horas luz) necesario para que se produzca la bulbificación está en un rango de 12 a 15 horas por día dependiendo de la variedad.

Las condiciones edafológicas óptimas comprenden suelos franco-arenosos, profundos, ricos en materia orgánica, cálidos, soleados, con una pendiente máxima del 12 % y con buen drenaje debido a que es un cultivo sensible al exceso de humedad. El pH óptimo del suelo está entre 6 y 7 (Suquilanda, 2003, pp. 184).

Las etapas del cultivo de cebolla se muestran en el diagrama de la figura 1.4. La preparación del terreno comprende el arado, rastrada, nivelada, elaboración de drenajes, formación de surcos y desinfección. La siembra puede ser directa o mediante trasplante con la preparación previa de semilleros. Las labores culturales de mantenimiento del cultivo son la fertilización, los riegos, las deshierbas y el control de plagas y enfermedades (Suquilanda, 2003, 185-192).

La fertilización se realiza luego de un análisis del suelo de acuerdo con el requerimiento del cultivo. Lardizabal (2007), recomienda una fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) en cantidades de 144, 134 y 223 kg/ha respectivamente para obtener un buen rendimiento (p. 11). El cultivo de cebolla requiere entre 300 y 400 mm de agua durante el ciclo y su aplicación debe realizarse en intervalos de 2 a 3 días de acuerdo a las condiciones climáticas (INIAP, 2008).

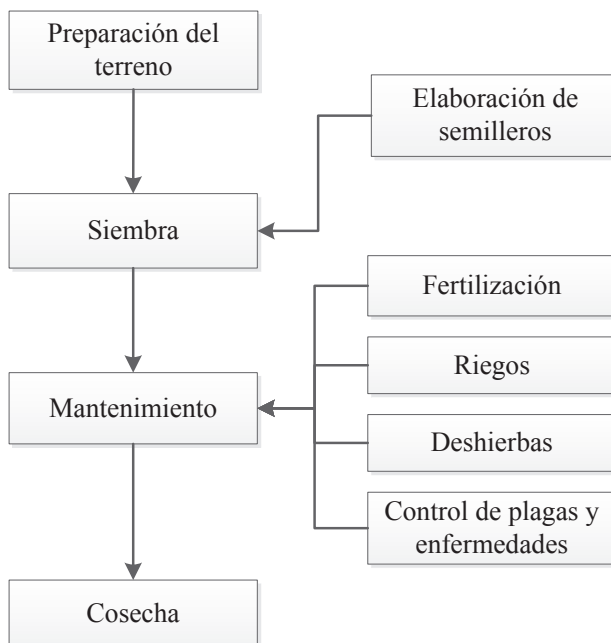


Figura 1.4. Diagrama del cultivo de cebolla de bulbo

El control de plagas y enfermedades se logra con la aplicación preventiva de productos químicos y buenas prácticas agrícolas. Las enfermedades y plagas que atacan el cultivo de cebolla son principalmente: el mildiu, pudrición blanca y pudrición del cuello provocadas por *Peronospora destructor*, *Sclerotium cepivorum* y *Botrytis* spp. respectivamente; los trips (*Thrips tabaci*) y nemátodos (*Dytolenchus dipsaci*) que provocan marchitamiento foliar y pudrición de bulbos (INIAP, 2008).

1.1.1.7 Cosecha

La cosecha puede ser manual o mecánica. Generalmente se realiza la cosecha manual, proceso que consiste en extraer la planta entera mediante el tirado de las hojas. Se recomienda que el suelo esté seco para evitar que los bulbos se manchen. El rendimiento promedio de un cultivo de cebolla está entre 30 a 45 t/ha (INIAP, 2008, p. 2). El índice de cosecha de cebollas destinadas a la producción de bulbos secos se determina por el estado de las hojas cuando el 50-60 % de las plantas presentan hojas amarillas secas y dobladas a la altura del cuello del bulbo (Carrillo et al., 2010, p. 68).

La cosecha se realiza después de la siembra, de 100 a 140 días dependiendo de la variedad. Una cosecha temprana puede provocar el crecimiento de hojas debido a que no se ha producido aún la síntesis de inhibidores de la brotación, además pueden aparecer problemas en el secado del bulbo y en el rendimiento. Una cosecha tardía implica daños como quemaduras por el sol y pérdida de las catáfilas externas (Opara, 2003, p. 7).

En la provincia de Manabí, el cultivo de cebolla perla inicia en junio-julio y finaliza en noviembre-diciembre para aprovechar el período seco de la región, por lo tanto su comercialización se realiza entre los meses de noviembre a enero (PROECUADOR, 2013a, p. 29).

1.1.1.8 Manejo poscosecha

Los procesos involucrados en el manejo poscosecha se presentan en la figura 1.5. Luego de la cosecha se realiza el descolado manual o mecánico que consiste en eliminar raíces y tierra adherida. Posteriormente, según el requerimiento del mercado, se realiza el curado para almacenar y extender el tiempo de vida útil de las cebollas (Carballo, 2005, p. 30).

El curado es un proceso físico de deshidratación, en el cual las capas externas del bulbo se secan para conformar una envoltura que funciona como barrera para la pérdida de agua, penetración de patógenos, daños físicos y pérdida de firmeza (Arboleya et al., 2013, p. 16). El curado “*in situ*” es un proceso que consiste en colocar las plantas en hileras de tal manera que el follaje de unas cubra al bulbo de otras para evitar daño por sol durante una o dos semanas (Carballo, 2005, p. 30).

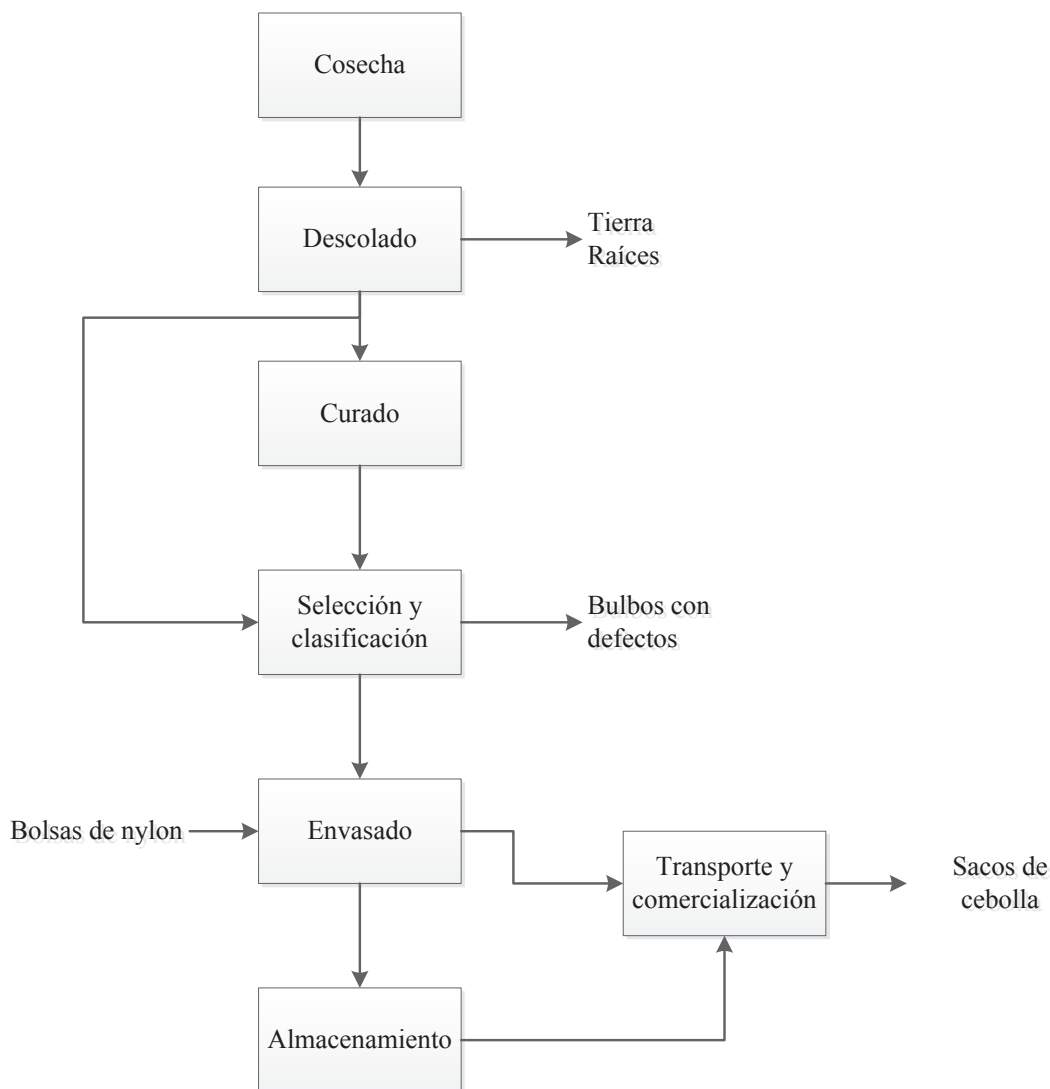


Figura 1.5. Diagrama del proceso poscosecha de cebolla de bulbo

Luego del curado se realiza el corte del follaje para evitar pérdidas por transpiración y pudrición. El corte se lo realiza en forma manual con tijera o cuchillo sin dañar el bulbo para evitar el daño por bacterias y hongos. El tamaño de pseudotallo debe ser entre 1 cm y 5 cm (INEN, 2012, p. 3).

Los bulbos de cebolla perla se clasifican de acuerdo al tamaño de su diámetro ecuatorial según la legislación de cada país (INEN, 2012, p. 2; ICONTEC, 1994, p. 3; COVENIN, 2000, p. 6; USDA, 2010, p. 492). Para el mercado local y de Colombia generalmente se demandan bulbos de categoría medium, con diámetro ecuatorial entre 50,8 y 82,6 mm; mientras que para el mercado de Estados Unidos son

preferidos los bulbos con diámetros mayores a 76,2 mm que corresponden a la categoría jumbo y colosal (Suquilanda, 2003, p. 201; Saavedra, Vallecillo y Rodríguez, 2004, p. 26).

Los requisitos generales de calidad de la cebolla de bulbo son los siguientes (INEN, 2012; PROECUADOR, 2013; IICA, 2006):

- Presentar características similares de acuerdo a la variedad
- Estar enteras y cubiertas completamente por catáfilas secas
- Tener aspecto fresco y consistencia firme, no suaves ni esponjosas
- Tener forma globosa, achatada o trompo
- Estar sanas sin daños o manchas causadas por heladas
- Estar libres de manchas, humedad exterior y olores extraños
- Presentar un desarrollo o condición que permita soportar el transporte y el manejo hasta la llegada al consumidor final
- Tener un largo del pseudotallo (preferiblemente cerrado) entre 1 y 4 cm de longitud (máximo 2 cm y 4 cm para el mercado brasileño y estadounidense, respectivamente).

Los defectos graves que se pueden presentar en un lote de cebolla de bulbo son:

- Tallo grueso más del 20 %
- Brotación mayor al 10 %
- Pudrición mayor a 2 %
- Daños o heridas, magulladuras por golpes que afecten más del 5% de la superficie
- Moho gris hasta el 5 %

Otro requisito para la exportación de cebolla a Estados Unidos es el cumplimiento con los límites máximos de residuos químicos establecido por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) (EPA, 2014).

Los bulbos de cebolla seleccionados y clasificados son envasados en cajas o sacos de nylon con capacidades entre 45 a 50 Kg, según el requerimiento del mercado

(Carrillo et al., 2010, p. 69). Los envases deben ser lo suficientemente fuertes para soportar el peso de los bulbos durante el transporte y almacenamiento, proporcionar una ventilación adecuada y contener la información necesaria a través del rotulado (Opara, 2003, p. 8).

En los mercados populares locales, la cebolla se expende a granel (por libras) mientras que en los supermercados se utilizan redecillas o bandejas con pesos entre 1 y 2 kg. En el mercado estadounidense, los bulbos se empaquetan en mallas o cajas de cartón con una capacidad de 40 libras (18,5 kg) (Suquilanda, 2003, p. 201). En Brasil se utilizan bolsas o cajas que contengan hasta 25 kg (PROECUADOR, 2013b).

La información en el rotulado debe incluir: el nombre del producto, variedad, calibre, peso neto, categoría, nombre y dirección del exportador, envasador e importador, país de origen y fecha de envasado (ICONTEC, 1994, p. 5; PROECUADOR, 2013b, p. 12).

Los bulbos de cebolla envasados y rotulados son almacenados en un cuarto con una adecuada ventilación hasta su transporte y comercialización. Las condiciones óptimas de almacenamiento son temperaturas entre 0 y 1 °C y humedad relativa entre 65 a 75 % (Cantwell, 2001, p. 1; Arboleya et al., 2013, p. 17; Bachmann y Earles, 2000, p. 13).

El transporte debe realizarse en camiones limpios, secos, ventilados, cubiertos y de fácil limpieza para garantizar la conservación del producto (PROECUADOR, 2013, p. 12).

1.1.1.9 Fisiología poscosecha

En el almacenamiento se desencadena una serie de procesos bioquímicos y fisiológicos como: la degradación de compuestos orgánicos, síntesis de clorofila, división y elongación celular, brotación, pérdida de agua y senescencia. El efecto

de estos procesos va a depender de factores antes, durante y después de la cosecha. Dentro de dichos factores se encuentran: las condiciones climáticas, las prácticas agrícolas, el método de cosecha, el estado de madurez, el almacenamiento (humedad y temperatura), circulación de aire, niveles de etileno, O₂ y CO₂, entre otros (Abrameto et al., 2010, p. 124).

La cebolla es considerada como no climatérica con una baja producción de etileno menor a 0,1 µL/Kg.h de 0 - 5 °C (Downes, Chope y Terry, 2010, p. 36; Suslow, 2013). Una de las características en la fisiología de la cebolla es la dormancia, un estado en la época de cosecha (cuando se ha alcanzado la madurez) en el cual el crecimiento es temporalmente suspendido o minimizado y puede durar entre días a varios meses según la variedad y condiciones de almacenamiento (luz, temperatura y humedad). En esta etapa, sustancias inhibidoras del crecimiento se trasladan desde las hojas hacia el bulbo, lo cual origina una disminución en la división celular y la actividad metabólica (Brewster, 2001. p. 166).

La tasa de respiración de los bulbos en estado de dormancia presentan bajos valores, entre 3-4 mL/kg.h (0 - 5°C), lo cual favorece su conservación (Rees, Farrell y Orchard, 2012, p. 366; Suslow, 2013). Los bulbos sin sus catáfilas externas secas presentan tasas de respiración altas y un incremento en la pérdida de agua. Por esta razón, variedades con un alto contenido de materia seca, alto grado de pungencia y con pieles gruesas presentan un mayor potencial de almacenamiento (Brewster, 2001, p. 167).

La dormancia y brotación son procesos mediados por hormonas endógenas como las auxinas, giberelinas, citoquininas e inhibidores del crecimiento como el ácido abscísico (Thomas y Diehl, 2009, p. 97). Las condiciones de temperatura óptimas para que se produzca la brotación están en el rango de 10 y 20 °C (Arboleya et al., 2013, p. 16). La dormancia termina con el crecimiento del brote interno pero la calidad de la cebolla de bulbo es afectada cuando el brote es visible y sobresale 5 mm de la última catáfila (INEN, 2012, p. 1).

1.1.1.10 Producción

La cebolla de bulbo es la segunda hortaliza de mayor consumo a nivel mundial después del tomate (FAOSTAT, 2013). Anualmente, se cosechan cerca de 4,4 millones de hectáreas de cebolla seca con una producción de 85 millones de toneladas. En la figura 1.6 se presenta la distribución de la producción de cebolla a nivel mundial. China e India, principales productores de cebolla de bulbo, producen aproximadamente 22,3 y 19,3 millones de toneladas al año, respectivamente (FAOSTAT, 2013).

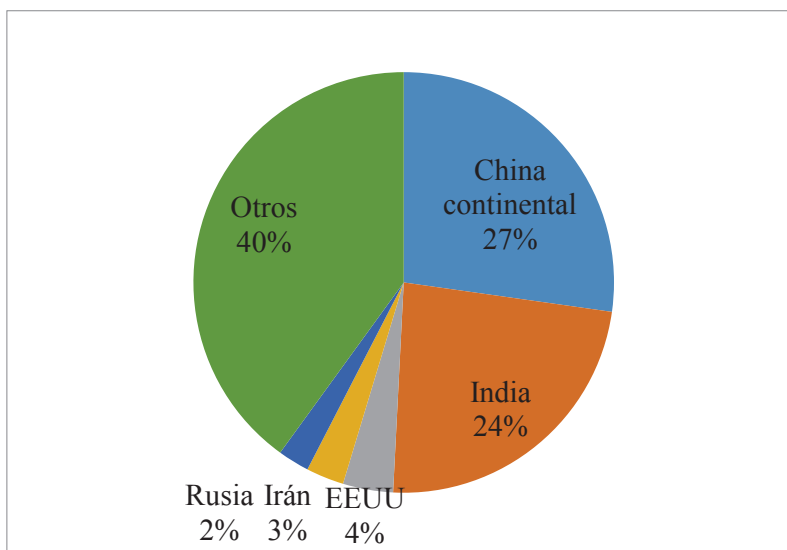


Figura 1.6. Producción mundial de cebolla de bulbo (FAOSTAT, 2013)

La cebolla perla ecuatoriana se cosecha en una superficie de 707 ha, con una producción de 9 391 t (SINAGAP, 2012). La península de Santa Elena, Manabí y los valles de la Sierra reúnen las condiciones climáticas y edafológicas óptimas para el cultivo por ello son las principales zonas de producción (PROEcuador, 2013b). La provincia de Manabí lidera la producción de cebolla perla con un área de siembra de aproximadamente 496 ha y un rendimiento promedio de 30 t/ha (Carrillo et al., 2010, p. 61).

La producción nacional de cebolla perla no abastece el mercado interno y se requiere de la importación principalmente de Chile y Perú. Entre los años 2010 y

2014 se importaron alrededor de 670 t, de las cuales el 72 % provinieron de Chile. En 2014, Perú cubrió el 100 % de las importaciones con un total de 118,83 t (BCE, 2014).

1.1.1.11 Exportación

En los últimos 4 años, el mercado de exportación de la cebolla perla se encuentra principalmente en Colombia, que es intermediario para Venezuela, y en menor cantidad en las Antillas Holandesas como indican los valores de exportación de cebolla perla en el periodo 2011 - 2014 mostrado en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Exportación de cebolla perla (*Allium cepa* L.) en el período 2011 - 2014

Año	Colombia		Antillas Holandesas	
	Toneladas	FOB (miles de dólares)	Toneladas	FOB (miles de dólares)
2011	22 152,75	3 035,77	0,08	0,33
2012	17 642,57	1 656,03	0,04	0,13
2013	18 941,72	1 864,74	0,94	1,07
2014	13 217,38	2 073,02	0,03	0,07

(BCE, 2015)

La cantidad exportada ha decrecido paulatinamente en los últimos años, debido, principalmente, al incremento en la producción de cebolla perla en Colombia con sobreproducción en ciertas épocas, lo que ha provocado la disminución del precio del saco de cebolla y pérdidas económicas para los productores.

Estados Unidos es el mayor importador de cebollas y chalotes con una participación del 13 % a nivel mundial. México y Perú son los principales proveedores de cebolla para este país con el 64 y 18 % de participación, respectivamente (Centro de Comercio Internacional, 2014). En 2014, Estados Unidos importó 706 000 dólares de cebolla perla. La demanda de cebolla amarilla se da en el periodo febrero-abril, tiempo en el que no hay producción local en este país (Saavedra et al., 2004, p. 27; IICA, 2006).

Brasil es el mayor productor e importador de cebolla perla en Latinoamérica. Debido a las épocas de desabastecimiento es un potencial mercado de exportación, especialmente en los meses de marzo a julio (PROECUADOR, 2013b).

En agosto de 2013, Ecuador recibió la aprobación de este país para la importación de cebolla perla, sin aranceles, por cualquier puerto o vía terrestre (PROECUADOR, 2013b). El principal competidor en este mercado es Argentina, con una participación del 74,29 % en las importaciones (Centro de Comercio Internacional, 2014).

1.1.2 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN

El cultivo de cebolla es estacional por ello, su abastecimiento a lo largo del año está limitado por la pérdida de calidad poscosecha. Una consecuencia de este problema es la sobreoferta y con ello la disminución del precio por saco. En climas tropicales las pérdidas poscosecha de cebolla pueden alcanzar valores entre 40 y 60 %, principalmente por disminución fisiológica del peso (20 - 25 %), brotación (4 y 5 %) y pudrición (10 - 12 %) (Anbukkarasi, Paramaguru, Pugalendhi, Ragupathi y Jeyakumar, 2013, p. 256; Priya, Sinja, Alice, Shanmugasundaram y Alagusundaram, 2014, p. 239).

Estas pérdidas se pueden originar por factores físicos, fisiológicos o patológicos. Dentro de los factores físicos se encuentran: la humedad y temperatura en el curado y almacenamiento. El curado en condiciones no óptimas provoca la pérdida de humedad a través del cuello y las catáfilas frescas. Los golpes, cortes y magalladuras, producidas por un mal manejo en la manipulación, afectan la calidad debido al deterioro en la apariencia general, susceptibilidad al daño por microorganismos y aumento de la tasa de respiración. Estos factores van a influir directamente en la pérdida de peso (Thomas y Diehl, 2009, p. 97).

Los factores fisiológicos como la brotación y crecimiento de raíces son procesos que dependen de la variedad y las condiciones de almacenamiento (Sharma,

Hariram y Won, 2015, p. 3). Los principales microorganismos causantes de pudrición blanda son: el moho negro (*Aspergillus niger*) y las bacterias *Erwinia caratovora*, *Pseudomonas* spp y *Xanthomonas* spp (Thomas y Diehl, 2009, p. 97). En la figura 1.7 se pueden observar bulbos de cebolla afectados con ablandamiento en la zona del cuello y varias catáfilas, debido a la presencia de bacterias.



Figura 1.7. Pudrición de bulbos producido por bacterias (Arboleya et al., 2013, p. 32)

Los métodos usados actualmente para reducir las pérdidas en el almacenamiento y transporte de cebolla, además del curado que forma parte de la poscosecha, consisten principalmente en la aplicación de productos químicos reguladores del crecimiento con uso restringido y en algunos países prohibido por su toxicidad y rechazo que genera en los consumidores (Chope, Terry, y White, 2007, p. 131). Otros métodos son: la aplicación de atmósferas controladas (AC) y el almacenamiento a bajas o altas temperaturas pero su alto costo generalmente no justifica su aplicación comercial (Qadir et al., 2009,p. 55)

1.1.2.1 Curado

El curado es un proceso poscosecha que puede ser natural o artificial dependiendo de las condiciones ambientales. En climas cálidos y secos se aplica el curado

natural que consiste en colocar las plantas en el campo en hileras (acordonado) de tal manera que el follaje de unas cubra al bulbo de otras para evitar daño por sol durante 1 o 2 semanas. En este proceso es aceptable una pérdida de peso entre 3 a 5 %. En climas húmedos es necesario recurrir al curado artificial que consiste en mantener los bulbos en condiciones óptimas de temperatura (30 - 45 °C) y humedad relativa (60 - 75 %) durante 1 a 4 días con una pérdida de peso aceptable de máximo el 10 % (Opara, 2003, p. 7; Kader, 2011, p. 494; Suslow, 2013).

1.1.2.2 Hidrazida maleica

La hidrazida maleica es un químico inhibidor de la brotación. El mecanismo de acción depende de la capacidad de traslocación a través del xilema y floema hasta el tejido meristemático de los ápices donde se produce la inhibición de la división celular (Priya et al., 2014, p. 240). Su aplicación con una dosis máxima de 12 L/ha mediante aspersión se realiza 2 o 3 semanas antes de la cosecha, cuando aproximadamente del 15 a 20 % de las hojas se han secado y volteado (Arboleya et al., 2013, p. 15). Según el codex alimentarius el límite máximo de este compuesto es de 15 mg/Kg (FAO y OMS, 2013).

Estados Unidos y Reino Unido usan este método de preservación de bulbos sin restricción mientras que Alemania lo prohíbe por su efecto residual. La hidrazida maleica se ha relacionado con la producción de tumores y actividad mutagénica y carcinogénica en mamíferos (Rees et al., 2012, p. 368; Swietlinska y Zuk, 1978, p. 16).

1.1.2.3 Etileno

El etileno es liberado lentamente por un compuesto: el etefon (ácido 2-cloroetilfosfónico). Su aplicación dos semanas antes de la cosecha por aspersión en una concentración de 1,8 L/ha permite disminuir el porcentaje de brotación comparado con la muestra control (Priya et al., 2014, p. 240; Adamicki, 2005, p.

26). Actualmente, se usan sistemas de producción continua de etileno para inhibir la brotación en instalaciones de almacenamiento de cebollas y papas. Se ha demostrado que un tratamiento corto de 24 horas es suficiente para inhibir la brotación en variedades de almacenamiento medio como “Sherpa”. Una de las ventajas es la mínima concentración que se requiere (menor a 30 000 $\mu\text{L/L}$) lo cual no afecta a la salud de los operarios (Downes et al., 2010, pp. 37 y 43).

1.1.2.4 1-Metil ciclopropeno

El 1-MCP (1-metilciclopropeno) es un compuesto químico que interactúa con los receptores de etileno provocando su inhibición y con ello el retraso de procesos dependientes de este compuesto como la maduración y senescencia de frutas y hortalizas. Su modo de acción no es tóxico y deja residuos insignificantes. Además, la dosis requerida es muy baja (Watkins, 2006, p. 390). El efecto de este compuesto depende de la variedad. En la mayoría de cultivares la aplicación de 1-MCP antes y después del curado provoca la disminución del tamaño del brote (Downes et al., 2010, p. 43). En el caso de la variedad D.O. Fuentes de Ebro, el uso de 1-MCP no es recomendado debido a que promueve la emisión de raíces y brotes prematuramente (Barriando, 2013, p. 47).

1.1.2.5 Altas o bajas temperaturas

El control de la temperatura en el almacenamiento de cebolla permite alargar el tiempo de vida útil. Una temperatura superior o inferior al rango óptimo de brotación (10 - 20 °C) provoca el retraso de la aparición de brotes y raíces debido a la inhibición de las citoquininas (termo-dormancia) y/o reducción de la actividad metabólica (Qadir et al., 2009, p. 55).

El efecto de la temperatura sobre la brotación depende de la variedad. El almacenamiento a bajas temperaturas (15 °C), de las variedades “Yellow Sweet Spanish” y “Azarshahr”, provoca la disminución en la brotación en un 36,9 y 21,1 %

respectivamente, en comparación con los bulbos almacenados a altas temperaturas (alrededor de 35 °C) (Baninasab y Rahemi, 2006, p. 199). En cebolla “D.O. Fuentes de Ebro” el tiempo de vida útil llega hasta 90 días en condiciones de almacenamiento de 2 °C de temperatura y humedad relativa de 75 a 80 % (Barriendo, 2013, p. 47).

En la variedad “De Buzau” el porcentaje de brotación y deterioro es mayor a 3-5 °C que a 10-12 °C a los 180 días de almacenamiento (Vintila, Niculescu y Romas, 2014, p. 153). A una temperatura de 5 °C la variedad de ciclo corto “TG 1015Y” presenta un mayor grado de pungencia comparado con la muestra almacenada a 25 y 30 °C durante 5 meses (Yoo et al., 2012, p. 218).

1.2 IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

La irradiación de alimentos es un proceso físico que consiste en exponer el alimento a una dosis determinada de radiación medida en Gy (gray) según el sistema internacional. De acuerdo con la Norma General del Codex para Alimentos Irradiados (Codex Alimentarius, 2003) se admite únicamente el uso de radiación ionizante proveniente de rayos gamma de radionucleidos ^{60}Co o ^{137}Cs , rayos X con energía igual o inferior a 5 MeV y electrones acelerados con energía igual o inferior a 10 MeV.

A nivel mundial se irradian cerca de 404 804 t de alimentos en las diferentes regiones del mundo. Asia y Oceanía conforman la región que irradia una mayor cantidad de alimentos con un total de 183 309 t. Los principales productos que se irradian son especias y vegetales deshidratados, raíces, tubérculos y productos cárnicos (Kume, Furuta, Todoriki, Uenoyama, y Kobayashi, 2009, p. 223). En América, 17 países usan la irradiación en alimentos. Dentro de estos se encuentran: Estados Unidos, Canadá, Argentina, México, Perú, Costa Rica, Cuba, Chile, Uruguay y Brasil con instalaciones comerciales y Colombia, Ecuador, Venezuela y Bolivia con instalaciones destinadas para investigación. Estados Unidos por ejemplo, posee 8 instalaciones certificadas por APHIS (Animal and Plan Health

Inspection Service) para tratamientos fitosanitarios que pueden ser usados por países exportadores que quieran expandir su mercado de comercialización dentro de este país (Bustos-Griffin et al., 2015, p. 251).

1.2.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

De acuerdo a Roberts (2014) las ventajas de la irradiación de alimentos son (p.1):

- Su versatilidad, debido a que es un proceso frío y pueden ser tratados alimentos crudos y sólidos
- Alta efectividad y eficiencia
- Alta penetración
- No requiere el uso de productos químicos y no deja residuos químicos
- Es un proceso fácil de controlar
- Los alimentos pueden ser insertados en su cadena de distribución inmediatamente después del tratamiento

A pesar de las múltiples ventajas de la irradiación en alimentos, existen limitaciones debido principalmente a los altos costos de su implementación y la falta de información.

1.2.2 OBJETIVOS

Los principales objetivos de la aplicación de la irradiación en alimentos son: preservar y producir alimentos libres de microorganismos patógenos, reducir las pérdidas poscosecha y el uso de compuestos químicos en el control fitosanitario (Bustos-Griffin, Hallman y Griffin, 2015, p. 250). La radiación ionizante interactúa con los átomos de los tejidos que forman parte del alimento. El efecto biológico de la irradiación se produce por la interacción de los rayos gamma con los átomos y moléculas de las células (especialmente con el agua) lo cual genera radicales libres que reaccionan rápidamente con otras moléculas provocando la ruptura de enlaces

químicos (Ahirwar, 2013, p. 855). Los efectos producidos están determinados por la dosis absorbida del producto, como se presenta en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Dosis, efectos y aplicaciones de la irradiación en alimentos

Dosis requerida (kGy)		Efectos	Tipo de alimento
0,01 - 1	0,02 - 0,2	Inhibición de brotes	Bulbos, raíces y tubérculos (papas, cebollas y ajos)
	0,1 - 1	Retraso de la maduración	Vegetales y frutas frescas
	0,2 - 1	Desinfestación de insectos	Cereales, especias, frutas secas, deshidratados
	0,3 - 1	Inactivación de parásitos patógenos	Cárnicos (Tenia y Trichinella)
1 - 10	1 - 3	Extensión de la vida útil (Radurización)	Carnes y subproductos (crudos y congelados), frutas y vegetales
	2 - 8	Reducción de bacterias patógenas no formadores de esporas (Radicidación)	
> 10	10 - 30	Reducción de microorganismos patógenos (esterilización)	Especias, dietas hospitalarias, raciones de emergencia
	25 - 70	Extensión de la vida de anaquel y estabilidad a temperatura ambiental (Radapertización)	Alimentos precocidos envasados herméticamente

(IAEA, 2002, pp. 6, 7; Temur y Tiryaki, 2013, p. 422; Farkas y Mohácsi-Farkas, 2011, p. 122)

1.2.3 IRRADIACIÓN DE BULBOS

La irradiación gamma de bulbos es un método de preservación poscosecha estudiado y aplicado comercialmente durante muchos años con diferentes variedades alrededor del mundo con resultados que demuestran su efectividad con la extensión del tiempo de vida útil (Thomas y Diehl, 2009, p. 100).

El principal efecto de la irradiación es la reducción o inhibición de brotes debido al bloqueo de la división celular y crecimiento del ápice (Brewster, 2001, p. 170). La irradiación gamma se puede usar en combinación con el control de temperatura y

humedad relativa en el almacenamiento para obtener mejores resultados (Rees et al., 2012, p. 376). Los efectos y la dosis usada en bulbos (cebolla y ajo) y tubérculos como la papa de algunos estudios realizados se encuentran en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Estudios sobre irradiación gamma de bulbos y tubérculos

Variedad	Método	Resultados	Bibliografía
Cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L.) variedad "Rouge Amposta"	Irradiación con una dosis de 150 Gy y almacenamiento a 20 °C de bulbos curados por 2 semanas	Reducción de la tasa de respiración con respecto al control de 0,4 a 0,05 mmol/kg.h y del porcentaje de brotación de 80 a 5 %	Benkeblia, Varoquaux, Shiomi y Sakai, 2002
Cebolla de bulbo (<i>Allium cepa</i> L.) variedad "Desi y Red"	Irradiación con una dosis de 100 Gy de bulbos curados 2 semanas y almacenados en condiciones ambientales (15 - 20 °C y 60 - 90 % H.R.) durante 4 meses	Reducción de la pérdida de peso (en 32 %), pudrición (en 47 %) y mejora de la aceptabilidad del consumidor con respecto a la calidad interna y externa en un 25 % con respecto a las muestras control	Khan, Khattak y Khan, 1999
Ajo (<i>Allium sativum</i>) variedad "Colorado"	Irradiación con una dosis entre 2 y 150 Gy durante la dormancia (30 días poscosecha) y pos-dormancia (120 días poscosecha)	Inhibición de la brotación en todos los tratamientos con irradiación entre 30 y 150 Gy y el tratamiento con una dosis de 10 Gy durante la pos-dormancia	Pellegrini, Croci y Orioli, 2000
Papa variedad "Pashandi"	Irradiación de tubérculos curados en sacos de yute con una dosis de 100 Gy y almacenamiento en condiciones ambientales (3,5 - 26,5 °C y 28 - 92 % H.R.) durante 7 meses	Reducción del porcentaje de brotación (de 100 a 38 %), pudrición (de 23 a 12 %) y pérdida de peso (de 26,8 a 14,9 %) con respecto a tubérculos no irradiados	Nouri y Toofanian, 2001

De acuerdo con la IAEA (2002) la dosis máxima absorbida para el tratamiento de bulbos, raíces y tubérculos es de 200 Gy (p. 5) para evitar el crecimiento de brotes, reducir la pudrición sin provocar diferencias detectables en el sabor o la

composición nutritiva de los bulbos. Además, estudios toxicológicos han demostrado que el tratamiento con rayos gamma no genera compuestos dañinos para el ser humano (Rees et al., 2012, p. 376).

1.2.4 IRRADIACIÓN EN ECUADOR

En Ecuador existen tres instalaciones donde se utiliza la tecnología de irradiación (Instituto Nacional de Preinversión, 2013, p. 3): un irradiador de Cobalto 60, un acelerador de electrones, ambos pertenecientes a la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y un irradiador tipo Gammacell de la Subsecretaría de Control, Investigación y Aplicaciones Nucleares (SCAN). El Instituto Nacional de Preinversión (2013) realizó un estudio de los posibles potenciales beneficiarios de la tecnología de irradiación; estos fueron: los sectores productores de flores, cebolla, papa y hierbas aromáticas. En el caso de la cebolla, la irradiación es una alternativa para solucionar problemas de pérdidas principalmente en el transporte (pp. 7 y 19).

1.2.5 REGULACIONES

De acuerdo con el codex alimentarius (FAO y OMS, 2007, p. 9) el rotulado de alimentos tratados con irradiación ionizante se debe realizar a través de una declaración escrita del tratamiento y el uso opcional del símbolo internacional (radura), mostrado en la figura 1.8.

En el caso de Estados Unidos los alimentos irradiados deben llevar la declaración “Manipulado con irradiación” junto con el símbolo de radura (FDA, 2015). En Ecuador el ente encargado de controlar el uso de la tecnología de irradiación es la Subsecretaría de Control, Investigación y Aplicaciones Nucleares (SCAN) que pertenece al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, y es signatario del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés) cuyo fin es el de promover el uso pacífico de esta tecnología (Instituto Nacional de Preinversión, 2013, p. 2).



Figura 1.8. Símbolo internacional de irradiación de alimentos
(FAO y OMS, 2007, p. 9)

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

- **CEBOLLA PERLA**

La cebolla perla (*Allium cepa* L.) variedad “Campo Lindo” fue cosechada en una plantación perteneciente a la Corporación de Productores de Cebolla Perla ubicada en el cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí. Esta zona presenta una temperatura ambiental entre 25 a 30 °C, una humedad relativa media de 86 % y una precipitación media anual de 254 mm (INAMHI, 2014, p. 75). La cebolla perla curada y no curada se cosechó en su estado de madurez comercial cuando aproximadamente el 50 % de las plantas tuvieron hojas secas y dobladas en la zona del cuello. La cosecha de la cebolla perla curada se realizó el 18 de noviembre del 2014. El curado se realizó “*in situ*” durante una semana, para ello, los bulbos después de ser cosechados manualmente fueron colocados en hileras en el campo de tal manera que las hojas de unos cubrieron a los bulbos de otros para evitar el daño por sol. La cebolla perla no curada se cosechó el 24 de noviembre de 2014. Inmediatamente después de la cosecha se realizó el corte de raíces y hojas, la clasificación, selección y empaclado en 22 sacos de nylon de 25 kg cada uno.

Los sacos de cebolla fueron transportados vía terrestre (duración aproximada de 7 horas) desde la plantación hasta las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR) de la Escuela Politécnica Nacional donde se almacenaron, hasta su tratamiento, en un cuarto provisto de pallets de madera y un techo con plástico negro.

- **FUENTE DE COBALTO 60**

La irradiación de los sacos de cebolla se realizó en la fuente de Cobalto 60 ubicado en el Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR) que pertenece a la Escuela

Politécnica Nacional (EPN). En noviembre del 2014, durante el desarrollo del proyecto, la actividad aproximada de la fuente fue de 1 700 Ci.

2.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CEBOLLA PERLA

Para la caracterización físico-química de la cebolla perla se tomaron al azar 50 bulbos de cebolla curada y 50 de bulbos sin curar para medir: peso, diámetro, firmeza, densidad y pH. Además, se enviaron dos muestras de aproximadamente 0,5 kg (3 bulbos) cada una de cebolla perla curada y sin curar al laboratorio de bromatología del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) para analizar: humedad, cenizas, carbohidratos totales, valor calórico, extracto etéreo, fibra cruda y proteína.

2.2.1 PESO

El peso de cada bulbo fue medido en una balanza digital (BOECO BLC-500) con una capacidad máxima de 500 g y apreciación de 0,1 g.

2.2.2 DIÁMETRO

El diámetro que corresponde a la máxima longitud de la zona ecuatorial del bulbo se midió con un calibrador tipo vernier de capacidad: 150 mm y apreciación de 0,05 mm.

2.2.3 FIRMEZA

La medida de la firmeza se realizó con un penetrómetro manual marca Mc Cormick Fruit Tech modelo FT 327 con un punzón de acero de 6 mm en dos caras opuestas de la zona ecuatorial de cada bulbo. Se introdujo el punzón en dirección

perpendicular a la superficie del bulbo hasta la marca de profundidad del punzón. Los resultados se obtuvieron en kilogramos fuerza (kgf) pero se expresaron en Newton (N) con la equivalencia $N = \text{kgf} \times 9,807$ (Feippe y Carballo, 2003, p. 7).

2.2.4 DENSIDAD

La densidad relativa de cada bulbo se calculó mediante la relación mostrada en la ecuación 2.1. El volumen se obtuvo de acuerdo con el principio de Arquímedes. Para ello se colocó 100 mL de agua destilada en un recipiente cilíndrico y se anotó la altura del desplazamiento del líquido por la inmersión de cada bulbo (Ghaffari, Marghoub, Sheikhdarabadi y Hakimi, 2013, p. 588).

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [2.1]$$

Donde:

ρ : densidad relativa (g/mL)

m : masa del bulbo (g)

V : volumen de desplazamiento del agua (mL)

2.2.5 pH

Para la medición del pH se tomaron al azar 3 grupos de 5 bulbos. Dicho muestreo se realizó con las cebollas curadas y no curadas respectivamente. Para el análisis se utilizó un pH-metro electrónico de electrodo Orion 210 previamente calibrado. Los bulbos fueron lavados, cortados y licuados. El jugo obtenido se filtró con el uso de una malla de tela. Se sumergió el electrodo en la muestra de 100 mL del jugo preparado y se obtuvo el valor de pH según el método AOAC 981.12 (AOAC, 2005). Este análisis se realizó por triplicado.

2.2.6 ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

Se determinaron: humedad (método AOAC 934.01), cenizas (método AOAC 923.03), proteína (método AOAC 2011.11), grasa (método AOAC 922.06), fibra (método I.C.C Standard # 113), carbohidratos totales y valor calórico (método propuesto por FAO Food energy-methods of analysis and conversion factors). El análisis se realizó por duplicado.

2.2 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA, CURADO Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA CEBOLLA PERLA ECUATORIANA DE EXPORTACIÓN

2.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental 4×2^2 donde las variables de diseño fueron: dosis de irradiación (50, 100, 150 y 200 Gy), curado (con y sin el tratamiento) y condiciones de almacenamiento: ambiente (19 °C y 60 % H. R.) y refrigeración (6 °C y 70 % H. R.). Para determinar los valores mensuales promedio de la humedad y temperatura se realizó un monitoreo diario con un termohigrómetro.

Se irradiaron las muestras curadas y sin curar con las respectivas dosis por duplicado en sacos de 25 kg. Dos sacos sin irradiar fueron las muestras control. Luego de la irradiación se submuestrearon 10 kg de cada saco y fueron almacenados en refrigeración. El resto de producto se almacenó en condiciones ambientales en un cuarto del Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR).

Las variables de salida fueron: brotación interna y externa, pudrición, pérdida de hojas secas, apariencia general, pérdida de peso y firmeza. Estas mediciones se realizaron cada 15 días durante 6 meses.

2.2.2 IRRADIACIÓN DE MUESTRAS

La irradiación de las muestras se realizó los días 26 y 27 de noviembre de 2014. Los tiempos de irradiación se calcularon para las dosis de 50, 100, 150 y 200 Gy como se muestra en la tabla 2.1. La tasa de dosis fue de 78,29 Gy/h.

Tabla 2.1. Tiempos de irradiación de los sacos de cebolla perla de acuerdo a la dosis

Dosis (Gy)	Tiempo total (min)
50	38,32
100	76,64
150	114,96
200	153,22

Se irradiaron dos sacos por cada dosis. Para cada irradiación, se ubicaron los sacos aproximadamente a una distancia de 50 cm desde la fuente al centro de cada uno como se observa en la figura 2.1.



Figura 2.1. Ubicación de los sacos de cebolla perla en la cámara de irradiación

Para uniformizar la dosis, se irradiaron los sacos durante la mitad del tiempo calculado y luego se voltearon para completar el tiempo respectivo.

2.2.3 CALIDAD POSCOSECHA

Los bulbos, luego del submuestreo para el almacenamiento en condiciones ambientales y refrigeración, fueron identificados con un marcador indeleble. Los parámetros de calidad poscosecha: brotación externa e interna, pudrición, pérdida de peso, firmeza, pérdida de hojas secas y apariencia general, fueron evaluados cada 15 días durante 6 meses.

2.2.3.1 Brotación externa

Para la determinación de la brotación externa se realizó un conteo de los bulbos con brotes visibles cuya longitud excedía 5 mm por encima de la última catáfila (INEN, 2012) y se reportó su valor en porcentaje con respecto al número total de bulbos examinados en cada tratamiento.

2.2.3.2 Brotación interna

La brotación interna se expresó como una relación entre la longitud del brote con respecto a la longitud del bulbo. Para ello, se tomaron al azar 6 bulbos de cada tratamiento y se cortaron longitudinalmente. El brote fue identificado como la primera hoja verde dentro del bulbo (Chope et al., 2007, p.132). Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Brotación interna} = \frac{B_o}{B} \quad [2.2]$$

Donde:

B_o: longitud del brote interno (mm)

B: longitud del bulbo (mm)

2.2.3.3 Pudrición

La pudrición se determinó mediante el conteo de bulbos que presenten cualquier signo de descomposición o desintegración de tejidos (Endalew, Getahun, Demissew y Ambaye, 2014, p. 99). El valor obtenido se reportó en porcentaje con respecto al número total de bulbos examinados de cada tratamiento.

2.2.3.4 Pérdida de peso

Para el análisis de la pérdida de peso los bulbos se pesaron al inicio y al final de cada salida en una balanza electrónica BOECO BLC-500 (500 g \pm 0,1 g). Se utilizaron 20 frutos por cada tratamiento y los resultados se reportaron en base al porcentaje de peso perdido con la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(W_f - W_o) \times 100}{W_o} \quad [2.3]$$

Donde:

W_o : peso inicial (g)

W_f : peso final (g)

2.2.3.5 Firmeza

La firmeza se midió con el mismo procedimiento del acápite 2.2.3.

2.2.3.6 Pérdida de hojas secas

Para la determinación de la pérdida de hojas secas se realizó un conteo de los bulbos que perdieron aproximadamente el 30 % de sus catáfilas secas (SAGPyA,

2009, p. 13). El valor obtenido se reportó en porcentaje con respecto al número total de bulbos examinados.

2.2.3.7 Apariencia general

La apariencia general se midió con una escala arbitraria de 1 a 5 como se describe en la tabla 2.2 donde se evaluó marchitez y daños físicos. Los bulbos se examinaron y clasificaron con el puntaje correspondiente.

Para la valoración de la apariencia general, los puntajes promedio se clasificaron según los siguientes rangos: A (entre 4 - 5) si mantienen las características iniciales, B (entre 3 - 4) si presentan deterioro y daño pero todavía es apto para comercialización y C (< 3) si ya no son comercializables (Curzio y Croci, 1990, p.22).

Tabla 2.2. Escala de valoración de apariencia general para la cebolla perla






Marchitez/daño físico	Descripción	Escala	Gráfico
Extremo (> 50 % del bulbo afectado)	Muy pobre	1	
Severo (30 - 50%)	Pobre	2	
Moderado (10 - 30 %)	Moderada	3	

Tabla 2.2. Escala de valoración de apariencia general para la cebolla perla
(continuación...)

Leve (0 – 10 %)	Buena	4	
Ninguno (0 % del bulbo afectado)	Excelente	5	

2.2.3.8 Composición proximal

Se realizó un nuevo análisis bromatológico de los bulbos curados y sin curar, almacenados en condiciones ambientales e irradiados con la mejor dosis. Se siguió el procedimiento del acápite 2.2.6.

2.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó con el programa STATGRAPHICS Centurion versión XV.II mediante el análisis multifactorial de varianza, con la prueba de LSD (mínima diferencia significativa) con el 95 % de confianza.

2.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Se usó una prueba discriminativa triangular para determinar diferencias en la percepción sensorial de los bulbos de cebolla perla irradiados con la mejor dosis

resultante de la experimentación y no irradiados (control) almacenados en condiciones ambientales (19 °C y 60 % de humedad relativa). Se prepararon tres platos de ensalada de cebolla perla con lechuga de repollo: dos con cebolla no irradiada y uno con cebolla irradiada para su degustación por parte de un panel semi-entrenado de mínimo 12 personas.

Las cebollas se lavaron en agua corriente, se sanitizaron en una solución de hipoclorito de sodio (50 ppm) y se filtraron. Posteriormente fueron removidos el cuello, la base y las catáfilas secas que componían aproximadamente el 12 % en peso. Se cortaron las cebollas por la mitad y se dividieron en rodajas con un procesador de alimentos. Adicionalmente lechuga de repollo se lavó y sanitizó de la misma manera que la cebolla, se extrajeron el tallo y las hojas sin color y se cortaron en un procesador de alimentos (Esparza et al., 201, p. 772).

Se mezcló la cebolla y lechuga en una proporción de 1:1. Las muestras formadas por 20 g de ensalada se colocaron en recipientes plásticos y se identificaron al azar con un código de 3 dígitos (Thompson, Peffley, Green, Paré y Tissue, 2004, p. 3). Cada panelista recibió tres muestras (dos con cebolla perla no irradiada y una con cebolla perla irradiada), dos vasos (uno con agua y otro vacío), galletas de soda como limpiador de paladar (palate cleanser) y una hoja de evaluación como se muestra en el Anexo V.

2.4 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROCESO DE IRRADIACIÓN DE CEBOLLA PERLA DE EXPORTACIÓN

Se realizó un análisis costo-beneficio del tratamiento de irradiación de los bultos de cebolla perla de exportación. Se consideró el costo promedio del servicio de irradiación para el rango de dosis analizado entre 0,0315 y 0,28 USD/lb (Bustos-Griffin, Hallman y Griffin, 2015, p. 254) para un irradiador comercial multipropósitos. Para ello se analizaron los costos de producción, transporte y las pérdidas

provocadas por rechazo de los bultos de cebolla perla que no cumplen con los parámetros de calidad requeridos y se evaluó el beneficio económico que tuvo este tratamiento al comercializar el producto en los mercados de Brasil y Estados Unidos, que actualmente no se pueden cubrir por el tiempo de vida útil de la cebolla perla ecuatoriana y las restricciones fitosanitarias.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CEBOLLA PERLA

Para la caracterización físico-química de la cebolla perla ecuatoriana de exportación se midieron: peso, diámetro, firmeza, densidad, pH y composición proximal (humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra, carbohidratos totales y valor calórico) de bulbos no curados y curados cosechados en su estado de madurez comercial. La cebolla perla (*Allium cepa* L.) “Campo Lindo” es una variedad de día corto, de color amarillo y de forma esférica de acuerdo a los descriptores del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, por sus siglas en inglés).

Las características físico-químicas de la cebolla perla mostradas en la tabla 3.1 no fueron afectadas significativamente ($p > 0,05$) por el curado “*in situ*”. El peso, diámetro, firmeza y densidad son parámetros de calidad útiles para el dimensionamiento de empaques y clasificación de acuerdo a los requerimientos del comprador. Estos dependen principalmente del potencial genético de la variedad y la fertilización que recibe el cultivo (Amer y Gamea, 2003, p. 2).

El valor promedio del peso (176,5 g) se encuentra dentro del rango encontrado en bibliografía (124,5 y 195,1 g) para la misma variedad (Marcía, 2009, pp. 5-7). La desviación estándar para este parámetro fue alta debido a la distribución heterogénea de las muestras tomadas al azar.

La densidad promedio obtenida fue de 0,79 g/mL. Este valor es menor comparado con otras variedades de color amarillo como “Isfahan” y “Giza 20”, que presentaron una densidad de 1 g/mL y 1,04 g/mL, respectivamente (Ghaffari, Marghoub, Sheikhdarabadi, Mehdi y Hakimi, 2013, p. 589; Bahnasawy, El-Haddad, El-Ansary y Sorour, 2004, p. 258)

La firmeza es un parámetro importante de calidad relacionado con la ternura de los bulbos y su resistencia para minimizar el daño en el manejo en la cosecha y

poscosecha (Mallor, Carravedo, Estopañan y Mallor, 2011, p. 149). El valor promedio de este parámetro fue de 57,97 N.

Tabla 3.1. Caracterización físico-química de los bulbos curados y no curados de cebolla perla (*Allium cepa* L.) variedad “Campo Lindo”

Características		n	Curado	No curado
Físicas	Peso (g)	50	178,51 ± 56,59	162,42 ± 39,18
	Diámetro (mm)	50	71,03 ± 8,74	68,67 ± 6,78
	Firmeza (N)	50	62,12 ± 6,83	53,82 ± 9,46
	Densidad (g/ mL)	50	0,84 ± 0,09	0,73 ± 0,04
Químicas	pH	3	5,45 ± 0,17	5,66 ± 0,18
	Proteína (%)	2	1,00 ± 0,14	0,85 ± 0,07
	Humedad (%)	2	92,00 ± 0,71	92,55 ± 0,21
	Cenizas (%)	2	0,45 ± 0,04	0,38 ± 0,07
	Fibra cruda (%)	2	0,64 ± 0,05	0,55 ± 0,07
	Carbohidratos totales (%)	2	6,35 ± 0,78	6,00 ± 0,64
	Valor calórico (kcal/100 g)	2	31,00 ± 2,83	29,50 ± 0,71
	Grasa (%)	2	0,21 ± 0,00	0,21 ± 0,00

$\bar{x} \pm \sigma$

El diámetro ecuatorial es el principal factor en la selección y clasificación de la cebolla de bulbo. En el presente estudio se realizó la clasificación de la cebolla perla de acuerdo con las normas INEN y USDA como se muestra en la tabla 3.2.

Los bulbos analizados (n=100) se ubicaron en la segunda categoría con el 96 % y tamaño “medium” con el 92 %; de esta manera, se cumplen las tolerancias de tamaño descritas en las normas de máximo el 10 % lo cual indica que se realizó una correcta clasificación y son ideales para el mercado interno y externo como Colombia, Venezuela y Brasil. En el mercado de Estados Unidos se prefieren bulbos de calibres Jumbo y Colosal con un requerimiento de diámetro de mínimo 76, 2 mm y 95,3 mm respectivamente (Suquilanda, 2003, p. 201).

Tabla 3.2. Clasificación de la cebolla perla según el diámetro ecuatorial

Norma	Categoría	Diámetro ecuatorial (mm)		Dato experimental*
		Mínimo	Máximo	
INEN	Primera	70	≥ 90	54
	Segunda	N/A	85	96
	Tercera	N/A	≤ 65	30
USDA	Pequeña	25,4	57,2	4
	Prepack	44,5	76,2	81
	Medium	50,8	82,6	92
	Large o Jumbo	76,2	N/A	20
	Colosal	95,3	N/A	0

*n=100

El pH promedio fue ácido e igual a 5,6. Resultado similar se obtuvo con la variedad del mismo color “Texas Grano 438” con un valor de pH de 5,9 (Rodríguez, Pérez, Ramírez y Zambrano, 1998, p. 33).

La composición proximal promedio de la cebolla perla “Campo Lindo” fue: 0,93 % de proteína; 92,28 % de humedad; 0,42 % de cenizas; 0,6 % de fibra cruda; 6,18 % de carbohidratos totales; 30,25 kcal/100 g de valor calórico y 0,21 % de grasa. Como se observa en la composición obtenida, el agua es el principal constituyente de los bulbos con un promedio de 92,28 %, seguido por los carbohidratos con un contenido de 6,18 %.

Estos resultados se ubican dentro del rango encontrado en bibliografía para cebollas de bulbo, como se presenta a continuación: 0,8 - 1,4 % de proteína; 86,3 - 92,9 % de humedad; 0,3 - 0,8 % de cenizas; 0,4 - 1,8 % de fibra cruda; 5,9 - 11,3 % de carbohidratos totales; 26 - 49 kcal/100 g de valor calórico y 0,1 - 0,2 % de grasa (Reyes, Gómez-Sánchez, Espinoza, Bravo y Ganoza, 2009, p. 18; Menchú y Méndez, 2007, p. 33; Rodríguez, Tascón, Rodríguez y Díaz, 2009, p. 27).

3.2 EFECTO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA, CURADO Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA CEBOLLA PERLA ECUATORIANA DE EXPORTACIÓN

3.2.1 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

La humedad y temperatura fueron registradas durante los 6 meses de almacenamiento. El promedio de dichas variables se muestran en las figuras 3.1 y 3.2. Los valores promedio fueron 19 °C y 60 % H.R. en condiciones ambientales y 6 °C y 70 % H.R. en refrigeración. El alto porcentaje de humedad en refrigeración en el primer mes de almacenamiento se produjo por problemas técnicos con los refrigeradores. Una vez solucionados los problemas los valores se estabilizaron en los meses posteriores.

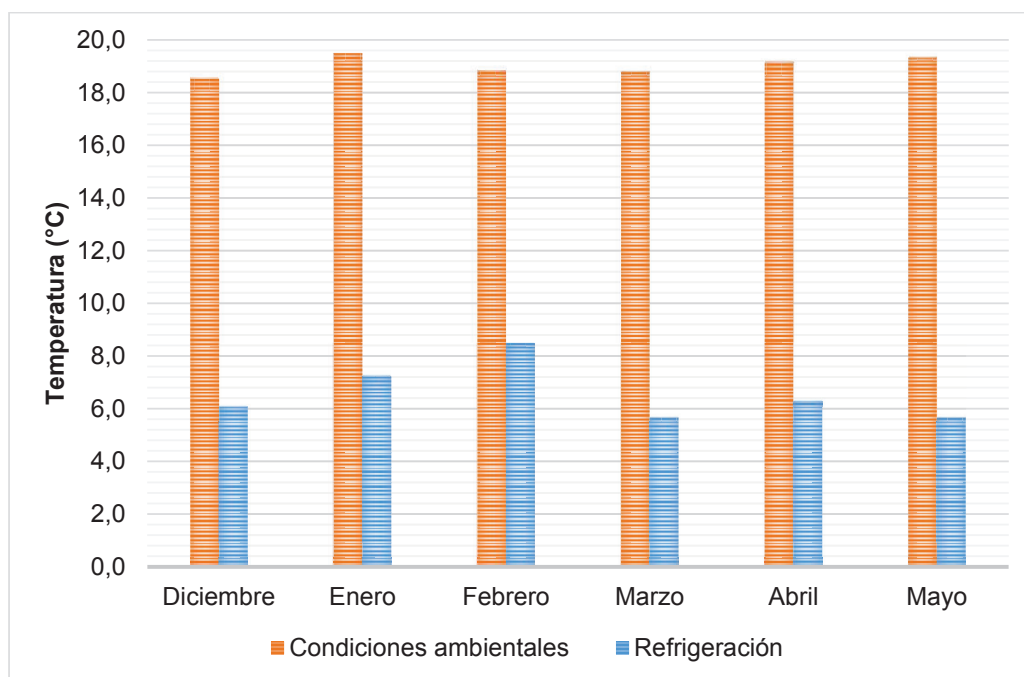


Figura 3.1. Temperatura en el tiempo de almacenamiento

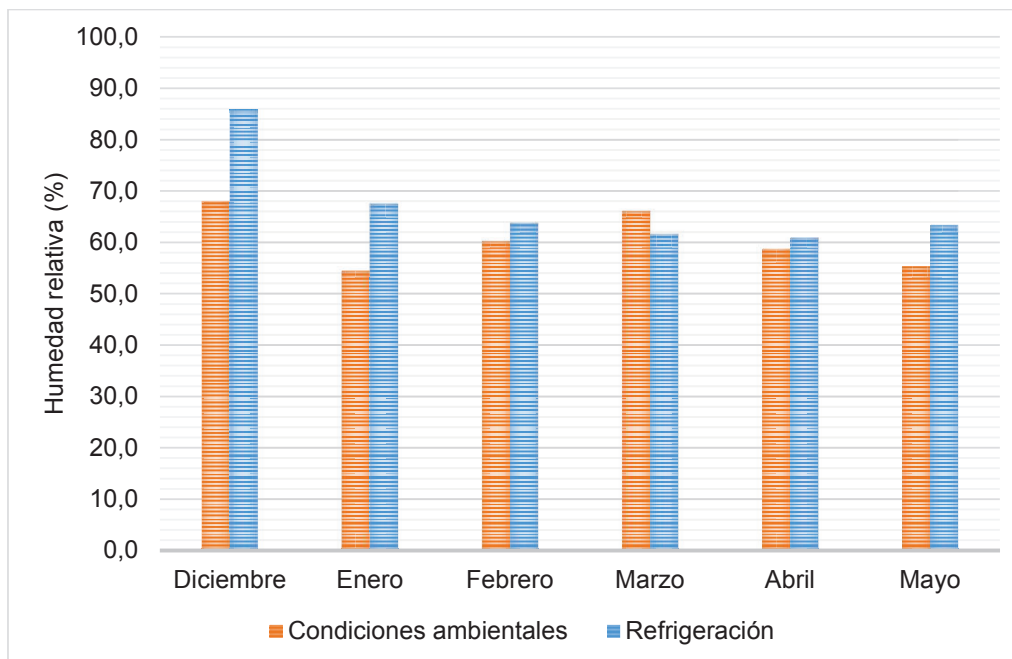


Figura 3.2. Humedad en el tiempo de almacenamiento

3.2.2 BROTACIÓN EXTERNA

La brotación externa aumentó con el tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos. Este parámetro es un limitante en la calidad de la cebolla de bulbo y se presenta cuando el brote interno se extiende y se hace visible aproximadamente 5 mm sobre la última catáfila (INEN, 2012, p.1). La brotación empieza cuando se ha perdido el estado de dormancia y esto se debe al incremento en la concentración de hormonas vegetales promotoras del crecimiento como las auxinas, giberelinas y citoquininas (Brewster, 2001, p. 168). Estas hormonas provocan el crecimiento del brote debido a que estimula la división y elongación celular en el tejido meristemático (Campbell, Mitchell y Reece, 2001, pp. 662, 669, 675).

La dosis de irradiación, el curado y las condiciones de almacenamiento afectaron significativamente ($p < 0,05$) a esta variable de respuesta, como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. ANOVA del porcentaje de brotación externa de cebolla perla *Allium cepa* L. variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Dosis de irradiación	20 424,3	4	5 106,07	50,66	0,0000
B:Curado	1 016,67	1	1 016,67	10,09	0,0041
C:Condiciones de almacenamiento	2 535,1	1	2 535,1	25,15	0,0000
Interacciones					
AB	1 020,65	4	255,163	2,53	0,0667
AC	4 067,6	4	1 016,9	10,09	0,0001
BC	223,256	1	223,256	2,22	0,1497
Residual	2 418,88	24	100,787		
Total (corregido)	3 1706,4	39			

El porcentaje de brotación externa presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre la muestra control y las muestras irradiadas. La brotación más baja se obtuvo con la dosis de 50 Gy y la más alta con la muestra no irradiada o control a los 180 días de almacenamiento, como se observa en la figura 3.3.

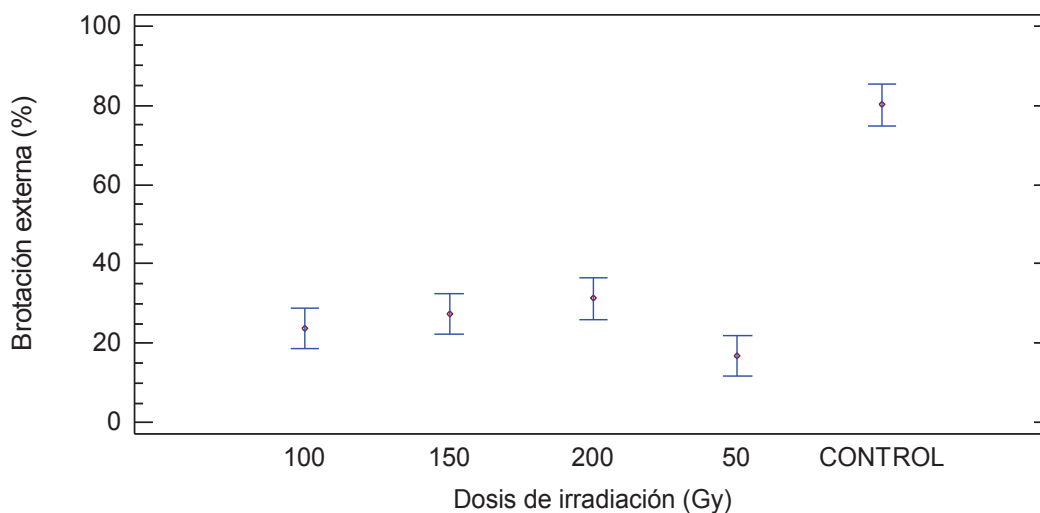


Figura 3.3. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la brotación externa de cebolla perla almacenada hasta 180 días

Entre las dosis de irradiación gamma usadas en el diseño experimental, la dosis de 200 Gy provocó un mayor porcentaje de brotación, en comparación con los tratamientos con dosis de 50, 100 y 150 Gy (figura 3.3). Estudios realizados con la

variedad "Red globe" mostraron que la irradiación con dosis superiores a 150 Gy y extensión del tiempo entre la cosecha y el tratamiento estimula ligeramente la brotación por lo cual se recomienda aplicar la irradiación durante el estado de dormancia (Thomas, Sirangarajan y Limaye, 1975, p. 218). Los mecanismos bioquímicos que explican la estimulación de la brotación debido a la exposición a rayos gamma no está clara pero podría estar relacionada con la síntesis y liberación de hormonas de crecimiento (Thomas y Diehl, 2009, p. 108).

En condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) se presentó una ligera aceleración del apareamiento de los primeros brotes o pérdida de dormancia a los 15 días en cebollas no curadas y a los 60 días en cebollas curadas. En refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) los brotes tardaron más en aparecer que en condiciones ambientales, a los 60 días en cebollas no curadas y 75 días en cebollas curadas.

En las muestras irradiadas y almacenadas en condiciones ambientales el porcentaje de brotación no superó el 20 % hasta los 180 días de almacenamiento como se muestra en la figura 3.4. En las muestras control el porcentaje de brotación superó a las muestras irradiadas con el 93,2 % como se muestra en las figuras AI.1 y AI.2. Las muestras irradiadas que se almacenaron en refrigeración obtuvieron un porcentaje de brotación mayor que en condiciones ambientales.

El apareamiento de los brotes se origina debido a un incremento en la actividad de hormonas de crecimiento, en especial de las citoquininas, y esta depende principalmente de la temperatura. La inhibición de las citoquininas endógenas (termo-dormancia) es provocada por el almacenamiento a una temperatura inferior a 10 °C y superior a 20 °C (Qadir, Hashinaga y Karim, 2009, p. 55).

Los resultados obtenidos muestran que las condiciones de almacenamiento no afectaron significativamente ($p \geq 0,05$) el porcentaje de brotación de los bulbos irradiados con una dosis baja e igual a 50 Gy como se observa en la figura 3.4.

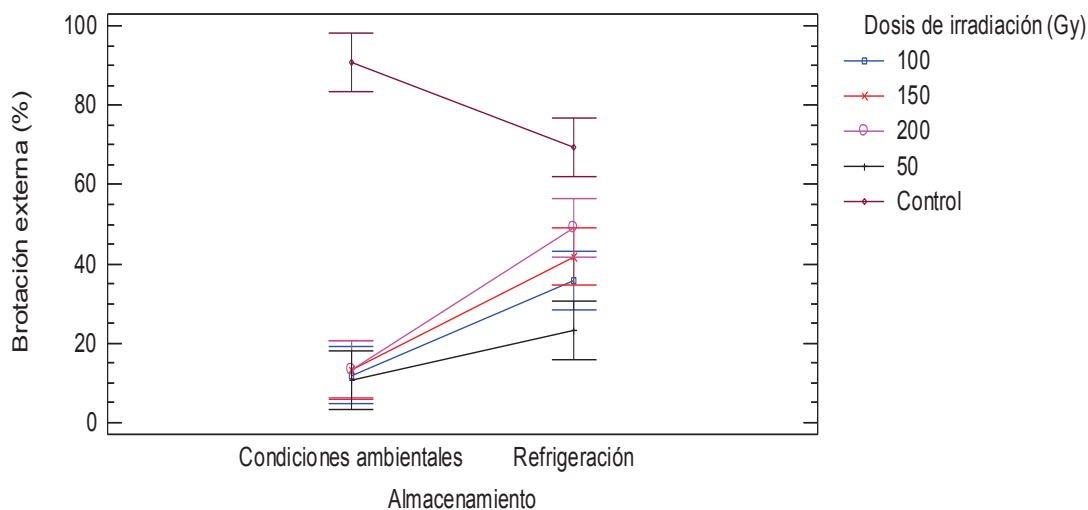


Figura 3.4. Interacción e intervalos LSD de los factores condiciones de almacenamiento y dosis de irradiación para la brotación externa de cebolla perla a los 180 días de almacenamiento

Los brotes en las cebollas irradiadas presentaron características diferentes que en las no irradiadas. Como se muestra en la figura 3.5 los brotes de los bulbos no irradiados se presentan con un color verde y una mayor longitud a diferencia de los brotes de los bulbos irradiados donde claramente se observa que carece de longitud y color por lo que se denominan “pseudobrotes”.

La formación de un brote normal se produce por la división y elongación de las células que forman parte del tejido meristemático. La irradiación inhibe la división mitótica debido a que se produce un daño en el núcleo celular, que contiene a la información genética y las instrucciones para la reproducción celular, pero no afecta la elongación de las células formadas antes de la exposición a los rayos gamma (Pellegrini, Croci y Orioli, 2000, p. 317). Por esta razón los “pseudobrotes” tienen un tamaño limitado por la elongación máxima de las células que los conforman.

El curado tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) sobre la variable analizada (tabla 3.3).



Figura 3.5. Cebolla perla variedad “Campo Lindo” con brotes (izquierda) y pseudobrotos (derecha) en muestras control e irradiadas respectivamente

El curado mostró ser efectivo en la reducción de la brotación externa como se presenta en la figura 3.6. El curado probablemente pudo actuar sobre la brotación porque permite mantener las condiciones internas del bulbo y por lo tanto también el equilibrio de las hormonas vegetales que inhiben y promueven el crecimiento.

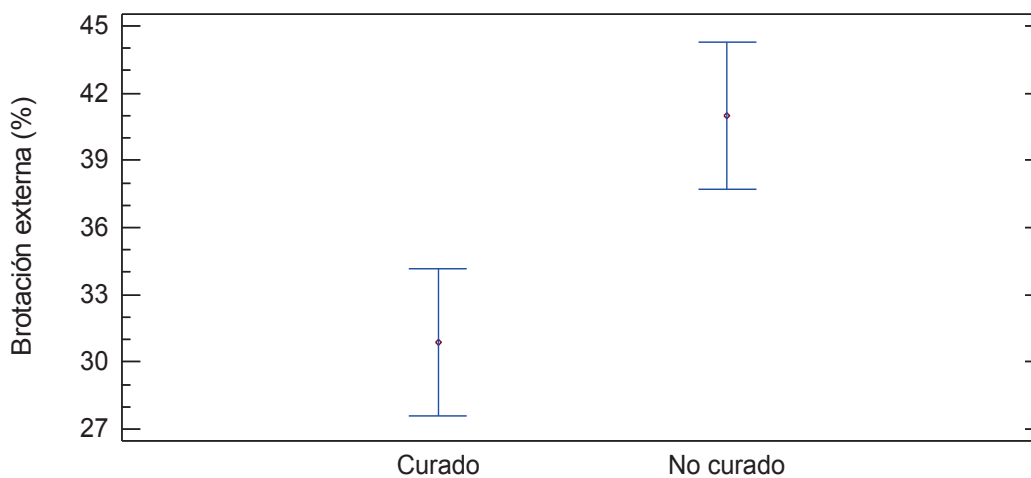


Figura 3.6. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor curado para la brotación externa de cebolla perla almacenada hasta 180 días

El mejor tratamiento para reducir el porcentaje de brotación fue la irradiación con la menor dosis (50 Gy), el curado y el almacenamiento en condiciones ambientales como se muestra en la figura 3.7. Con este tratamiento, a los 60 días de

almacenamiento, inició el aparecimiento de pseudobrotos también conocido como brotación aparente. A partir de los 90 días este porcentaje fue superado por la brotación normal de las muestras control en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) y refrigeración (6 °C y 70 % H.R.).

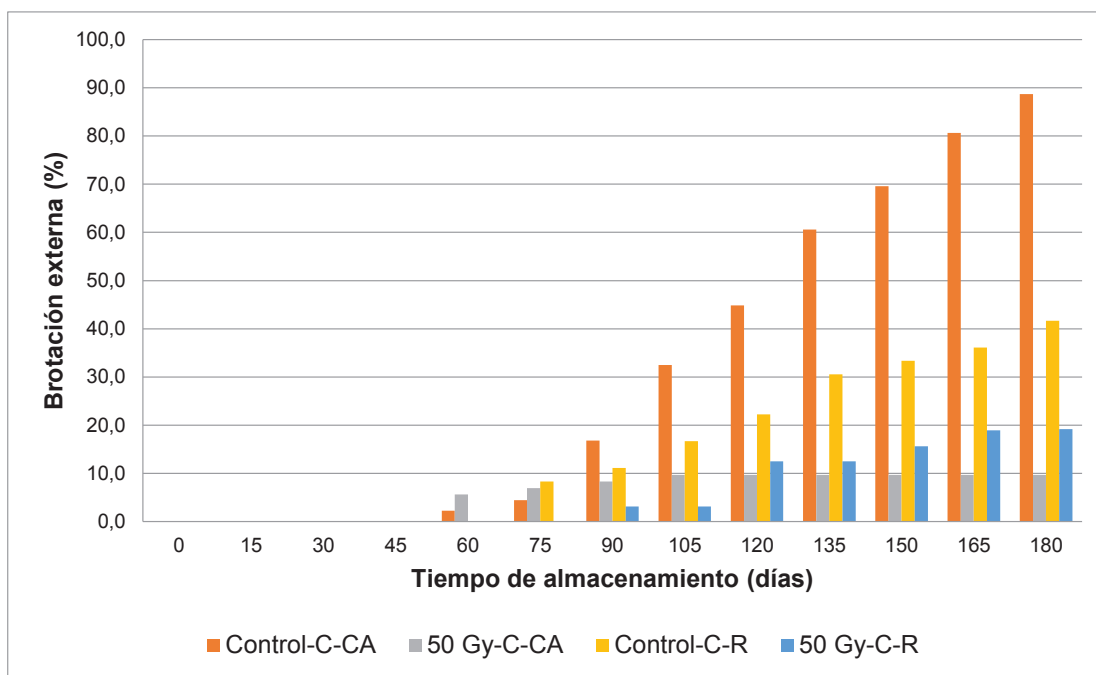


Figura 3.7. Brotación externa de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada (C), irradiada con 50 Gy y almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R)

3.2.3 BROTACIÓN INTERNA

La brotación interna precede al aparecimiento del brote externo y es indicador de la pérdida del estado de dormancia (Abrameto et al., 2010, p. 123). La relación de brote interno presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las muestras control y las muestras irradiadas a los 180 días de almacenamiento como se puede observar en la figura 3.8. La tasa de brote interno fue menor en las muestras irradiadas que en las muestras control y no superó el valor de 0,2.

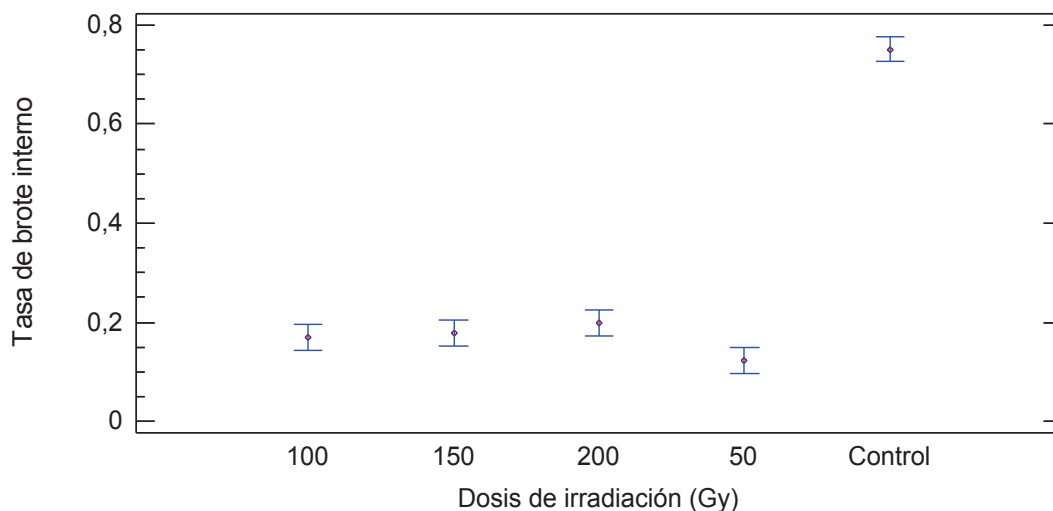


Figura 3.8. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la tasa de brote interno de cebolla perla variedad "Campo Lindo" almacenada hasta 180 días

La muestra control, no curada y almacenada en condiciones ambientales ($19\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 60% H.R.) presentó el valor más alto de brote interno igual a 1,23 como se presenta en la figura 3.9. En las muestras irradiadas la tasa de brote interno promedio fue de 0,17 con un tamaño de brote de 12 mm. La tasa de brote interno fue el menor e igual a 0,15 con el tratamiento combinado de curado, irradiación con una dosis de 50 Gy y almacenamiento en refrigeración ($6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 70% H.R.).

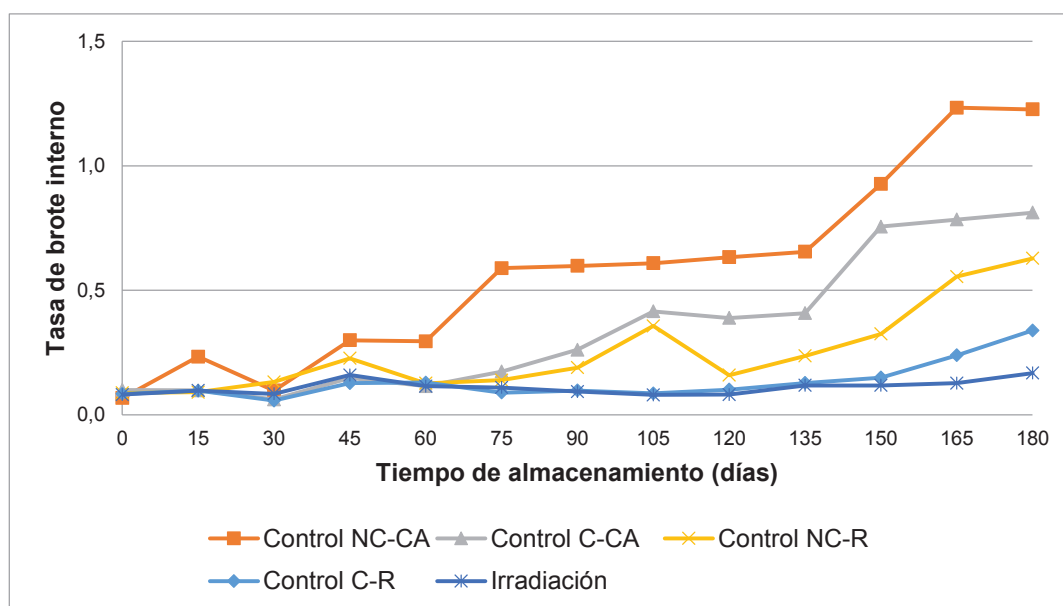


Figura 3.9. Brotación interna de cebolla curada (C) y no curada (NC) almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R) no irradiada (control) e irradiada

El tratamiento de irradiación, independientemente de la dosis, provocó un oscurecimiento en el punto de crecimiento de los bulbos como se observa en la figura 3.10. La aparición de esta coloración ocurrió primero en las muestras almacenadas en condiciones ambientales a los 30 días y posteriormente en refrigeración a los 60 días. El pardeamiento de esta región se intensificó con el incremento de la dosis y el tiempo de almacenamiento. Resultados similares se obtuvieron con otras variedades como la Valenciana sintética 14, Red globe y Rijnsburger (Melges et al., 1997, p.2; Thomas, Sirangarajan y Limaye, 1975, p. 221; Skou, 1971, p. 12).

De acuerdo con estudios de irradiación de cebollas, el oscurecimiento del punto de crecimiento es una característica de la exposición a rayos gamma que se limita únicamente al tejido meristemático cuando se irradia en el periodo de dormancia pero se puede reducir con el almacenamiento a bajas temperaturas y no afecta la aceptabilidad de los bulbos para la mayoría de sus diferentes usos (Sharma, 2004, p. 283).



Figura 3.10. Pardeamiento en el punto de crecimiento en bulbos irradiados y almacenados en condiciones ambientales (izquierda) y refrigeración (derecha) a los 180 días

3.2.4 PUDRICIÓN

La dosis de irradiación, el curado y condiciones de almacenamiento tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre el porcentaje de pudrición como se presenta en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. ANOVA del porcentaje de pudrición de cebolla perla *Allium cepa* L. variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Dosis de irradiación	655,794	4	163,949	5,97	0,0018
B:Curado	670,068	1	670,068	24,42	0,0000
C:Condiciones de almacenamiento	39 522,1	1	39 522,1	1 440,10	0,0000
Interacciones					
AB	151,54	4	37,8849	1,38	0,2704
AC	655,794	4	163,949	5,97	0,0018
BC	670,068	1	670,068	24,42	0,0000
Residual	658,658	24	27,4441		
Total (corregido)	42 984,0	39			

Las muestras irradiadas con la menor dosis (50 Gy) obtuvieron un menor porcentaje de pudrición al final del almacenamiento con diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) con respecto a las muestras control de almacenamiento como se observa en la figura 3.11.

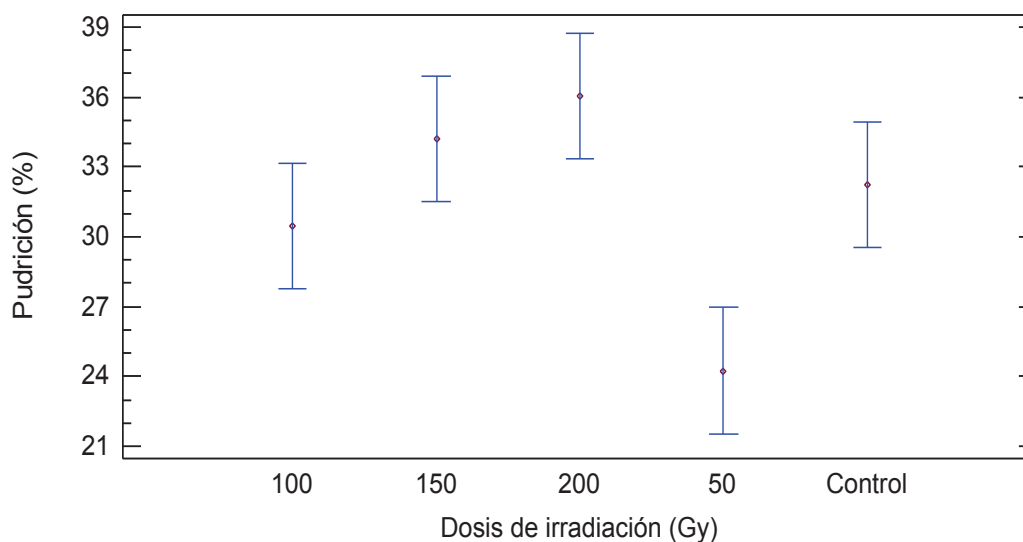


Figura 3.11. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la pudrición de cebolla perla almacenada hasta 180 días

El mayor porcentaje de pudrición se obtuvo con la dosis de 200 Gy para a partir del día 45 como se observa en las figuras del anexo II. En la parte central de los bulbos, en el origen de los brotes, se observó un pardeamiento afectado por pudrición cuya

intensidad era directamente proporcional a la dosis de irradiación. Esto pudo haber ocurrido probablemente por la muerte del tejido meristemático en el brote debido al efecto de la irradiación lo cual provocó susceptibilidad al ataque de microorganismos (Thomas et al., 1975, p. 221).

Existió un efecto estadísticamente significativo del curado sobre el porcentaje de pudrición como se muestra en la tabla 3.4 y la figura 3.12. El secado de las hojas y cierre del cuello que se produce con el curado funciona como barrera para el ingreso de microorganismos responsables de pudrición (Wright y Triggs, 2005, p. 359).

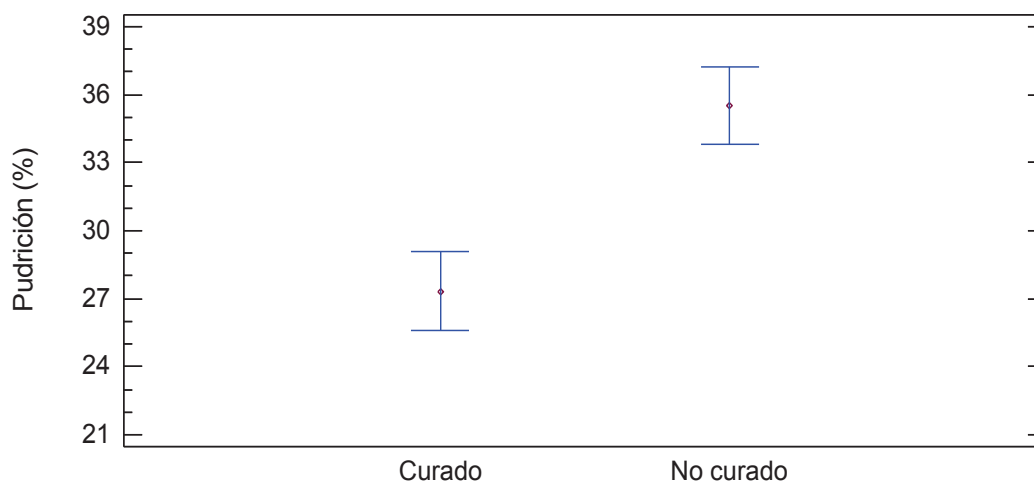


Figura 3.12. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor curado para la pudrición de cebolla perla variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento

Los principales casos de pudrición fueron: descomposición en la base (que se extendía desde la raíz hasta las hojas centrales carnosas), el cuello y catáfilas carnosas superficiales; además de la presencia de moho como polvillo negro (causado por *Aspergillus niger*) ubicado en las catáfilas externas secas y carnosas superficiales del bulbo como se muestran en las imágenes de la figura 3.13.

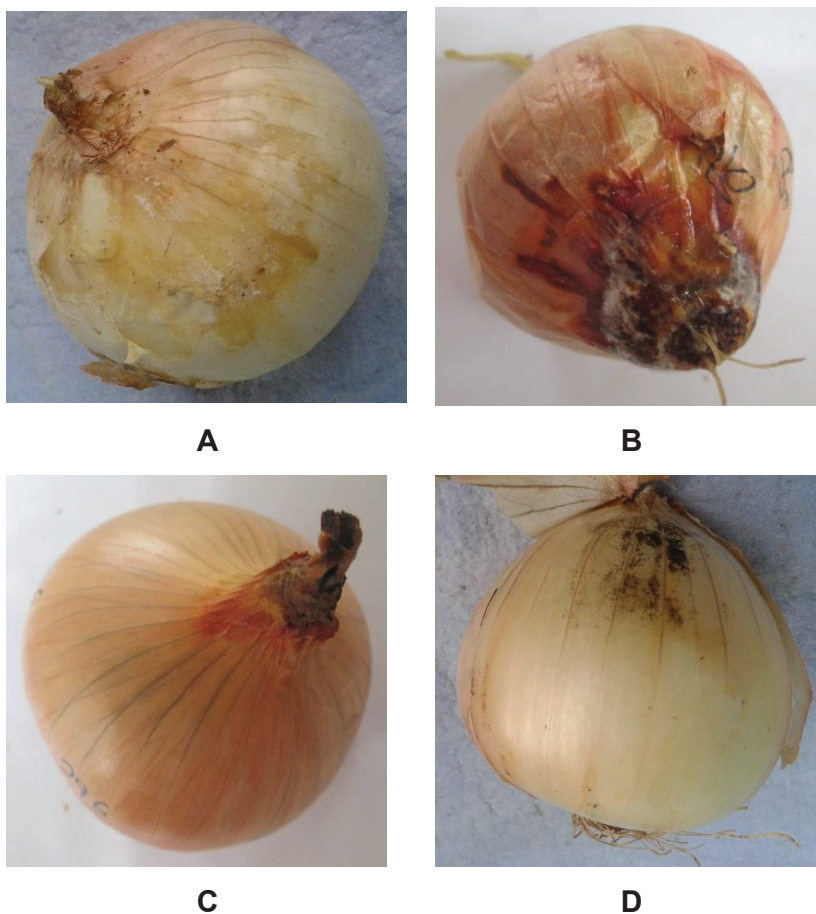


Figura 3.13. Casos de pudrición en catáfilas externas (A), en la base (B), en el cuello (C) y presencia de moho negro (D)

El porcentaje de pudrición dependió de las condiciones de almacenamiento. Los bulbos almacenados en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) no presentaron desintegración o descomposición de tejidos hasta los 180 días de almacenamiento. Debido a que la pudrición es un proceso biológico que resulta de la degradación de tejidos es razonable la reducción y retraso de la descomposición a bajas temperaturas (Ghulam et al., 2013, p. 459). Además, el crecimiento de microorganismos causantes de pudrición puede ser inhibido por las condiciones de almacenamiento. Por ejemplo, para que se produzca el crecimiento miscelar del moho negro (*Aspergillus niger*) la temperatura debe estar en el rango de 28-35 °C y la humedad relativa debe ser mayor a 75 % (Pozzo, Aschkar, Pellejero, Gil y Roa, 2008, p. 3). Estos valores son superiores a los utilizados en el presente estudio, en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) y refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) lo cual justifica la baja incidencia de este microorganismo.

El tratamiento con el que se obtuvo el menor valor de pudrición (37,94 %) en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) fue el curado y la irradiación con una dosis de 50 Gy como muestra la figura 3.14.

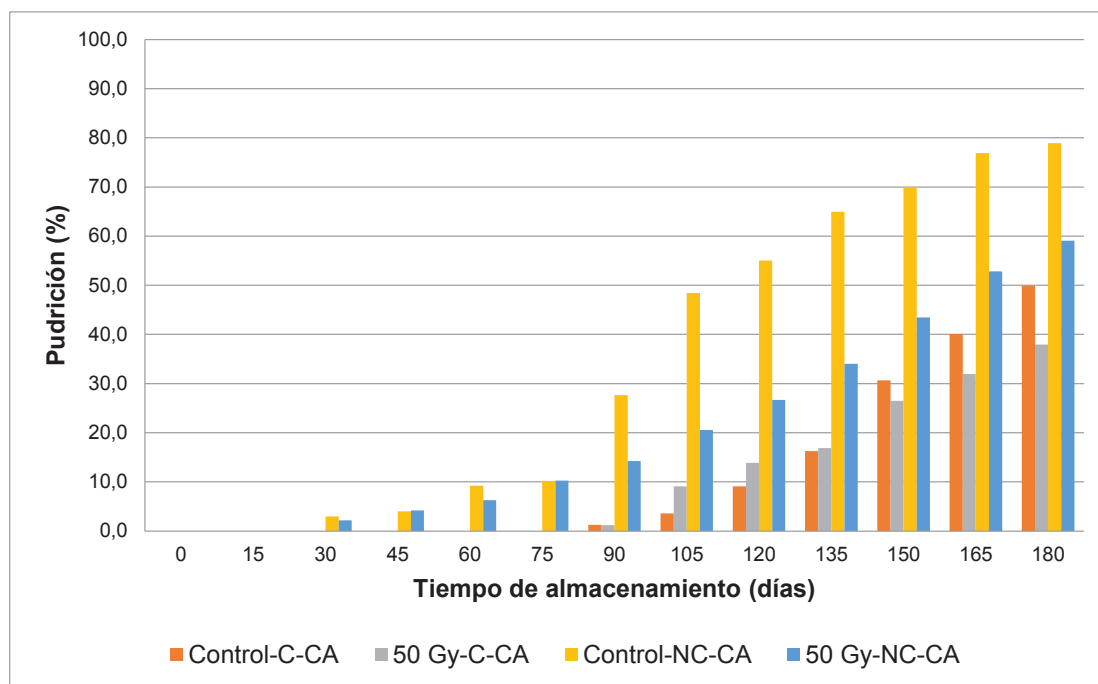


Figura 3.14. Pudrición de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada (C) y no curada (NC), irradiada con una dosis de 50 Gy y almacenada en condiciones ambientales (CA)

3.2.5 PÉRDIDA DE PESO

La dosis de irradiación, el curado y las condiciones de almacenamiento afectaron significativamente ($p < 0,05$) la variable porcentaje de pérdida de peso a los 180 días de almacenamiento como se muestra en la tabla 3.5.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las muestras irradiadas y no irradiadas (control). El tratamiento con radiación gamma ayudó a reducir la pérdida de peso. Los bulbos no irradiados presentaron un mayor porcentaje de pérdida de peso debido a la pérdida de humedad a través de la

respiración, proceso metabólico que se produce en los seres vivos (Ghulam et al., 2013, p. 456).

Tabla 3.5. ANOVA del porcentaje de pérdida de peso de cebolla perla *Allium cepa* L. variedad “Campo Lindo” a los 180 días de almacenamiento

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Dosis de irradiación	1162,95	4	290,736	92,16	0,0000
B:Curado	72,056	1	72,056	22,84	0,0001
C:Condiciones de almacenamiento	292,624	1	292,624	92,75	0,0000
Interacciones					
AB	37,0362	4	9,25904	2,93	0,0416
AC	108,228	4	27,057	8,58	0,0002
BC	1,92148	1	1,92148	0,61	0,4428
Residual	75,7163	24	3,15485		
Total (corregido)	1750,53	39			

En la figura 3.15 se puede observar que las muestras irradiadas con una dosis de 50 Gy presentaron los menores valores de pérdida de peso a los 180 días de almacenamiento.

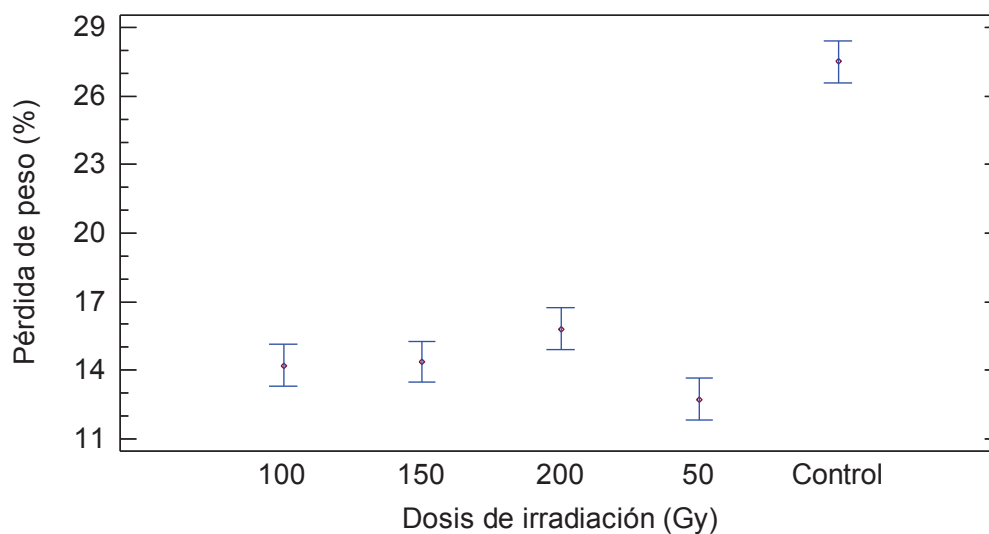


Figura 3.15. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la pérdida de peso de cebolla perla almacenada hasta 180 días

La irradiación produce un ligero incremento en la tasa de respiración al inicio del almacenamiento y una posterior disminución al final que se relaciona con la degeneración del tejido meristemático y muerte del brote lo cual ralentiza el ciclo completo de la respiración (Benkeblia, Varoquaux, Shiomi y Sakai, 2002, p. 173).

En la figura 3.16 se muestra el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la pérdida de peso y su interacción con las dosis de irradiación. Existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las muestras almacenadas en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) y refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) a partir del día 15 de almacenamiento como se puede observar en las figuras del anexo III.

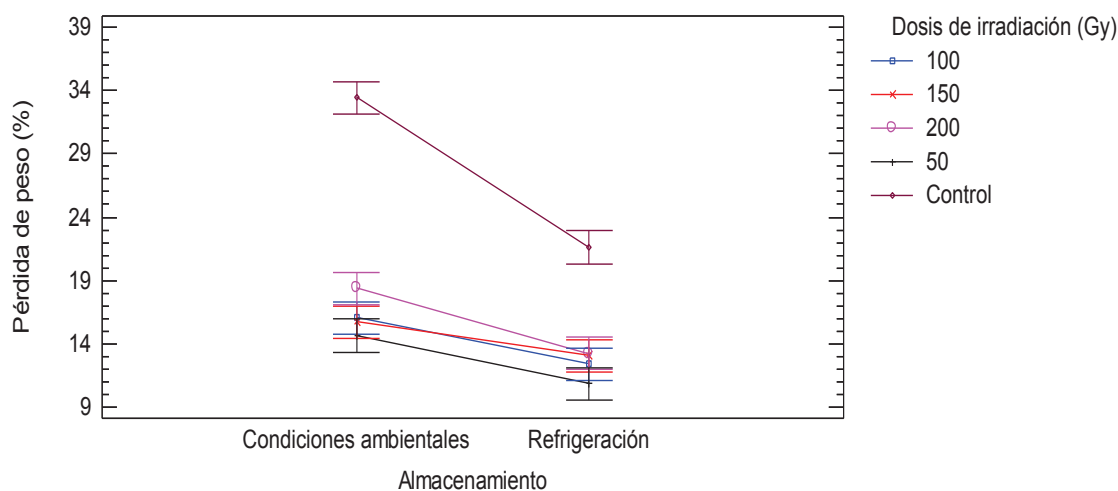


Figura 3.16. Interacción e intervalos LSD de los factores condiciones de almacenamiento y dosis de irradiación para la pérdida de peso de cebolla perla a los 180 días de almacenamiento

En condiciones ambientales la cebolla perla irradiada con una dosis de 50 Gy perdió aproximadamente la mitad del peso en comparación con la muestra control a los 180 días de almacenamiento. Se obtuvo una menor pérdida de peso en refrigeración, esto se debe a que las bajas temperaturas ralentizan los procesos bioquímicos como la transpiración y brotación mediante los cuales se consumen nutrientes del bulbo (Mishra y Gamage, 2002, p. 24). Además, el porcentaje de humedad de los bulbos de aproximadamente 92 % y la humedad relativa baja en el almacenamiento en condiciones ambientales 60 % y refrigeración 70 %, promueve

la transpiración y por lo tanto la pérdida de vapor de agua debido al gradiente que se forma entre el interior y el exterior del bulbo (Kader, 2011, p. 48).

El curado también tuvo un efecto sobre la variable pérdida de peso. En la tabla 3.5 se muestra la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre las muestras curadas y no curadas. Se obtuvo una menor pérdida de peso cuando se realizó el curado, como se esperaba, debido a la acción protectora de la envoltura de catáfilas secas y el cierre del cuello. La interacción entre el curado y la dosis de irradiación fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$). Los bulbos no curados presentaron un porcentaje menor de pérdida de peso cuando fueron tratados con una dosis de 50 Gy a diferencia de los bulbos curados en los cuales la dosis de irradiación no afectó su valor.

Los mejores valores para la variable pérdida de peso se obtuvieron con el curado, irradiación con una dosis de 50 Gy y almacenamiento en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.). Con este tratamiento se perdió el 11,24 % del peso inicial comparado con el 32,16 % de la muestra no irradiada, curada y almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) como se muestra en la figura 3.17.

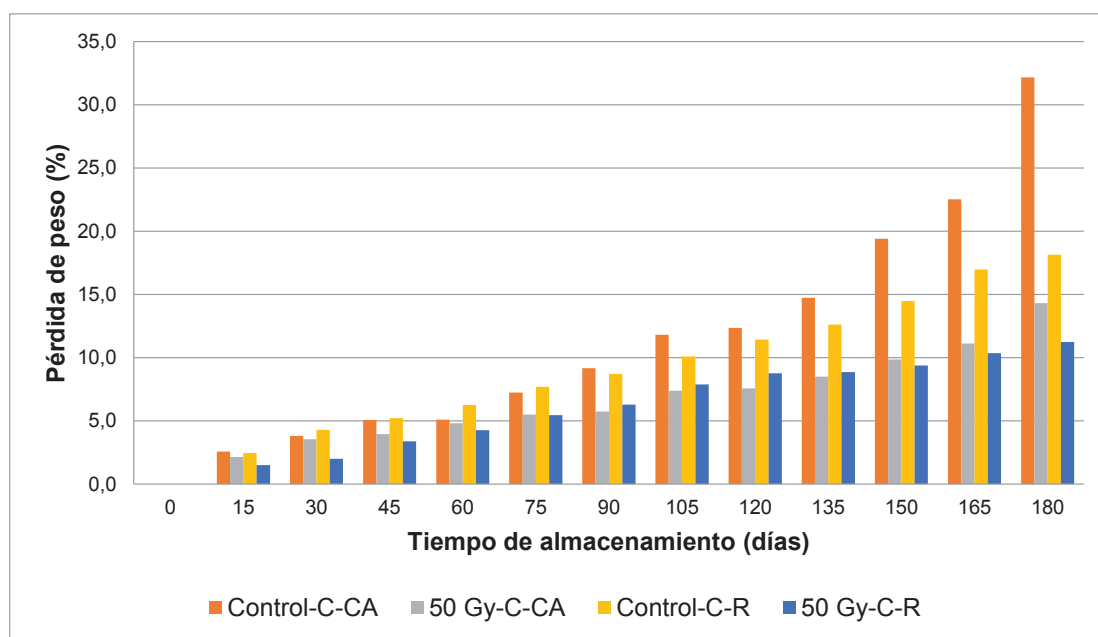


Figura 3.17. Pérdida de peso de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada (C), irradiada con 50 Gy y almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R)

3.2.6 FIRMEZA

La firmeza disminuyó durante el almacenamiento. Las condiciones de almacenamiento tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre esta variable como se muestra en la figura 3.18. En refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) la firmeza fue mayor que en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) a los 180 días de almacenamiento. El curado y la dosis de irradiación no influyeron significativamente sobre esta variable.

La firmeza está relacionada con el contenido de agua y los polisacáridos pectina y celulosa presentes en la pared celular. El ablandamiento se produce por la hidrólisis de la porción de pectina por la acción de las enzimas pectolíticas: pectinesterasa (PE) y poligalacturonasa (PG) principalmente, y a la pérdida de agua por transpiración (Abrameto et al., 2010, p. 124; Coolong, 2007).

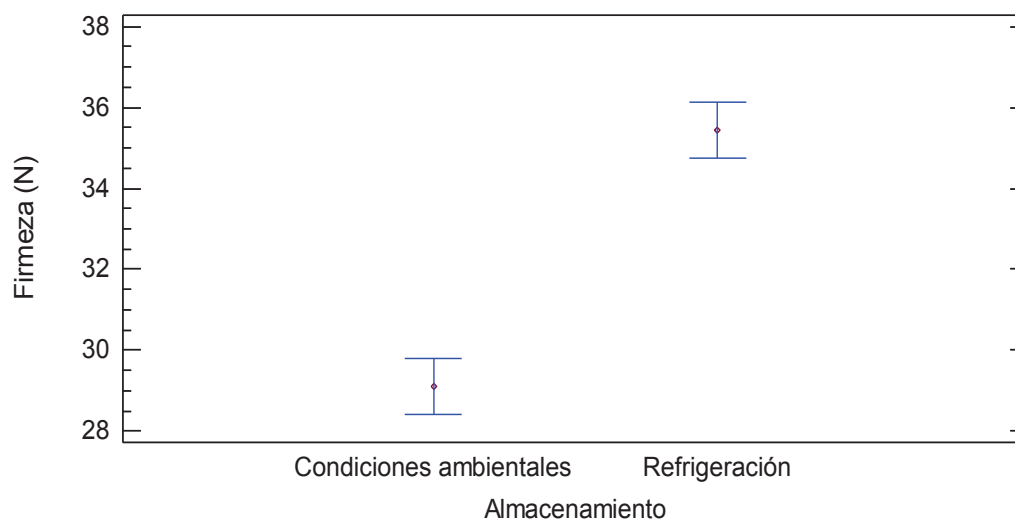


Figura 3.18. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor condiciones de almacenamiento para la firmeza de cebolla perla almacenada hasta 180 días

En la figura 3.19 se presentan los resultados de la firmeza de cebolla perla en condiciones ambientales y refrigeración. En condiciones ambientales la firmeza disminuyó aproximadamente en un 46 % de 53,82 N hasta 28,92 N. En refrigeración esta disminución fue menor en aproximadamente el 30 % de 50,62 N hasta 35,45 N.

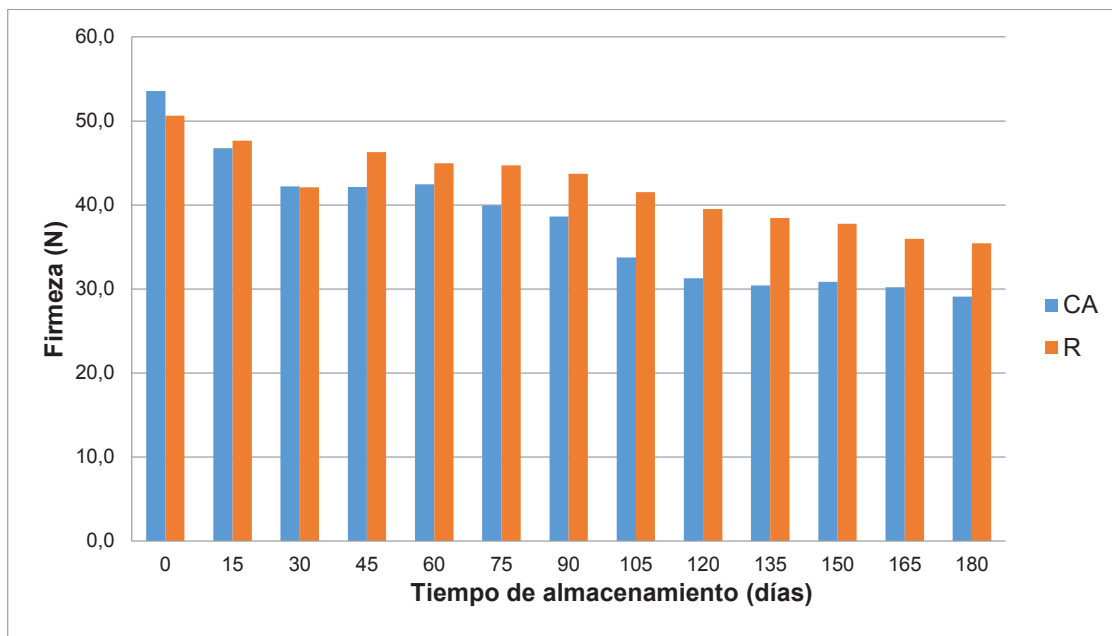


Figura 3.19. Firmeza de cebolla perla almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R) durante 180 días

3.2.7 PÉRDIDA DE HOJAS SECAS

La pérdida de hojas secas en cebollas de bulbo se produce principalmente por el rozamiento durante su manipulación y la deformación provocada por el crecimiento del brote y el desarrollo interno de la raíz (Brewster, 2001, p. 172). Se obtuvo una mayor pérdida de hojas secas con las cebollas irradiadas en comparación con las muestras control a lo largo del almacenamiento. De acuerdo a Curzio y Croci (1990) esto se presenta probablemente por el debilitamiento de las uniones de las catáfilas secas al bulbo producto de la irradiación lo cual provoca la fácil caída durante la manipulación (p. 24).

Las condiciones de almacenamiento no influyeron significativamente sobre esta variable probablemente a que el porcentaje de humedad fue similar en condiciones ambientales (60 %) y refrigeración (70 %). Ambos valores se encuentran dentro del rango óptimo para que se produzca el curado. Esto puede justificar la formación de hojas secas durante el almacenamiento. En la figura 3.20 se observa que a los 180

días el porcentaje de cebollas con pérdida de hojas secas presentó una disminución de aproximadamente la mitad con respecto al valor inicial en todos los tratamientos.

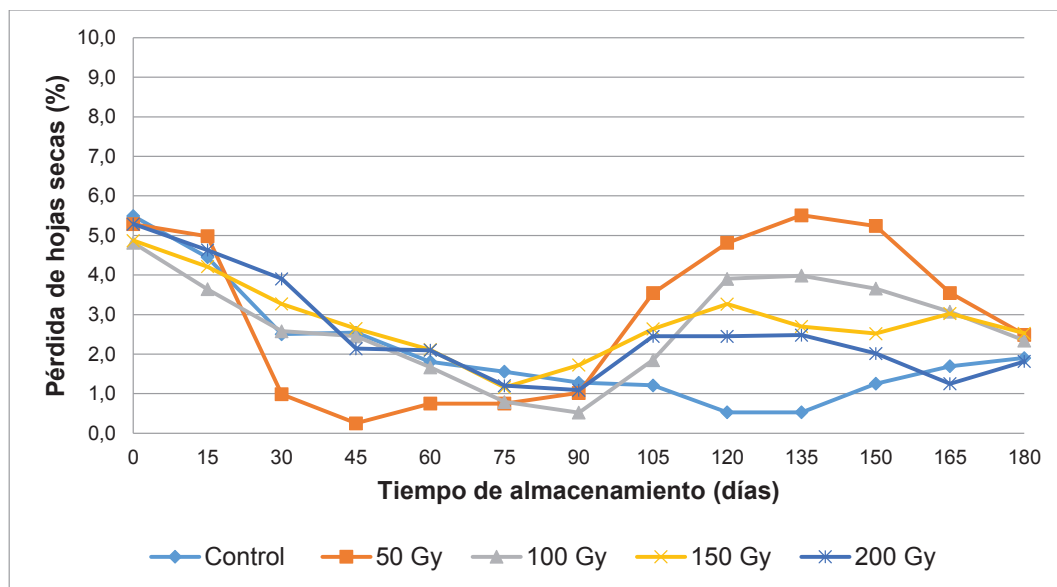


Figura 3.20. Porcentaje de pérdida de hojas secas de cebolla perla no irradiada (control) e irradiada con 4 dosis durante 180 días de almacenamiento

Estos resultados demuestran la necesidad de una cuidadosa manipulación y control de las condiciones de humedad y temperatura en el almacenamiento para evitar o disminuir la pérdida de catáfilas secas que son necesarias para proteger el bulbo de pérdidas por transpiración e ingreso de microorganismos causantes de pudrición.

3.2.8 APARIENCIA GENERAL

La apariencia general de la cebolla perla dependió de la dosis de irradiación, el curado y las condiciones de almacenamiento. Las muestras irradiadas presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) con respecto a la muestra control a partir del día 60 de almacenamiento. A los 180 días la muestra irradiada con la menor dosis (50 Gy) presentó los mejores valores de apariencia general frente a las muestras irradiadas con las dosis de 100, 150 y 200 Gy como se muestra en el figura 3.21.

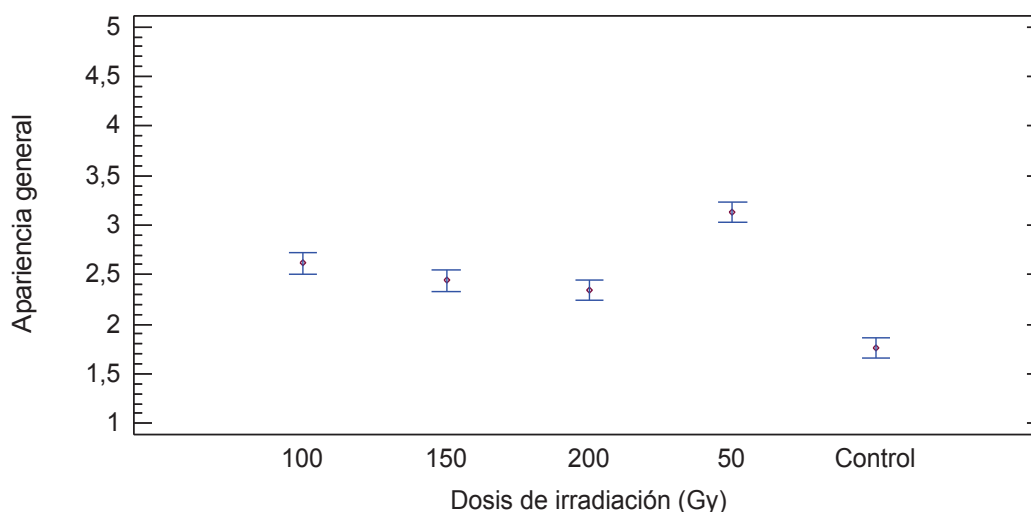


Figura 3.21. Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$) del factor dosis de irradiación para la apariencia general de cebolla perla almacenada hasta 180 días

En las tablas 3.6 y 3.7 se presentan los resultados de la valoración de apariencia general de acuerdo a los puntajes correspondientes según la escala de 1-5. Tal valoración presenta 3 calificaciones: A (si mantiene las características iniciales), B (si presenta deterioro pero todavía es apto para la comercialización) y C (si ya no es comercializable).

Tabla 3.6. Valoración de apariencia general de cebolla perla almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.)

Tratamiento		Días de almacenamiento														
Condiciones de almacenamiento	Curado	Dosis (Gy)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
Ambiente (19 °C y 60 % H.R.)	No curado	0	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	
		50	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	
		100	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	C	
		150	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C	
		200	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	
	Curado	0	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	C	C
		50	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C
		100	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C
		150	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C
		200	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	C	C	C	C

A: mantiene las características iniciales; B: presenta deterioro pero es apto para la comercialización; C: no comercializable

En condiciones ambientales, el curado y la irradiación con 50 Gy permitieron mantener las características iniciales de apariencia general hasta los 90 días y la cebolla estuvo apta para la comercialización hasta los 150 días, en comparación con su respectivo control (0 Gy, curado y almacenamiento en condiciones ambientales) que alcanzó una apariencia general apta para la comercialización hasta los 120 días como se presenta en la tabla 3.6. Las muestras que presentaron valores más bajos y un deterioro más rápido de este parámetro de calidad fueron las no curadas y no irradiadas e irradiadas con la máxima dosis de 200 Gy principalmente por la brotación y pudrición. Resultados similares se obtuvieron con la variedad amarilla “Valenciana sintética 14” que fue irradiada con una dosis de 60 Gy y almacenada (20-25 °C de temperatura y 50-100 % H.R) hasta 180 días con un puntaje final en su apariencia general de 3,1 (B) comparado con su control 2,4 (C) (Melges et al., 1997, p. 568).

Tabla 3.7. Valoración de apariencia general de cebolla perla almacenada en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.)

Tratamiento			Días de almacenamiento													
Condiciones de almacenamiento	Curado	Dosis (Gy)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
Refrigeración (6 °C y 70 % HR)	No curado	0	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	
		50	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	
		100	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	
		150	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	C	C	
		200	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	
	Curado	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	C
		50	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
		100	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B
		150	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B
		200	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B

A: mantiene las características iniciales; B: presenta deterioro pero es apto para la comercialización; C: no comercializable

En refrigeración, la apariencia general se mantuvo apta para la comercialización hasta los 180 días en muestras no curadas e irradiadas con dosis de 50 y 100 Gy así como en todas las muestras curadas e irradiadas. El tratamiento que obtuvo los mejores puntajes de apariencia general bajo estas condiciones de almacenamiento

fue la irradiación con una dosis de 50 Gy como se presenta en la tabla 3.7. Estos resultados se relacionan principalmente con la ausencia de pudrición a bajas temperaturas y la aceleración de la brotación que se produjo con las dosis altas. Además, la pérdida de peso también pudo afectar este parámetro de calidad.

En la figura 3.22 se muestran los mejores tratamientos y sus respectivos controles. Los tratamientos que permitieron obtener los mejores valores de apariencia general fueron la irradiación con una dosis de 50 Gy y refrigeración a 6 °C de temperatura y humedad relativa de 70 %. El valor obtenido para los bulbos irradiados con 50 Gy curados y no curados fue similar e igual a 3,84 y 3,86 respectivamente con una clasificación de B (presenta deterioro pero es apto para la comercialización) hasta los 180 días de almacenamiento.

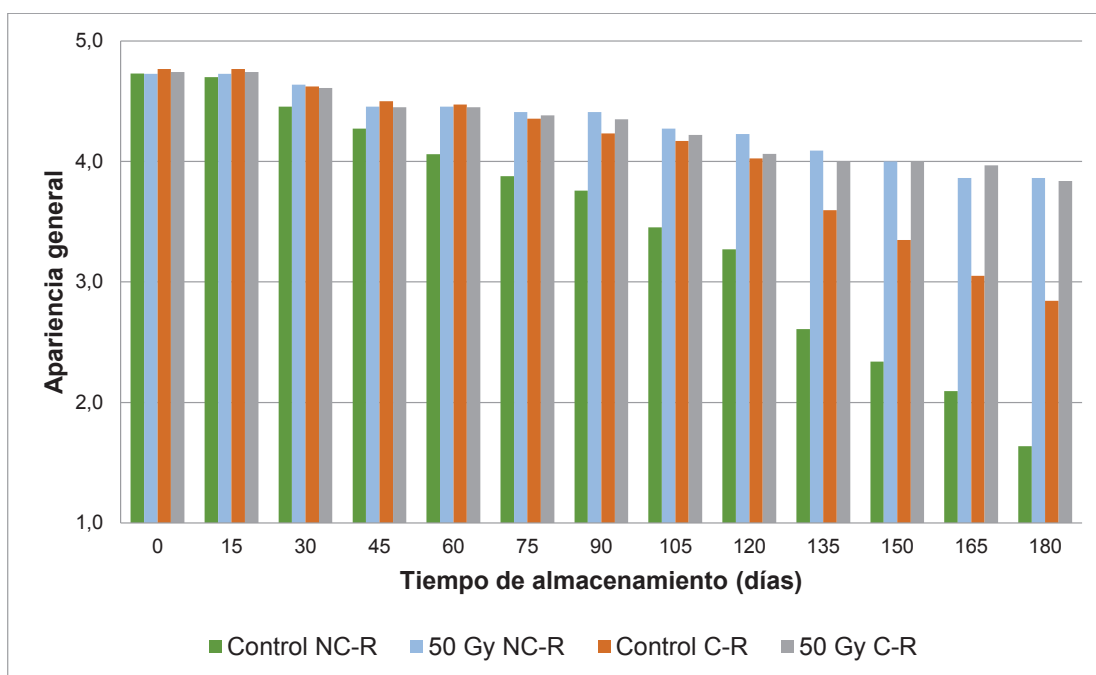


Figura 3.22. Apariencia general de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no curada (NC), curada (C) y almacenada en refrigeración (R)

3.2.9 TIEMPO DE VIDA ÚTIL

La vida útil de una cebolla de bulbo se define como “el período de tiempo durante el cual se mantiene su firmeza, sin presentarse signos de brotado y/o deterioro en

la apariencia de los bulbos” (SAGPyA, 2009) y está determinada por las condiciones de almacenamiento, el estado de madurez y la variedad.

De acuerdo a las normas de calidad de varios países se definen los porcentajes de tolerancia de los parámetros de calidad que representan defectos graves: brotación (< 10 %) y pudrición (< 2 %) (PROECUADOR, 2013b, p. 27; USDA, 2010, p. 493).

En la figura 3.23 se presentan los valores obtenidos para el tiempo de vida útil de los bulbos de cebolla irradiados con la mejor dosis (50 Gy) en las dos condiciones de almacenamiento. El tiempo de vida útil estuvo limitado por la pudrición en condiciones ambientales y por la brotación en refrigeración.

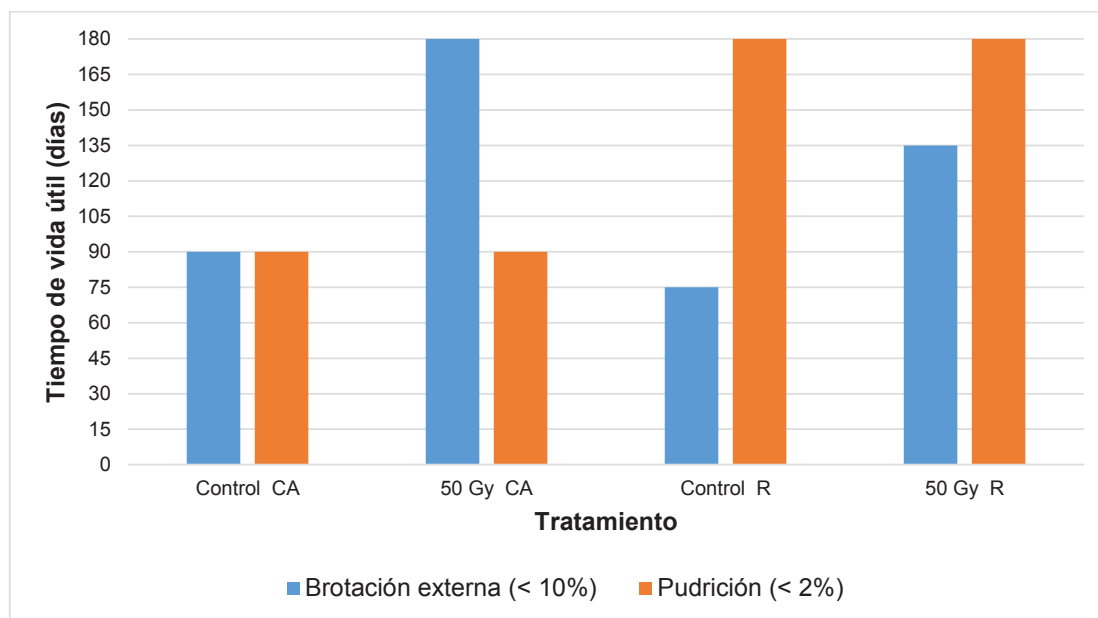


Figura 3.23. Tiempo de vida útil de cebolla perla curada y almacenada en condiciones ambientales (CA) y refrigeración (R) con brotación externa menor a 10 % y pudrición menor a 2 %

El mayor tiempo de vida útil de 135 días se obtuvo con la dosis de 50 Gy, el curado y el almacenamiento en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.). En estas condiciones los valores de los parámetros de calidad fueron: brotación externa 12,5 %; brotación interna 0,15; pudrición 0 %; pérdida de peso 8,86 %; firmeza 37,72 N, pérdida de hojas secas 5,51 % y apariencia general A (4).

3.2.10 COMPOSICIÓN PROXIMAL

La composición proximal de los bulbos irradiados con la mejor dosis (50 Gy) después de su almacenamiento en condiciones ambientales (19 °C y 60 % HR) durante 180 días se muestra en la tabla 3.8. Estos valores se compararon con la composición inicial de los bulbos no irradiados y se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el contenido de proteína, grasa y valor calórico.

Tabla 3.8. Composición proximal de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no irradiada en el día 0 e irradiada con una dosis de 50 Gy en el día 180 de almacenamiento en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.)

Característica	Control Día 0	Irradiada (50 Gy) Día 180
Proteína (Nx6,25) (%)	0,93 ± 0,13	< 0,1
Humedad (%)	92,28 ± 0,53	93,13 ± 0,67
Cenizas (%)	0,41 ± 0,06	0,36 ± 0,07
Fibra cruda (%)	0,6 ± 0,07	0,45 ± 0,02
Carbohidratos totales (%)	6,18 ± 0,49	6,30 ± 0,58
Valor calórico (kcal/100 g)	30,25 ± 1,89	26,25 ± 2,63
Grasa (%)	0,21 ± 0,00	0,12 ± 0,06

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

El contenido de proteína y grasa de los bulbos de cebolla fue inicialmente bajo y presentó una disminución significativa después de la exposición a los rayos gamma con una dosis de 50 Gy y el almacenamiento durante 180 días. El efecto biológico de la irradiación se debe a la interacción con átomos o moléculas, especialmente el agua, que produce radicales libres que pueden dañar o modificar componentes importantes de las células como en este caso proteínas y lípidos (Ahuja et al., 2014, p. 200). El estrés provocado por los rayos gamma sobre las células vegetales puede también ser una causa de una activación enzimática y provocar la modificación de proteínas y lípidos así como se presenta con otros factores de estrés (Hameed, Mahmud, Manzoor, Ahsanul y Sayed, 2008, p. 1 038)

Durante el almacenamiento de frutas y hortalizas se producen cambios en la composición nutricional debido a los procesos metabólicos que se llevan a cabo hasta la senescencia y muerte. Estos cambios están influenciados por las condiciones de almacenamiento (Salunkhe y Desai, 1988, p. 55). En el presente estudio se obtuvo una disminución de proteína en un 80 % y grasa en un 40 % con una temperatura de almacenamiento de 19 °C y humedad relativa de 60 %. Producto de la disminución de estos componentes se esperaba la pérdida del valor calórico debido al aporte de las grasas y proteínas de 9 kcal/g y 4 kcal/g respectivamente (Latham, 2002, p. 101).

La humedad no presentó variación con el tiempo de almacenamiento y el tratamiento de irradiación. Resultados similares se obtuvieron en el almacenamiento de la variedad amarilla Valcatorce INTA debido posiblemente al cierre del cuello y estabilización en las primeras etapas de la poscosecha (Pozzo, Aschkar, Pellejero, Gil y Roa, 2008, p. 9).

A diferencia de la grasa y proteína, los carbohidratos no disminuyeron debido probablemente a que la producción de pseudobrotes no promueve significativamente el consumo por catabolismo de carbohidratos como en el caso de la brotación normal (Benkeblia et al., 2002, p. 174; Benkeblia et al., 2004, p. 379). Además, la presencia de antioxidantes como los flavonoides, presentes en mayor cantidad en los bulbos de cebolla, pudo haber influido en los mecanismos de inhibición de radicales libres formados por la irradiación y por lo tanto permitió mantener la composición de cenizas, fibra cruda y carbohidratos durante el almacenamiento (Hameed, Mahmud, Manzoor, Ahsanul y Sayed, 2008, p. 1 038).

3.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Para el análisis sensorial se utilizó el método discriminativo mediante una prueba triangular. El análisis consistió en entregar a cada panelista tres muestras: dos con cebolla perla no irradiada y una con cebolla irradiada con una dosis de 50 Gy, y a cada uno de ellos se les pidió que identifiquen la muestra diferente. La prueba se

realizó al inicio y después de un mes de almacenamiento. Para ello se requirieron de mínimo 12 panelistas pero se obtuvieron 21 personas para la prueba realizada el día 0 de almacenamiento y 14 personas en el mes.

En el análisis estadístico se identificó si el número de personas que aciertan con la muestra diferente era estadísticamente significativo. Para ello se usó una tabla, presentada por Lawles y Heymann (2010), donde se establece el número mínimo de aciertos con el 5 % de significancia (p. 91).

Los resultados mostraron que no existen diferencias perceptibles entre la muestra irradiada con 50 Gy y la muestra control (no irradiada) desde el inicio y hasta el primer mes de almacenamiento en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.). El número de panelistas que acertaron con la muestra tratada fue de 5 en el día 0 y 6 en el día 30. Estos valores fueron inferiores a los necesarios para que exista diferencia con el 5 % de significancia como muestran los datos de la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Análisis estadístico de la prueba sensorial triangular de muestras de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada e irradiada con una dosis de 50 Gy en el día 0 y 30 de almacenamiento en condiciones ambientales

Tiempo de almacenamiento (días)	Número de panelistas	Número de aciertos	Número mínimo de aciertos (p= 5%)*
0	21	5	18
30	14	6	9

*(Lawles y Heymann, 2010, p. 91); p= nivel de significancia

Estudios realizados con la irradiación de cebolla de bulbo mostraron que no se presentan diferencias significativas o atributos desagradables para el consumidor debido a que los dosis utilizadas son bajas y no son suficientes para provocar cambios significativos en la composición de los precursores del aroma y sabor en comparación con las muestras no irradiadas (Thomas y Diehl, 2009, pp. 112-114).

3.4 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROCESO DE IRRADIACIÓN DE CEBOLLA PERLA DE EXPORTACIÓN

El análisis de factibilidad económico se realizó con tres alternativas de inversión para la producción de una hectárea de cebolla perla. La comercialización en el mercado local y la exportación a Estados Unidos y Brasil en el período de mayor demanda, entre febrero y julio. La extensión del tiempo de vida útil a través del tratamiento con irradiación gamma va a permitir el abastecimiento de cebolla por un periodo mayor.

La producción por hectárea de cebolla perla para exportación es de 600 sacos de 50 kg para la variedad “Campo Lindo”. Los cultivos de cebolla perla se ubican en la provincia de Manabí cantón Rocafuerte. Estos pertenecen a la Corporación de Productores de Cebolla y cuentan con accesibilidad, disponibilidad de mano de obra y agua de riego lo cual facilita su producción y exportación.

3.4.1 COSTO DE PRODUCCIÓN

El costo de producción está formado por los costos directos e indirectos involucrados en el cultivo de una hectárea de cebolla perla. El resumen de estos costos se muestra en la tabla 3.10.

Los costos directos están compuestos por la mano de obra involucrada en las labores culturales y preculturales para la producción de cebolla perla (en jornales de trabajo), los materiales directos como las semillas y los productos de aplicación para el control de malezas y fitosanitario.

Los costos indirectos son aquellos que no se relacionan directamente con el proceso de producción. En este caso los costos considerados son: los materiales indirectos como los envases, la mano de obra indirecta, el servicio de irradiación,

el arrendamiento de tierra y la depreciación y mantenimiento de herramientas y equipos.

Tabla 3.10. Costos directos e indirectos en dólares para la producción del cultivo de una hectárea de cebolla perla

Rubros	Cantidad	Unidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1. Costos directos				2 755,14
Preparación del suelo				228,00
Arado, rastrado y nivelado	1,0	ha	120,00	120,00
Surcada	1,0	ha	60,00	60,00
Limpieza e instalación de riego	6,0	jornal	8,00	48,00
Siembra				781,80
Semilla	2,0	kg	212,80	425,60
Tratamiento de semilla (Semevin)	0,1	L	35,00	4,20
Semillero	22,0	jornal	8,00	176,00
Trasplante	22,0	jornal	8,00	176,00
				239,25
Ronstar (pre y post trasplante)	2,0	L	35,00	70,00
H-1 Super	1,0	L	9,25	9,25
Control de malezas	20,0	jornal	8,00	160,00
Control de plagas				160,11
Karate	0,5	L	20,00	10,00
Larvin	0,5	L	38,95	19,48
Verlaq	0,2	L	50,00	10,00
Methavin	0,3	kg	49,00	14,70
Regent	0,4	kg	24,84	9,94
Aplicación	12,0	jornal	8,00	96,00
Control de enfermedades				257,48
Captan 80	0,5	kg	13,16	6,58
Bravo 720	1,0	L	15,00	15,00
Acrobat	1,5	kg	16,00	24,00
Amistar	0,2	kg	230,00	46,00
Rooval	1,0	kg	51,00	51,00
Rododur	3,0	L	6,30	18,90
Aplicación	12,0	jornal	8,00	96,00
Riego				271,00
Combustible	50,0	galón	1,48	74,00
Agua para riego	10,0	riego	0,50	5,00
Riego	24,0	jornal	8,00	192,00

Tabla 3.10. Costos directos e indirectos en dólares para la producción del cultivo de una hectárea de cebolla perla (continuación...)

Fertilización				577,50
Urea	5,0	saco	25,00	125,00
Muriato de potasio	5,0	saco	34,50	172,50
80-20-20	8,0	saco	27,00	216,00
Aplicación	8,0	jornal	8,00	64,00
Cosecha y poscosecha				240,00
Cosecha	20,0	jornal	8,00	160,00
Poscosecha	10,0	jornal	8,00	80,00
2. Costos indirectos				3 697,92
Materiales indirectos				435,92
Envases	800,0	saco	0,40	320,00
Piola	10,0	rollo	3,00	30,00
Pallets	24,0	unidad	3,58	85,92
Servicio de irradiación	30000,0	kg	0,07	2 079,00
Mano de obra indirecta				625,00
Depreciación de equipos y herramientas				132,00
Mantenimiento de equipos y herramientas				126,00
Arrendamiento de tierra				300,00
Imprevistos (5% rubros anteriores)				322,65
Costo total				6 453,06

(Carrillo et al., 2010, p. 71; Suquilanda, 2003, pp. 202-203)

Para el servicio de irradiación se tomó un valor referencial de un irradiador comercial multipropósitos que trabaja con dosis bajas durante 24 h/d. Este valor corresponde a 0,07 USD/kg de producto irradiado (Bustos-Griffin et al., 2015, p. 254). Con este valor estimado el tratamiento con irradiación corresponde al 39 % del costo de producción.

3.4.2 GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y VENTAS

Los gastos de administración y ventas varían según el destino de exportación como se observa en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Gastos de transporte interno y externo, trámite aduanero y tarifas arancelarias para la exportación de cebolla perla

Rubro	EEUU	Brasil
Transporte interno	297	297
Transporte externo	6 000	400
Trámite aduanero	1 190	1925
Tarifas arancelarias	249	0
Total	7 736	2 622

(Carrillo et al., 2010; PROECUADOR, 2014, p. 4; PROECUADOR, 2015a, p. 4)

3.4.2.1 REQUISITOS DE EXPORTACIÓN

Los requisitos generales para la exportación de cualquier producto son (PROECUADOR, 2015b):

- RUC de exportador
- Factura comercial
- Registro de exportador en el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador
- Certificado fitosanitario
- Certificado de origen
- Documento de transporte

Además de estos documentos para la importación en dichos países se requiere presentar los siguientes documentos:

- Conocimiento de embarque
- Factura comercial
- Declaración de aduana de exportación
- Factura de exportación
- Lista de empaque

Los requisitos adicionales para cumplir la Ley de Bioterrorismo de los Estados Unidos son (PROECUADOR, 2013a, p. 29):

- Registro de instalaciones
- Notificación previa
- Establecimiento y mantenimiento de registros
- Detención administrativa
- Embalajes de madera
- Registro de marca
- Cuotas de importación

3.4.2.2 TRANSPORTE

Para la distribución del producto a Estados Unidos, los sacos de cebolla se cargan en contenedores en la plantación y se llevan en tráiler hasta el puerto de Guayaquil donde pasan por un chequeo antes de ser llevados en barco hasta el puerto de Nueva York, donde se encuentra el mercado de consumidores más grande del mundo. El costo del transporte de un contenedor refrigerado de 12,2 m³ (40 pies³) hasta el puerto de Nueva York es de 6 000 USD y tiene una duración de 15-17 días (PROECUADOR, 2014, p. 4).

Para el caso de Brasil, la cebolla perla se transporta vía marítima en contenedor hasta el puerto de Santos, ubicado en Sao Paulo, principal ciudad comercial de este país. El transporte marítimo desde el puerto de Guayaquil hasta Brasil tiene una duración entre 18 y 21 días con un costo de 400 USD por contenedor de 12,2 m³ (40 pies³) (PROECUADOR, 2015a, p. 4).

3.4.2.3 TRÁMITES ADUANEROS Y TARIFAS ARANCELARIAS

La tarifa aplicada por Estados Unidos a las importaciones de cebollas frescas o refrigeradas procedentes de Ecuador corresponde a la tarifa de la nación más favorecida con un valor de 8,3 USD/t (PROECUADOR, 2010). En el caso de Brasil,

en 2013 se autorizó la importación de cebolla perla ecuatoriana sin aranceles por cualquier puerto o vía terrestre (PROECUADOR, 2013b).

3.4.3 INGRESOS

Los ingresos corresponden a la venta de los sacos de 50 kg de cebolla perla en los diferentes mercados. En el primer caso, la comercialización se realiza en el mercado interno al valor más bajo de 4 USD/saco en época de baja demanda. En el segundo se exporta al mercado brasileño por un valor de 20 USD/saco. En el tercero los sacos de cebolla se venden a Estados Unidos por un valor de 36 USD/saco (PROECUADOR, 2013b, p. 8).

3.4.4 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Para el análisis costo-beneficio se consideraron tres alternativas para la comercialización de la producción de una hectárea de cebolla perla (600 sacos de 50 kg). En el primer caso, se realiza la venta a nivel local a uno de los precios más bajos alcanzado por la falta de opciones de comercialización y el reducido tiempo de vida útil que normalmente alcanzan los bulbos de cebolla perla variedad "Campo Lindo" de acuerdo a la experiencia de los productores. En el segundo y tercer caso la producción se exporta a Estados Unidos y Brasil respectivamente con los beneficios del tratamiento de irradiación.

Como se observa en la tabla 3.12, la relación beneficio/costo (B/C) de las tres alternativas indican la factibilidad económica de la segunda y tercera opción (exportación a EEUU y Brasil) a diferencia de la primera (mercado interno) con valores de 1,27; 1,35 y 0,54, respectivamente. La relación B/C menor a 1 se justifica porque el precio por saco es muy bajo por lo tanto no es el necesario para cubrir los costos de producción. Este valor se puede entender como la inversión de 1 USD que produce 0,54 USD, es decir se tiene el 46 % de pérdidas económicas. En los

casos de comercialización a los mercados internacionales, la relación obtenida es superior a 1 lo cual indica que se recupera la inversión y se tienen ganancias.

Tabla 3.12. Relación beneficio-costo de las alternativas de comercialización de cebolla perla a Estados Unidos y Brasil

Rubro	Nacional	EEUU	Brasil
	USD	USD	USD
Costo de producción	4 374,06	6 453,06	6 453,06
Gastos de ventas y administración	297,00	15 009,00	4 147,00
Gastos de financiamiento	1 260,00	1 260,00	1 260,00
Costos y gastos totales	5 931,06	22 722,06	11 860,06
Costo unitario del producto (saco de 50 kg)	7,41	28,40	14,83
Precio unitario (saco de 50 kg)	4,00	36,00	20,00
Ingresos	3 200,00	28 800,00	16 000,00
Egresos	5 931,06	22 722,06	11 860,06
Utilidad/Pérdida	-2 731,06	6 077,94	4 139,94
Relación B/C	0,54	1,27	1,35

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Las características físico-químicas de la cebolla perla variedad Campo Lindo curada y no curada no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p > 0,05$) y se encuentran dentro de los rangos encontrados en bibliografía para cebollas de bulbo.
2. La clasificación de los bulbos de cebolla perla según el calibre mostró que el 96 % se ubica en la segunda categoría según la norma INEN y el 92 % corresponde al tamaño “medium” y por lo tanto son apropiadas para su comercialización en el mercado interno y su exportación a mercados como Colombia, Venezuela y Brasil.
3. El efecto del curado, irradiación y condiciones de almacenamiento sobre las variables: brotación externa e interna, pudrición, pérdida de peso y apariencia general fue significativo ($p < 0,05$). El curado, irradiación y almacenamiento en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) redujo significativamente la brotación externa e interna, pudrición, pérdida de peso y mejoró la apariencia general en comparación con las muestras control.
4. La irradiación de bulbos curados de cebolla perla variedad “Campo Lindo” con una dosis de 50 Gy y almacenamiento en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) fue efectiva para obtener un tiempo de vida útil de 135 días con valores de brotación externa igual a 12,5 %; brotación interna 0,15; pudrición 0 %; pérdida de peso 8,86 %; firmeza 37,72 N, pérdida de hojas secas 5,51 % y apariencia general A (4).
5. El tratamiento de irradiación con una dosis de 50 Gy aplicado a bulbos de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no afecta la aceptabilidad sensorial hasta un mes de su almacenamiento.

6. Es factible económicamente el uso de la irradiación como técnica de conservación de la cebolla perla ecuatoriana de exportación variedad “Campo Lindo” y su posterior comercialización a los mercados de Brasil y Estados Unidos. Se obtuvo una relación B/C de 1,27 y 1,35 respectivamente.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Estudiar el efecto de una dosis de irradiación menor a 50 Gy y almacenamiento a temperaturas menores a 6 °C y superiores a 25 °C sobre los principales parámetros de calidad poscosecha.
2. Determinar el efecto de la radiación gamma sobre los compuestos bioactivos presentes en la cebolla, como la quercetina, fructanos y compuestos volátiles azufrados.
3. Optimizar el manejo agronómico para obtener bulbos de mayor tamaño y mejor grado de uniformidad
4. Realizar un estudio para un mejor control y mejoramiento de las prácticas en la cosecha y poscosecha de la cebolla perla ecuatoriana de exportación para evitar pérdidas por el deterioro de la calidad a causa de la pudrición y daños físicos (heridas y golpes).
5. Analizar alternativas de productos procesados o semi-procesados a partir de cebolla perla con el uso de la tecnología de irradiación gamma para dar un valor agregado y extender el tiempo de vida útil
6. Estudiar el comportamiento en el almacenamiento después del proceso de radiación gamma de variedades rojas las cuales representan mayor demanda en el mercado nacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abrameto, M., Pozzo, C., Gil, M. y Molina, L. (2010). Analysis of methodologies for the study of composition and biochemical carbohydrate changes in harvest and postharvest onion bulbs. *Fyton*, 79, 123–132.
2. Adamicki, F. (2005). Effects of pre-harvest treatments and storage conditions on quality and shelf-life of onions. *International Society for Horticultural Science*, 688(4), 26–33.
3. Ahirwar, R. (2013). Gamma radiation induced chromosomal aberrations at mitosis in *Allium cepa* L. *International Journal of Science and Research*, 4(4), 855–858. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.688.31
4. Ahuja, S., Kumar, M., Kumar, P., Gupta, V., Singhal, R., Yadav, A. y Singh, B. (2014). Metabolic and biochemical changes caused by gamma irradiation in plants. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 300(1), 199-212. doi: 10.1007/s10967-014-2969-5
5. Amer, E. y Gamea, G. (2003). Physical and mechanical properties of bulb onions. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 20(3), 661-676.
6. Anbukkarasi, V., Paramaguru, P., Pugalendhi, L., Ragupathi, N. y Jeyakumar, P. (2013). Studies on Pre and Post-Harvest Treatments for Extending Shelf Life in Onion - A Review. *Agricultural Research Communication Centre*, 34(4), 256–268. doi:10.5958/j.0976-0741.34.4.011
7. AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington, USA.
8. Arboleya, J., Maeso, D., Campelo, E., Paullier, J. y Giménez, G. (2013). *Producción integrada de cebolla*. Montevideo, Uruguay: INIA.
9. Arvanitoyannis, I. (2010). *Irradiation of food commodities: techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion*. (1era ed.). Londres, Reino Unido: Elsevier.
10. Bachmann, J. y Earles, R. (2000). *Postharvest Handling of fruits and vegetables*. Recuperado de <http://www.attra.org/attra-pub/postharvest.html> (Mayo, 2015)
11. Bahnasawy, A., El-Haddad, Z., Al-Ansary, M. y Sorour, H. (2004). Physical and mechanical properties of some Egyptian onion cultivars. *Journal*

of food engineering, 62, 255-261. doi: 10.1016/S0260-8774(03)00238-3

12. Baninasab, B. y Rahemi, M. (2006). Efecto de altas temperaturas en brotación y pérdida de peso de dos cultivares de cebolla. *American Journal of Plant Physiology*, 1(2), 199–204.
13. Barriendo, V. (2013). *Aplicación de tecnologías post-cosecha para mantener la calidad de la cebolla D.O.P. Fuentes de Ebro*. (Tesis de grado previo a la obtención del título de máster en iniciación en ciencia y tecnología de alimentos no publicado). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.
14. BCE. (2015). *Consulta total por nandina por país de cebolla perla (Allium cepa L.)*. Recuperado de http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/comercio/consultaTotXNandinaPaisConGrafico.jsp (Julio, 2015)
15. Benkeblia, N., Onodera, S. y Shiomi, N. (2004). Effect of gamma irradiation and temperature on fructans (fructo-oligosaccharides) of stored onion bulbs *Allium cepa* L. *Food Chemistry*, 87(1), 377–382. doi:10.1016/j.foodchem.2003.12.010
16. Benkeblia, N., Varoquaux, P., Shiomi, N. y Sakai, H. (2002). Storage technology of onion bulbs c.v. Rouge amposta: Effects of irradiation, maleic hydrazide and carbamate isopropyl, N-phenyl (CIP) on respiration rate and carbohydrates. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(1), 169–175. doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00554.x
17. Bianco, C., Kraus, T. y Vegetti, A. (2004). *La hoja: morfología externa y anatomía*. (1era ed.). Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto
18. Boots, A., Haenen, G. y Bast, A. (2008). Health effects of quercetin: from antioxidant to nutraceutical. *European Journal of Pharmacology*, 585(3), 325–337. doi:10.1016/j.ejphar.2008.03.008
19. Brewster, J. (2001). *Las cebollas y otros alliums*. Zaragoza, España: Acribia.
20. Bustos-Griffin, E., Hallman, G. y Griffin, R. (2015). Phytosanitary irradiation in ports of entry: a practical solution for developing countries. *International Journal of Food Science & Technology*, 50, 249–255. doi:10.1111/ijfs.12676

21. Campbell, N., Mitchell, L. y Reece, J. (2001) *Biología: conceptos y relaciones*. (3era ed.). Naucalpán de Juárez, México: Pearson Educación
22. Cantwell, M. y Kader, A. (2001). *Properties and recommended conditions for long-term storage of fresh fruits and vegetables*. California, USA:UC Davis.
23. Carballo, S. (2005). *Poscosecha de cebolla en Uruguay*. Montevideo, Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)
24. Carrillo, R., Carvajal, T., Valarezo, O., Cañarte, E., Mendoza, A. y Mendoza, H. (2010). Cebolla (*Allium cepa* L.). En *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas y estimación de costos de producción para cultivos de ciclo corto en Manabí* (pp. 60–71). Manabí, Ecuador: INIAP.
25. Centro de Comercio Internacional. (2014). *Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas*. Recuperado de <http://www.trademap.org/> (Julio, 2015)
26. Chope, G., Terry, L. y White, P. (2007). The effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the physical and biochemical characteristics of onion cv . SS1 bulbs during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 131–140. doi:10.1016/j.postharvbio.2006.11.012
27. Codex Alimentarius. (2003). *Norma General del Codex para Alimentos Irradiados*. Recuperado de www.codexalimentarius.org/input/download/standards/.../CXS_106s.pdf (Julio, 2015)
28. Coolong, T. (2007). *Physiological Factors Affecting Onion (Allium Cepa L.) Storability-Cultural Methods for Improving Postharvest Quality*. (Disertación doctoral no publicada). Universidad de Georgia, Atenas, Georgia.
29. COVENIN. (2000). *COVENIN 2194: 2000: Cebolla para consumo directo*.
30. Curzio, O. y Croci, C. (1990). *Evaluation of argentinian onion shipped to the Netherlands*. Informe final del proyecto de investigación "Studies of pre-commercial scale irradiation of onions and garlic to control sprouting" (pp. 18-37). Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur (UNS).
31. Downes, K., Chope, G. y Terry, L. (2010). Postharvest application of ethylene and 1-methylcyclopropene either before or after curing affects onion (*Allium cepa* L.) bulb quality during long term cold

- storage. *Postharvest Biology and Technology*, 55(1), 36–44. doi:10.1016/j.postharvbio.2009.08.003
32. Eady, C., Kamoi, T., Kato, M., Porter, N., Davis, S. y Shaw, M. (2008). Silencing onion lachrymatory factor synthase causes a significant change in the sulfur secondary metabolite profile. *Plant Physiology*, 147(4), 2096–2106. doi:10.1104/pp.108.123273
 33. Endalew, W., Getahun, A., Demissew, A., y Ambaye, T. (2014). Storage performance of naturally ventilated structure for onion bulbs. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 97-101.
 34. EPA. (2014). *Pesticides and Food: What the Pesticide Residue Limits are on Food*. Recuperado de <http://www.epa.gov/pesticides/food/viewtols.htm> (Febrero, 2015)
 35. Esparza, J., Navarro, A., Kendall, P., Fortis, M., Preciado, P. y Meza, J. (2013). Aceptabilidad de lechuga de hoja fresca troceada , tratada con ácido ascórbico mediante hidrogenfriamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 767–778.
 36. FAO y OMS. (2007). *Etiquetado de los Alimentos* (5ta. ed.). Roma, Italia: Codex alimentarius.
 37. FAO y OMS. (2013). *Residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos*. Recuperado de <http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/commodities/details.html?d16497o=> (Mayo, 2015)
 38. FAOSTAT. (2012). *Top production: Onions dry*. Recuperado de <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (Julio, 2015)
 39. Farkas, J. y Mohácsi-Farkas, C. (2011). History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 22(3), 121–126. doi:10.1016/j.tifs.2010.04.002
 40. FDA. (2015). *La irradiación de alimentos: lo que usted debe saber*. Recuperado de <http://www.fda.gov/Food/ResourcesForYou/Consumers/ucm261938.htm> (Agosto, 2015)
 41. Feippe, A. y Carballo, S. (2003). *Guía práctica de análisis físico-químico de frutas y hortalizas*. En Actividades de difusión 331 (pp. 1-18). Canelones, Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

42. Fritsch, R. y Friesen, N. (2002). Taxonomy. En Rabinowitch, H y Currah, L. (Ed.). *Allium Crop Science: Recent Advances* (pp. 5–30). Osnabrück, Alemania: CAB International.
43. Ghaffari, H., Marghoub, N., Sheikhdarabadi, M. y Hakimi, A. (2013). Physical properties of three Iranian onion varieties. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 7(9), 587–593.
44. Ghulam, N., Rab, A., Sajid, M., Farhatullah, Abbas, S. y Ali, I. (2013). Influence of curing methods and storage conditions on the post-harvest quality of onion bulbs. *Pakistan Journal of Botany*, 45(2), 455–460.
45. González, A. (2014). Morfología de plantas vasculares. Recuperado de http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3_2geofito.htm (Enero, 2016)
46. González, M., Miravé, J., Saluzzo, J., Rattin, J. y Tognetti, J. (2005). Relaciones entre el tamaño y la conservación de bulbos de cebolla para diferentes cultivares y condiciones de almacenamiento. *FAVE*, 4 (1), 21-30.
47. Hameed, A., Mahmud, T., Manzoor, B., Ahsanul, M. y Sayed, H. (2008). Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in Desi and Kabuli chickpea. *Pakistan Journal of Botany*, 40(3), 1033-1041
48. IAEA. (2002). *Dosimetry for Food Irradiation*. doi:10.1097/00004032-200305000-00016
49. ICONTEC. (1994). *NTC 1221: Frutas y hortalizas frescas, cebolla cabezona*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
50. IICA. (2006). *Guía práctica de exportación de cebolla a los Estados Unidos*. Managua, Nicaragua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
51. INAMHI. (2014). *Anuario meteorológico № 51-2011*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) .
52. INEN. (2012). NTE INEN 1746: Hortalizas frescas: cebolla de bulbo requisitos. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

53. INIAP. (2008). *Guía técnica de cultivos*. En Manual No. 73. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
54. Instituto Nacional de Preinversión. (2013). *Estudio básico para el aprovechamiento industrial de las Tecnologías de Irradiación en el Ecuador* (1era ed.). Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Preinversión.
55. IPGRI. (2001). *Descriptores del Allium spp.* Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
56. Kader, A. (2011). *Tecnología poscosecha de productos hortofrutícolas*. (3era. ed.). California, USA: Universidad de California.
57. Khan, A., Khattak, Y. y Khan, R. (1999). Extending the Storage Life of Onions by Gamma Radiation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2(3), 750–751. doi:10.3923/pjbs.1999.750.751
58. Kume, T., Furuta, M., Todoriki, S., Uenoyama, N. y Kobayashi, Y. (2009). Status of food irradiation in the world. *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 222–226. doi:10.1016/j.radphyschem.2008.09.009
59. Lanzotti, V. (2006). The analysis of onion and garlic. *Journal of Chromatography*, 1112(1-2), 3–22. doi:10.1016/j.chroma.2005.12.016
60. Lanzotti, V., Romano, A., Lanzuise, S., Bonanomi, G. y Scala, F. (2012). Antifungal saponins from bulbs of white onion, *Allium cepa* L. *Phytochemistry*, 74, 133–139. doi:10.1016/j.phytochem.2011.11.008
61. Lardizabal, R. (2007). *Manual de producción: cultivo de cebolla*. La Lima, Honduras: Cuenta del Desafío del Milenio de Honduras
62. Latham, M. (2002). Macronutrientes: carbohidratos, grasas y proteínas. En *Nutrición humana en el mundo en desarrollo* (pp. 99-107). Roma, Italia: Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
63. Lawles, H. y Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. (2da. ed.). New York, USA: Springer.
64. Lee, E. J., Patil, B. S. y Yoo, K. S. (2015). Antioxidants of 15 onions with white, yellow, and red colors and their relationship with pungency, anthocyanin, and quercetin. *Food Science and Technology*, 63(1), 108–114. doi:10.1016/j.lwt.2015.03.028

65. López, E., Arnelas, I., Rodríguez, V., De la Estrella, M. Martínez, G. y Devesa, J. (2014). Morfología básica de angiospermas: terminología práctica. *Reduca (Biología)*, 7(2), 133-150.
66. Machavarapu, M., Sindiri, M. y Vangalapati, M. (2013). Optimization of physico-chemical parameters for the extraction of flavonoids and phenolic components from the skin of *Allium cepa*. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(7), 3125–3129.
67. Mallor, C. (2006). *Características de las principales variedades de cebolla de primavera-verano*. Recuperado de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/68/489/68489.pdf> (Febrero, 2015)
68. Mallor, C., Carravedo, M., Estopañan, G. y Mallor, F. (2011). Characterization of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from the spanish secondary centre of diversity. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(1), 144–155. doi:10.5424/sjar/20110901-149-10
69. Marcía, R. (2009). *Evaluación de cultivares de cebolla amarilla, blanca y roja de días cortos en tres fechas de siembra*. En Programa de Hortalizas: Informe técnico 2008 (pp. 2-10). La Lima, Honduras: FHIA.
70. Melges, J., Curzio, O., Croci, C., Domarco, R., Fillet, M. y Blumer, L. (1997). Avaliação da qualidade da cebola irradiada argentina e armazenada no Brasil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 32(6), 565–569.
71. Menchú, M. y Méndez, H. (2007). *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica*. (2da. ed.). Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).
72. Mishra, V. y Gamage, T. (2002). *Handbook of Food Preservation*. (2da. ed.). New York, USA: CRC Press.
73. Muñoz, A. y Ramos, F. (2007). Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. *Revista Horizonte Médico*, 7(1), 23–31.
74. Nouri, J. y Toofanian, F. (2001). Extension of storage of onions and potatoes by gamma irradiation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(10), 1275-1278.

75. Opara, L. (2003). *Onion. Post-harvest Operations*. Palmerston North, New Zealand: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
76. Pellegrini, C., Croci, C. y Orioli, G. (2000). Morphological changes induced by different doses of gamma irradiation in garlic sprouts. *Radiation Physics and Chemistry*, 57, 8–11.
77. Pozzo, M., Aschkar, G., Pellejero, G., Gil, M. y Roa, R. (2008). Efecto de temperatura, humedad relativa y fisiología de bulbos de cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) en la incidencia de *Aspergillus Níger* en el valle inferior del río Negro, Argentina. *Revista Pilquen*, 10(9), 1–14. Recuperado de http://www.revistapilquen.com.ar/Agronomia/Agro9/9_PozzoArdizzi%20y%20otros_Efectos.pdf (Julio, 2015)
78. Priya, E., Sinja, V., Alice, R., Shanmugasundaram, S. y Alagusundaram, K. (2014). Storage of onions – a review. *Agricultural Reviews*, 35(4), 239–249. doi:10.5958/0976-0741.2014.00911.8
79. PROECUADOR. (2010). *Información de Primer Nivel. Servicio de Asesoría al exportador. Producto: Cebolla Perla. Destino: Estados Unidos de América*. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/03/P-1203-CEBOLLA_PERLA-EEUU.pdf (Agosto, 2015)
80. PROECUADOR. (2013a). *Catálogo de la oferta exportable Ecuatoriana*. Recuperado de <http://venezuela.embajada.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/5.-CATALOGO-OFERTA-EXPORTABLE-PARA-VENEZUELA.pdf> (Agosto, 2015)
81. PROECUADOR. (2013b). *Situación del mercado de la cebolla en Brasil*. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/PROEC_PPM2013_CEBOLLA_BRASIL1.pdf (Noviembre, 2014)
82. PROECUADOR. (2014). *Perfil logístico de Estados Unidos*. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2014/12/PROEC_GL2014_USA.pdf (Agosto, 2015)
83. PROECUADOR. (2015a). *Perfil logístico de la República Federativa de Brasil*. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/02/PROEC_GL2015_BRASIL.pdf (Agosto, 2015)

84. PROECUADOR. (2015b). Tramitación de las exportaciones. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/invierta-en-ecuador/entorno-de-negocios/comercio-exterior/> (Agosto, 2015)
85. Qadir, A., Hashinaga, F. y Karim, M. (2009). Effects of Pre-Storage Treatment with Ethanol and CO₂ on Onion Dormancy. *Journal of Bio-Science*, 15, 55–62. doi:10.3329/jbs.v15i0.2203
86. Randle, W. y Hui, Y. (1997). Processing Vegetable Commodities: Onions. En *Processing Vegetables: Science and Technology* (pp. 209–227). Estados Unidos de América: Technomic Publishing Company.
87. Raigón, M. (2006). El nivel de pungencia de las cebollas. *Horticultura Internacional*, 51, 48-51. Recuperado de: http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi51/048_051.pdf (Enero, 2016)
88. Rees, D., Farrell, G. y Orchard, J. (2012). *Crop Post-Harvest: Science and Technology Perishables* (1era. ed.). United Kingdom: Wiley-Blackwell.
89. Reyes, M., Gómez-Sánchez, I., Espinoza, C., Bravo, F. y Ganoza, L. (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos* (8va. ed.). Lima, Perú: Centro Nacional de Alimentación y Nutrición.
90. Roberfroid, M. B. y Delzenne, N. (1998). Dietary fructans. *Annual Review of Nutrition*, 18, 117–143. doi:10.1146/annurev.nutr.18.1.117
91. Roberts, P. (2014). Food irradiation is safe: Half a century of studies. *Radiation Physics and Chemistry*, 1–5. doi:10.1016/j.radphyschem.2014.05.016
92. Rodrigues, A., Pérez-Gregorio, M., García-Falcón, M. y Simal-Gándara, J. (2009). Effect of curing and cooking on flavonols and anthocyanins in traditional varieties of onion bulbs. *Food Research International*, 42(9), 1331–1336. doi:10.1016/j.foodres.2009.04.005
93. Rodríguez, J., Pérez, M., Ramírez, H. y Zambrano, J. (1998). Caracterización de algunos parámetros de calidad en la cebolla bajo diferentes épocas de cosecha. *Agronomía Tropical*, 48 (1), 33-40. Recuperado de: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4801/arti/rodriguez_j.htm
94. Rodríguez, B., Tascón, C., Rodríguez, E. M. y Díaz, C. (2009). Fructans and major compounds in onion cultivars (*Allium cepa*). *Journal of*

Food Composition and Analysis, 22(1), 25–32.
doi:10.1016/j.jfca.2008.07.007

95. Saavedra, D., Vallecillo, M. y Rodríguez, M. (2004). *Perfil de proyecto Cebolla para exportación* (1era. ed.). Managua, Nicaragua: Editarte.
96. SAGPyA. (2009). *Protocolo de calidad para cebollas frescas argentinas..* Recuperado de <http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/150000-154999/150834/norma.htm> (Agosto, 2015)
97. Salunkhe, D., Desai, B. (1988). Effects of Agricultural Practices, Handling, Processing, and Storage on Vegetables. En *Nutritional Evaluation of Food Processing*. (pp-23-71). Nueva York, Estados Unidos: Springer Netherlands
98. Sánchez Pineda de las Infantas, M. (2004). *Procesos de Conservación Poscosecha de Productos Vegetales* (1era. ed.). Madrid, España: Vicente.
99. Sharma, A. (2004). Post-Harvest Processing of Fruits and Vegetables By Ionizing Radiation. En Dris, R. y Jain, S. (Ed.). *Postharvest Treatment and Technology* (pp. 261–295). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
100. Sharma, K., Hariram, S. y Won, S. (2015). Importance of growth hormones and temperature for physiological regulation of dormancy and sprouting in onions. *Food Reviews International*, 1–53. doi:10.1080/87559129.2015.1058820
101. SINAGAP. (2012). *Reporte de resultados del censo provincial del Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Recuperado de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/resultados-provinciales> (Mayo, 2015)
102. Skou, J. (1971). Studies on the Effects of Ionizing Radiation for Extending the Storage Lives of Onions. En Risø Report N° 238, Roskilde, Dinamarca. Recuperado de http://orbit.dtu.dk/ws/files/52769004/ris_238.pdf (Agosto, 2015)
103. Suquilanda, M. (2003). Cebolla perla. En *Producción Orgánica de hortalizas en la sierra norte y central del Ecuador* (pp. 175-204). Quito, Ecuador: Publiasesores.
104. Suslow, T. (2013). *Cebollas de Guarda: Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha*. Recuperado de

http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Cebollas_de_Guarda/
(Julio, 2015)

105. Swietlinska, Z. y Zuk, J. (1978). Cytotoxic effects of maleic hidrazide. *Mutation Research*, 55(1), 15–30. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/368621> (Mayo, 2015)
106. Temur, C. y Tiryaki, O. (2013). Irradiation alone or combined with other alternative treatments to control postharvest diseases. *African Journal of Agricultural Research*, 8(5), 421–434. doi:10.5897/AJAR11x.004
107. Thomas, P. y Diehl, J. (2009). Radiation preservation of foods of plant origin. Part 2. Onions and other bulb crops. *Food Science and Nutrition*, 21(2), 95–136. doi: 10.1080/10408398409527398
108. Thomas, P., Srirangarajan, A. y Limaye, S. (1975). Studies on sprout inhibition of onions by gamma irradiation-I. Influence of timme interval between harvest and irradiation, radiation dose and enviromental conditions on sprouting. *Radiation Botany*, 15, 215–222. doi: 10.1016/S0033-7560(75)80020-2
109. Thompson, L., Peffley, E., Green, C., Paré, P. y Tissue, D. (2004). *Biomass, flavonol levels and sensory characteristics of Allium cultivars grown hydroponically at ambient and elevated CO2*. 04ICES-136. doi:10.4271/2004-01-2300
110. USDA. (2010). United States Standards for Grades of Onions (Other than Bermuda-Granex-Grano and Creole Types). En *Code of Federal Regulations* (Especial ed.). Washington, USA: Printing Office.
111. Vallejo, J., Pera, D. y Carrasco, M. (2008). Las especies del género *Allium* con interés medicinal en Extremadura. *Medicina Naturista*, 2(1), 2–6.
112. Vargas, G. (2011). *Botanica General: desde los musgos hasta los árboles*. (1era ed.). San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia
113. Viloria, A., Arteaga, L., Diaz, L. y Delgado, D. (2003). Efecto de fertilización con N-P-K y la distancia de siembra sobre el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L .). *Bioagro*, 15(2), 129–133.
114. Vintila, M., Niculescu, F. y Romas, M. (2014). Technical Aspects Regarding the Preservation of Dry Onions in Different Storage Conditions. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 71(2), 195–199. doi:10.15835/buasvmcn-fst

115. Watkins, C. B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, 24(4), 389–409. doi:10.1016/j.biotechadv.2006.01.005
116. Wright, P. J. y Triggs, C. M. (2005). Effects of curing, moisture, leaf removal, and artificial inoculation with soft-rotting bacteria on the incidence of bacterial soft rot of onion (*Allium cepa*) bulbs in storage. *Australasian Plant Pathology*, 34(3), 355–359. doi:10.1071/AP05051
117. Ye, C., Dai, D. y Hu, W. (2013). Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil from onion (*Allium cepa* L.). *Food Control*, 30(1), 48–53. doi:10.1016/j.foodcont.2012.07.033
118. Yoo, K., Lee, E. y Patil, B. (2012). Changes in Flavor Precursors, Pungency, and Sugar Content in Short-Day Onion Bulbs during 5-Month Storage at Various Temperatures or in Controlled Atmosphere. *Journal of Food Science*, 77(2), 216–221. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02529.x
119. Yoo, K., Pike, L., Crosby, K., Jones, R. y Leskovar, D. (2006). Differences in onion pungency due to cultivars, growth environment, and bulb sizes. *Scientia Horticulturae*, 110(2), 144–149. doi:10.1016/j.scienta.2006.07.006
120. Zhang, Z., Wu, W. y Li, G. (2006). HSSPME-GC/MS Study of the Aroma Volatiles of *Allium* species and Chemometric Interpretation for the Aroma Characteristics. *Journal of Plant Sciences*, 1(4), 315–323. doi:10.3923/jps.2006.315.323

ANEXOS

ANEXO I

RESULTADOS DE BROTAÇÃO EXTERNA

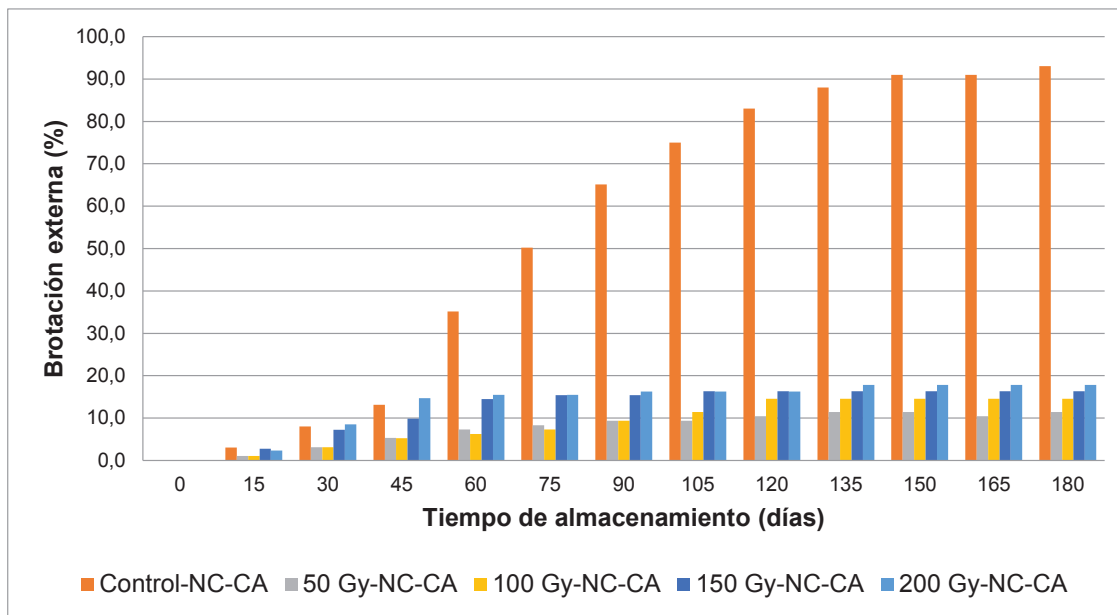


Figura AI.1. Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

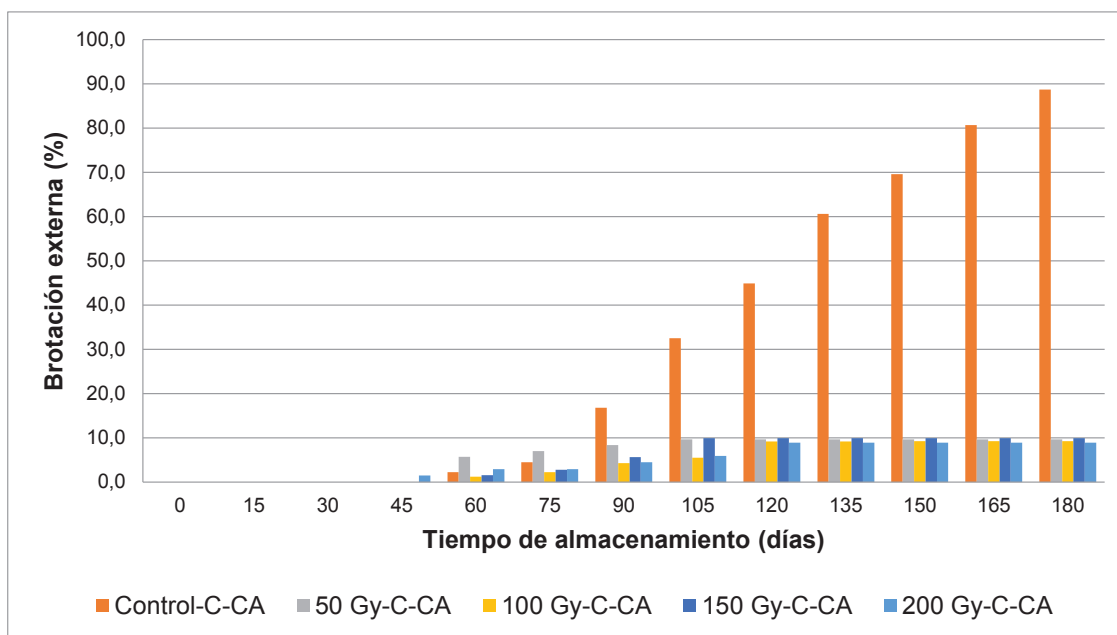


Figura AI.2. Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

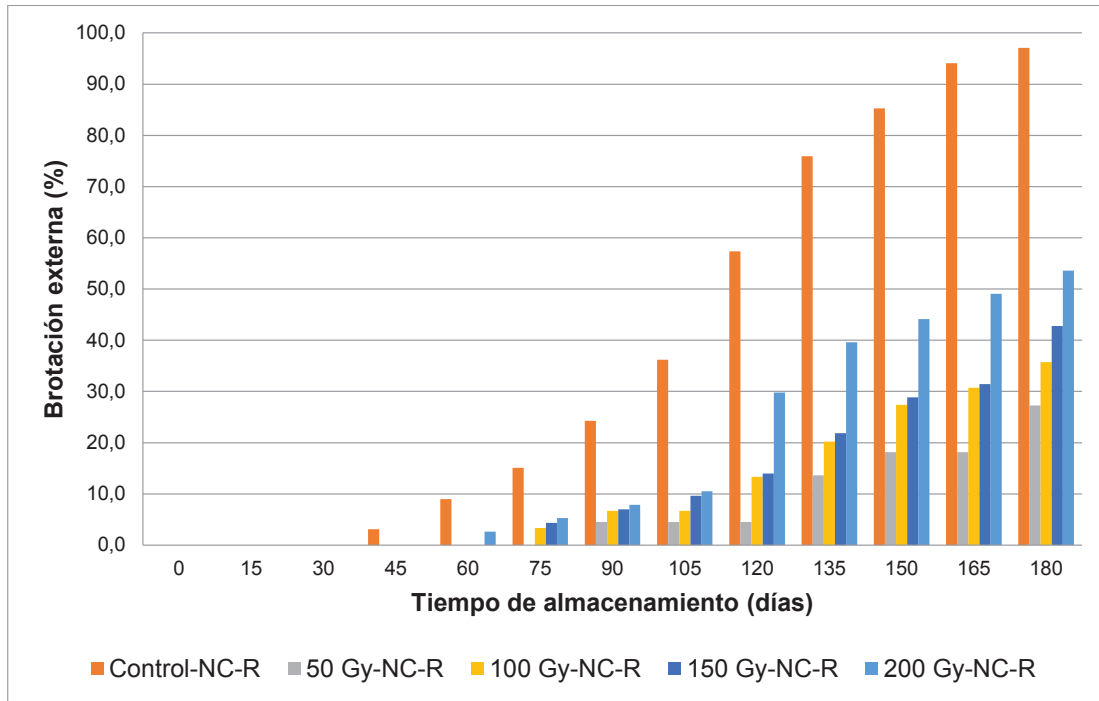


Figura AI.3. Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días

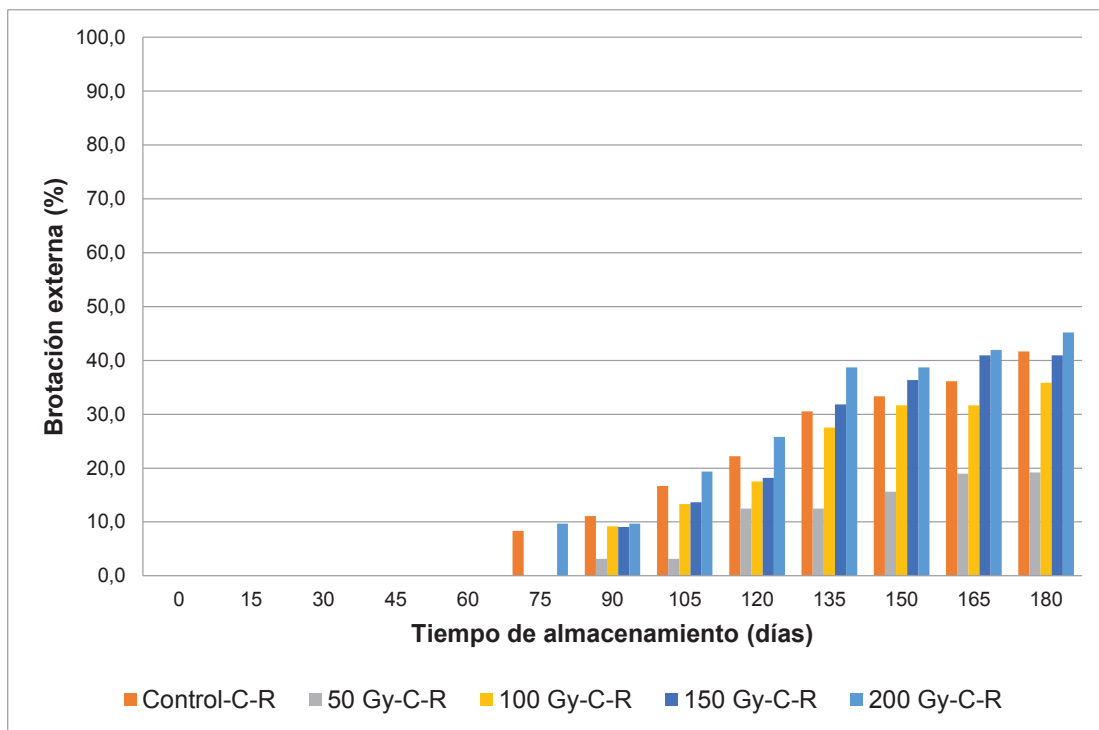


Figura AI.4. Brotación externa de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días

ANEXO II

RESULTADOS DE PUDRICIÓN

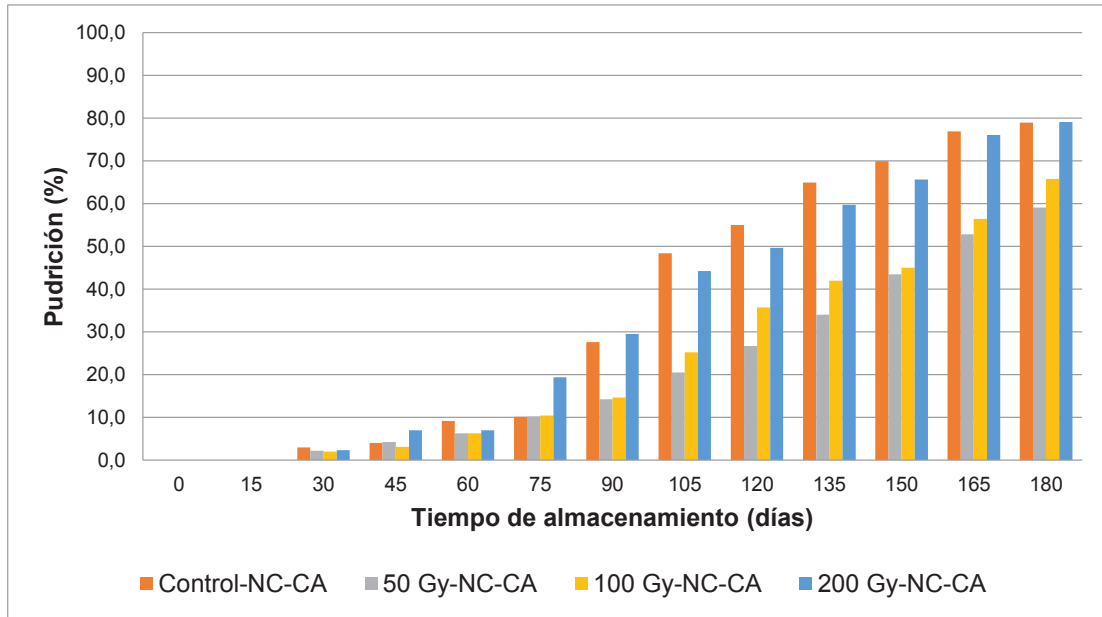


Figura AII.1. Pudrición de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

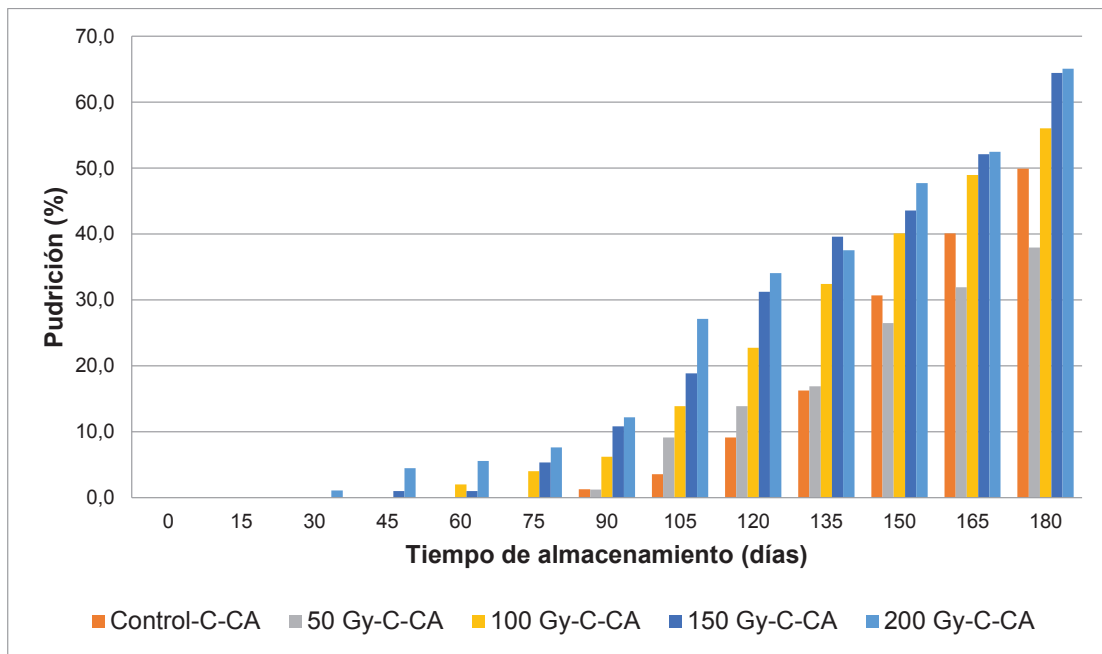


Figura AII.2. Pudrición de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

ANEXO III

RESULTADOS DE PÉRDIDA DE PESO

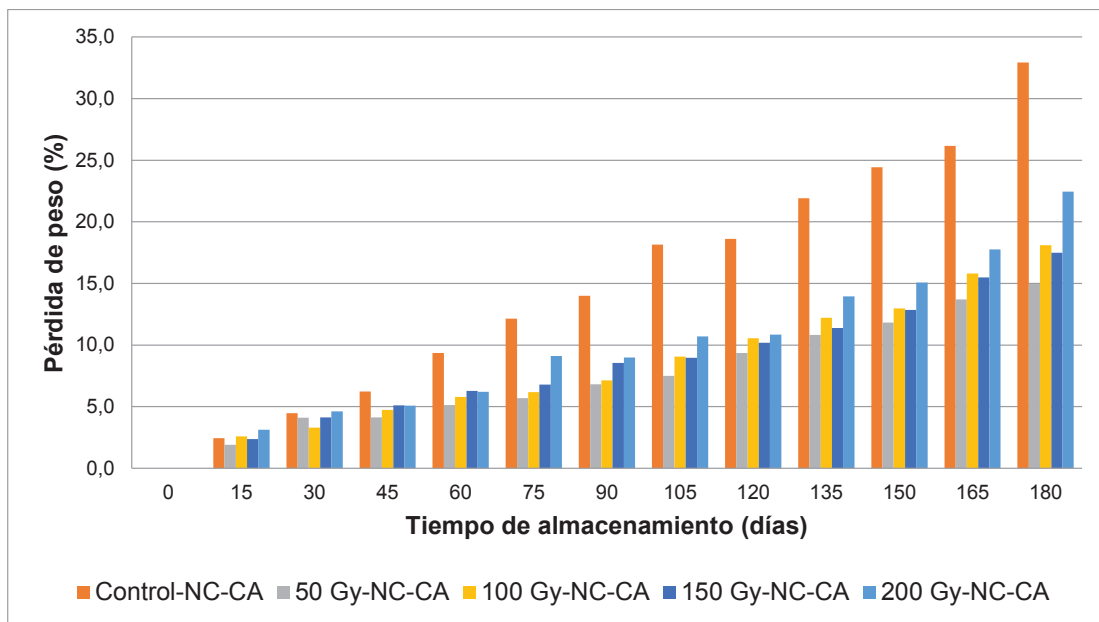


Figura AIII.1. Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

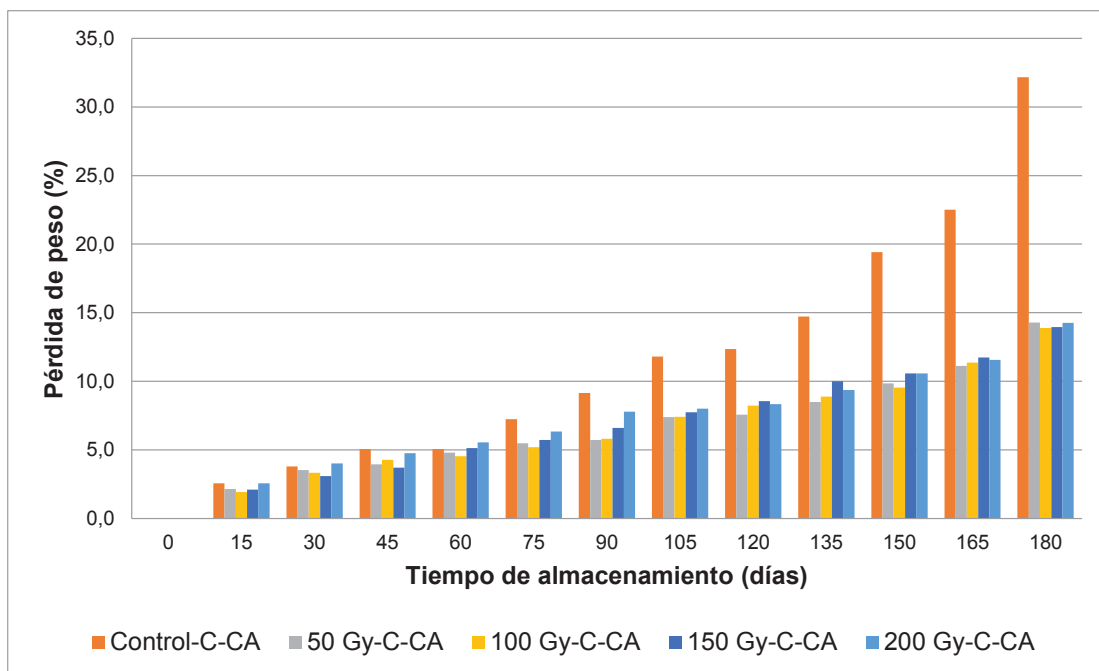


Figura AIII.2. Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

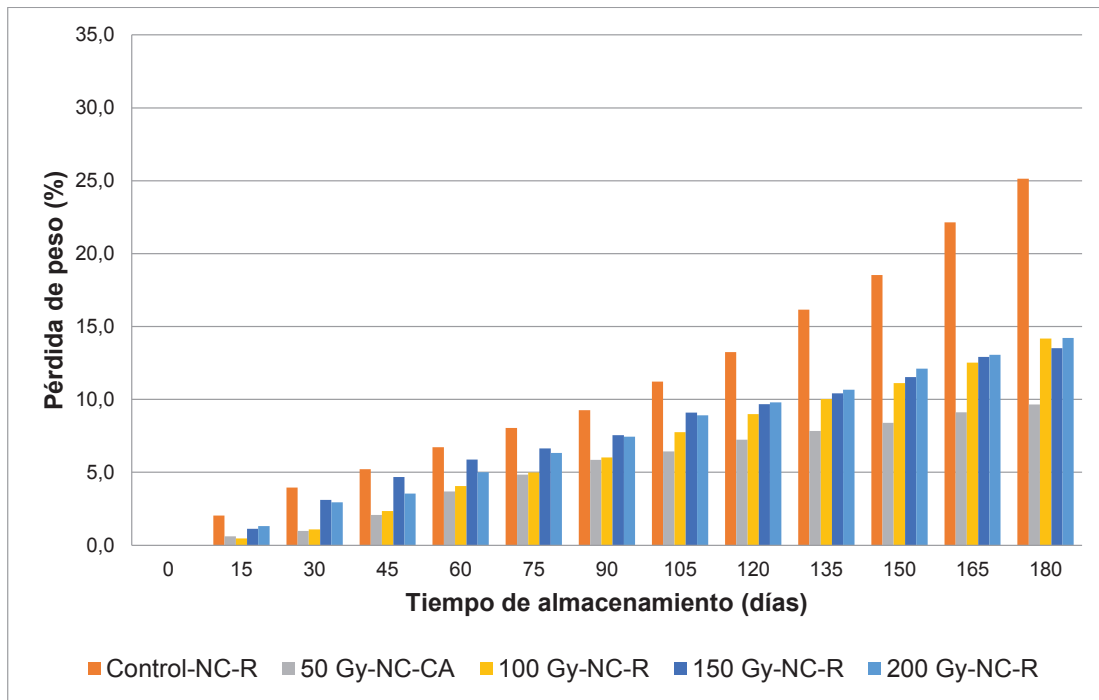


Figura AIII.3. Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días

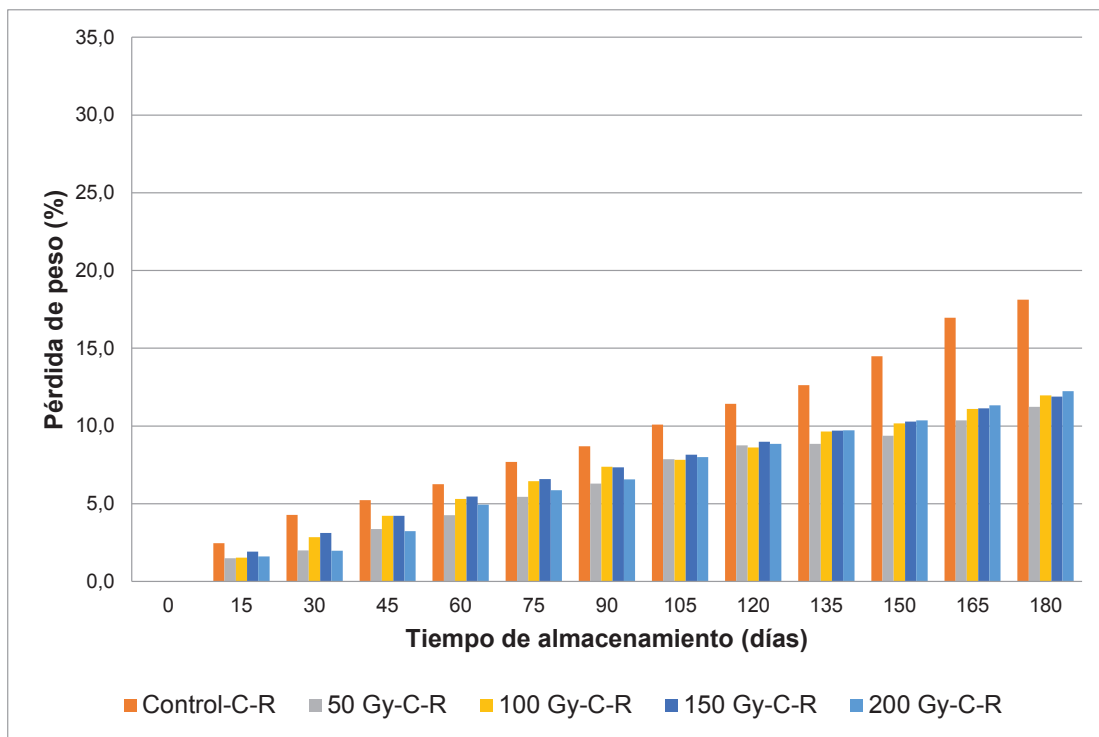


Figura AIII.4. Pérdida de peso de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días

ANEXO IV

RESULTADOS DE APARIENCIA GENERAL

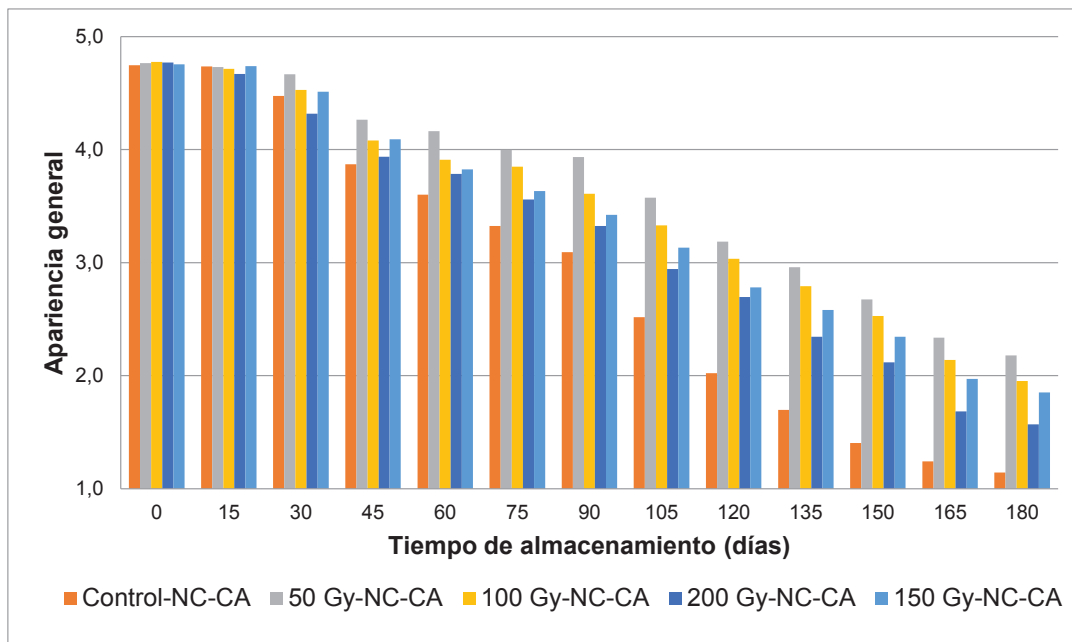


Figura AIV.1. Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

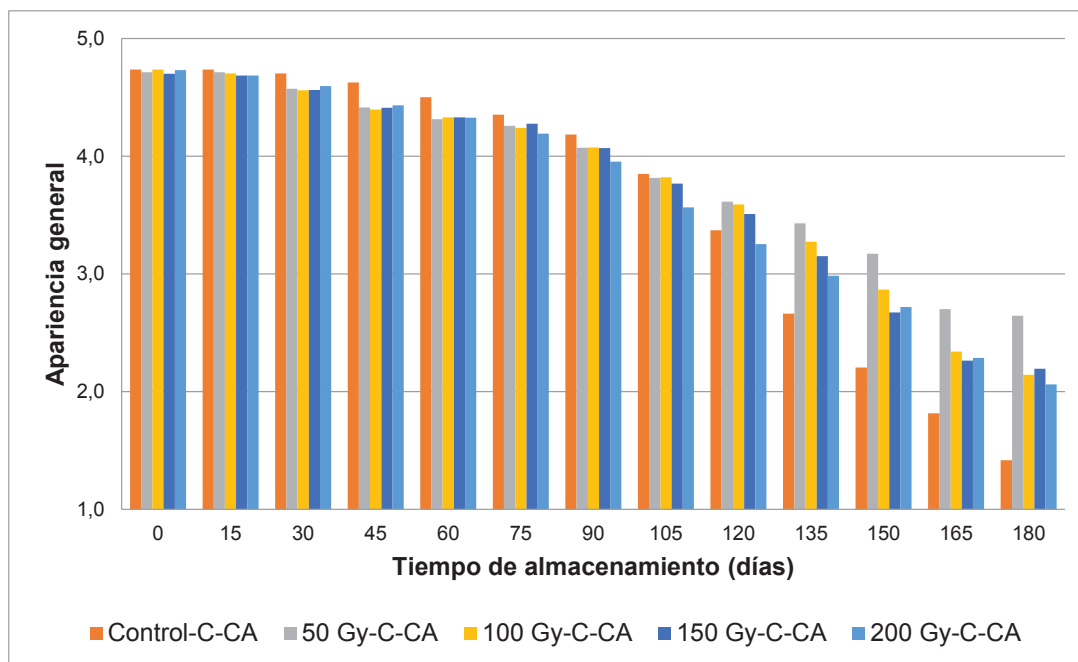


Figura AIV.2. Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (C) y almacenada en condiciones ambientales (CA) durante 180 días

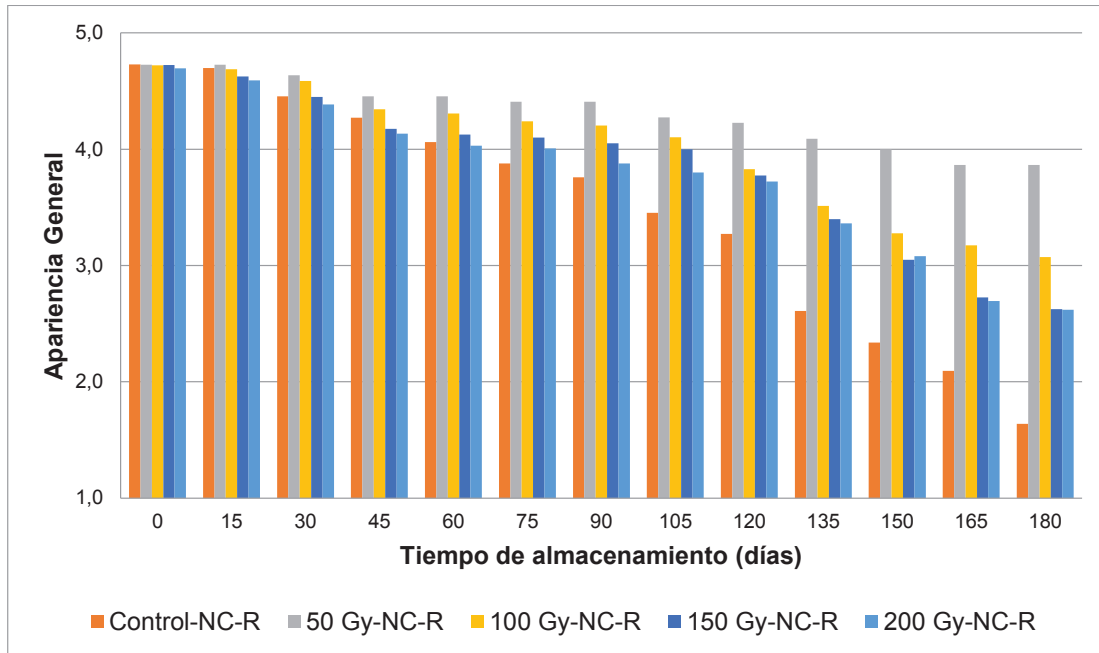


Figura AIV.3. Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” no curada (NC) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días

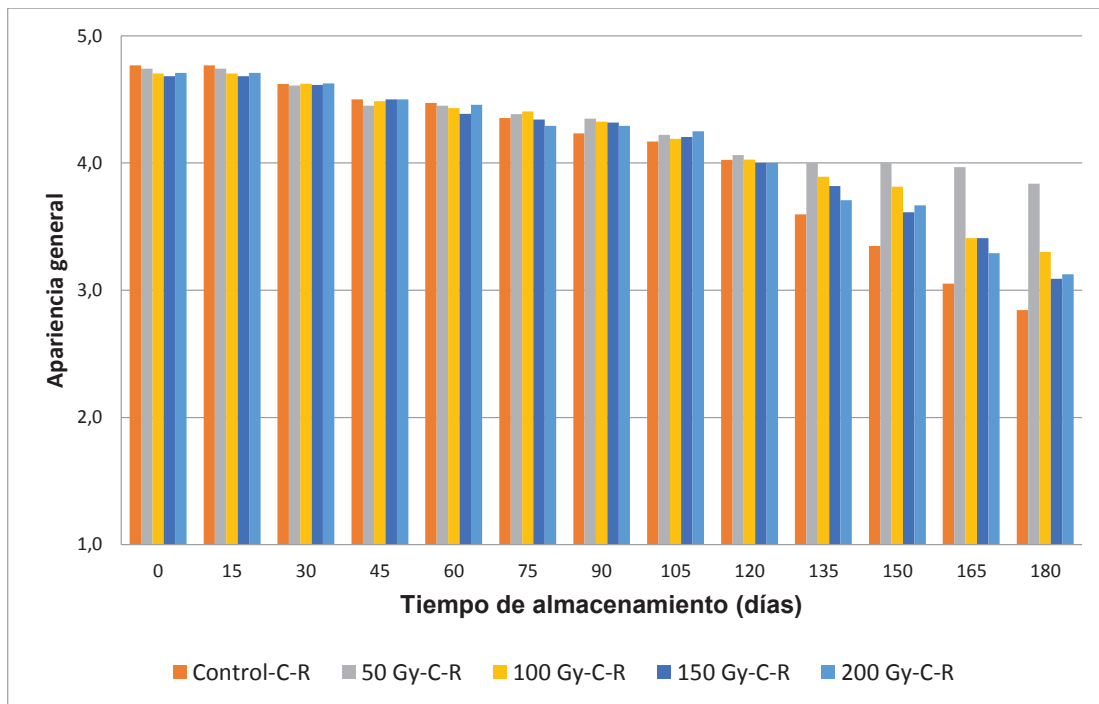


Figura AIV.4. Apariencia general de cebolla perla “Campo Lindo” curada (C) y almacenada en refrigeración (R) durante 180 días

ANEXO V

**EVOLUCIÓN DE LA APARIENCIA CEBOLLA PERLA VARIEDAD
“CAMPO LINDO” EN TODOS LOS TRATAMIENTOS**

Tabla AV.1. Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) durante 180 días














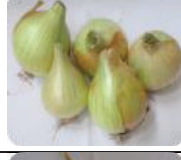





















Condiciones ambientales (19 °C y 60 % HR)-Curado					
Día	0 Gy	50 Gy	100 Gy	150 Gy	200 Gy
0					
30					
60					
90					
120					
150					
180					

Tabla AV.2. Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en condiciones ambientales (19 °C y 60 % H.R.) durante 180 días




































Condiciones ambientales (19 °C y 60 % HR)- No curado					
Día	0 Gy	50 Gy	100 Gy	150 Gy	200 Gy
0					
30					
60					
90					
120					
150					
180					

Tabla AV.3. Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) durante 180 días





























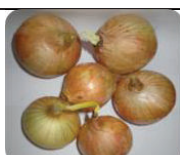








































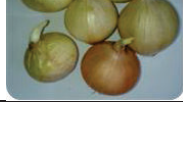
Refrigeración (6 °C y 70 % HR)- Curado					
Día	0 Gy	50 Gy	100 Gy	150 Gy	200 Gy
0					
30					
60					
90					
120					
150					
180					

Tabla AV.4. Evolución de apariencia de cebolla perla variedad “Campo Lindo” no curada, irradiada con 4 dosis (50,100, 150 y 200 Gy) y almacenada en refrigeración (6 °C y 70 % H.R.) durante 180 días

Refrigeración (6 °C y 70 % HR)- No curado					
Día	0 Gy	50 Gy	100 Gy	150 Gy	200 Gy
0					
30					
60					
90					
120					
150					
180					

ANEXO VII
FORMATO DE EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NUCLEARES



Evaluación de análisis sensorial

Producto: Cebolla perla

NOMBRE: _____ **FECHA:** _____ **HORA:** _____

Usted está recibiendo tres muestras de ensalada con cebolla perla. Dos de ellas son idénticas entre sí. Coloque el código de las muestras de izquierda a derecha e indique con una X cuál es la muestra diferente.

Números de muestra:

En el caso de la muestra diferente, diga cuanta es la diferencia con respecto a las muestras similares (marque con una X):

- () Ligera diferencia
- () Diferencia moderada
- () Mucha diferencia

Observaciones:
