



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Trabajo de Tesis Doctoral:

Efecto de factores precosecha sobre la calidad y comportamiento poscosecha de berenjena violeta. Elaboración de un producto panificado enriquecido con berenjena.

Tesista: Lic. Valerga Lucia

Directora: Dra. Concellón Analía

Codirectora: Dra. Lemoine M. Laura

Año: 2019

*El presente trabajo de Tesis para optar por el título de **Doctora de la Facultad de Ciencias Exactas** de la Universidad Nacional de La Plata fue realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA-UNLP-CONICET, La Plata, Argentina) por la Lic. Lucia Valerga bajo la dirección de la Dra. Analía Concellón y la codirección de la Dra. María Laura Lemoine.*

*“Los científicos dicen que estamos hechos de átomos, pero a mí un
pajarito me dijo que estamos hechos de historias”*

Eduardo Galeano

Quiero agradecer...

- ❖ A mis directoras, Dra. Analía Concellón y Dra. M. Laura Lemoine, en principio por su confianza y por permitirme realizar mi doctorado con ellas, por los conocimientos transmitidos durante todos estos años, y por haberme sabido guiar con dedicación y responsabilidad.
- ❖ A la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata, en la que realicé mis estudios de posgrado.
- ❖ A los directivos, secretarías y técnicos del Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA), en donde realicé mis ensayos.
- ❖ Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme la beca con la cual pude llevar adelante mi trabajo.
- ❖ A todo el grupo del laboratorio de vegetales en el cual pasé gran parte de mi tiempo durante estos últimos años, por todos los momentos compartidos, tanto dentro como fuera del laboratorio. Incluso a aquellos que pasaron temporalmente por allí en estos últimos años. En especial a Magali, Carolina, Majo, Natalia, Andrea, Martina, Karen, Lucia, Fede y Cristian por su amistad, estoy feliz de haber conocido personas como ustedes. Gracias Magalí y Caro por haber sido unas compañeras de box excelentes, con quienes compartimos muchos hermosos momentos y horas de mesada, a Majo por su enorme paciencia y estar siempre predispuesta a ayudar, y Natalia, por las horas de trabajo intensas y charlas interminables.
- ❖ Al Dr. Ariel Vicente por su buena predisposición y por estar siempre presente, por sus consejos y sabias palabras.
- ❖ A la Dra. Ana Arambarri del Laboratorio de Morfología Comparada de Espermatófitas (LAMCE), de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, por su inmensa ayuda en las determinaciones de microscopía digital, y por su calidez humana.
- ❖ Al laboratorio de cereales del CIDCA por prestarme sus instalaciones y equipamientos para realizar una parte de mi tesis, en especial a la Dra. M. Cecilia Puppo, no solo por brindarme experiencia y conocimiento, sino por confiar en mí y por su apoyo incondicional.
- ❖ A los productores de berenjena que me permitieron realizar mis ensayos: Mattica, Ritosa y Emilia Dosantos; y a Molino Campodónico S.A y Molino Río de la Plata S.A.
- ❖ A mi familia y amigos por compartir conmigo durante todos estos años. Por alentarme y confiar en mí. A mis papás, Inés y Roberto, a quienes les debo todo lo que soy hoy. A mis sobrinas por sacarme una sonrisa en momentos difíciles. A mi hermana por estar siempre pendiente.
- ❖ A mi amor, Damian, porque cuando las puertas del laboratorio se cerraban y llegaba a casa estuvo siempre para escucharme, nadie mejor que él sabe lo que significaron estos años en mi vida. Por ser un gran compañero, alentarme y apoyarme siempre. Por más experiencias de vida juntos.
- ❖ A todos aquellos que pasaron por mi vida durante estos últimos cinco años, a los restantes miembros del CIDCA con quienes compartimos charlas y experiencias.

PUBLICACIONES

Parte de los resultados obtenidos en esta Tesis fueron difundidos a través de:

➤ Trabajos Publicados en Revistas:

Valerga, L., Darré M., Zaro, M.J., Arambarri, A., Andrade, M. J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A. 2017. La estación de cosecha afecta el contenido de semillas y anatomía del fruto de berenjena violeta. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 18, 129-136.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M. J., Arambarri, A., Vicente, A., Lemoine, M. L., Concellón, A., 2019. Micro-structural and quality changes in growing dark-purple eggplant (*Solanum melongena* L.) as affected by the harvest season. *Scientia horticulturae* 244, 22-30.

Valerga, L., Quintero Ruiz N.A., Concellón, A., Puppo, M. C., 2019. Technological and nutritional characterization of wheat-eggplant breads depending on its size and replacement level. *Journal of Food Science and Technology*, 1-9.

➤ Trabajos para su publicación en Revistas:

Valerga, L., Quintero Ruiz N.A., Concellón, A., Puppo, M.C., 2019. Artichoke, eggplant and tomato flours as nutritional ingredients for wheat dough: Hydration properties. Enviado a: *Journal of Food Science and Technology*. Abril 2019.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2019. Seasonal changes in American purple eggplant (*Solanum melongena* L.) sugars, antioxidants and postharvest performance under chilling and non-chilling conditions. Enviado a: *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. Noviembre 2019.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2019. The Plant Age Influences Eggplant Fruit Growth, Metabolic Activity, Texture and Shelf-Life. Enviado a: *Scientia Horticulturae*. Noviembre 2019.

Valerga, L., Quintero Ruiz N.A., Puppo, M.C., Concellón, A., 2019. Use of eggplant waste: preparation of wheat breads enriched in antioxidants. En redacción.

➤ Trabajos Completos en Actas de Congresos referenciadas:

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2015. Efecto de la edad de la planta sobre el desarrollo de berenjenas violeta. VIII Jornadas Argentinas de Biología y Tecnología Postcosecha 2015. 11-12/11/2015. Balcarce, Argentina. Libro de actas Pag 195-198. ISBN 978-987-45726-2-2.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2016. Efecto de la estación de cosecha sobre la calidad integral de berenjena violeta durante su desarrollo. VI Congreso Internacional Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2016.2-4/11/2016. Córdoba, Argentina. Libro de actas Pag 445-453. ISBN 978-987-45380-5-5.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2017. Influencia de la estación de cosecha sobre los antioxidantes de berenjena en distintos estados de desarrollo. XVI Congreso CYTAL 2017, 18-20/09/2017. Mar del Plata, Argentina. En CD.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Arambarri, A., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón A., 2017. Influencia del estado de desarrollo y la estación de cosecha sobre la microestructura y textura de berenjena. I Congreso Argentino De Biología Y Tecnología Poscosecha. IX Jornadas Argentinas de Biología y Tecnología Poscosecha 2017. 25-27/10/2017. Concordia, Entre Ríos, Argentina. Libro de actas Pag 112-121. ISBN 978-950-698-437-3.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Arambarri, A., Andrade-Cuvi, M.J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2017. La estación de cosecha afecta el contenido de semillas y anatomía del fruto de berenjena violeta. IX Congreso Iberoamericano de Postcosecha y Agroexportaciones. AITEP. 29/11- 1/12 del 2017. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago-Chile. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 18, 129-136.

➤ Resúmenes publicados en Actas de Congresos:

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2016. Comportamiento poscosecha de berenjena violeta cosechada en diferentes estaciones. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2016. 2-4/11/2016. Córdoba, Argentina. Libro de actas Pag 449. ISBN 978-987-45380-0-0.

Valerga, L., Quintero Ruiz, N.A., Puppo, M.C., Concellón, A., 2018. Elaboración de un pan enriquecido con harina de berenjena. VII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2018. 1-3/10/2018. Córdoba, Argentina. Libro de actas Pag 994. ISBN 978-987-45380-9-3.

Valerga, L., Quintero Ruiz, N.A., Puppo, M.C., Concellón, A., 2019. Elaboración de una harina de berenjena como herramienta para la disminución de desperdicios poscosecha. II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha, 2019. 11-13/09/2019. En CD.

➤ Resúmenes no publicados, en eventos de difusión:

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M.J., Vicente, A., Lemoine, M.L., Concellón, A., 2016. Propiedades antioxidantes de la piel y pulpa de berenjenas violetas en distinto estado de desarrollo. Jornada FANUS: ¿Por qué debemos consumir frutas y hortalizas? ¿Qué hay de nuevo? 11/10/2016. Buenos Aires, Argentina. Resumen y póster digital.

Valerga, L., Darré, M., Zaro, M. J., Lemoine, M. L., Concellón, A., 2017. Ácido clorogénico en pulpa de berenjena violeta proveniente de plantas con distinta edad. Seminario de polifenoles en frutas y hortalizas. 6/10/2017. Foro de la alimentación, la nutrición y la salud. FANUS. CABA, Buenos Aires.

ÍNDICE GENERAL

<i>RESUMEN</i>	28
<i>ABSTRACT</i>	31
<i>INTRODUCCIÓN GENERAL</i>	35
<i>1. Cultivo de berenjena</i>	35
1.1. Generalidades.....	35
1.2. Anatomía del fruto.....	35
1.3. Variedades de berenjena.....	37
1.4. Producción y consumo.....	38
1.5. Requerimientos agronómicos.....	39
1.6. Composición nutricional.....	40
1.6.1. Antioxidantes.....	41
1.6.2. Fibras.....	44
1.7. Índice de cosecha y calidad.....	46
1.8. Fisiología poscosecha.....	47
1.9. Pérdidas poscosecha.....	47
1.9.1. Pérdida de brillo.....	48
1.9.2. Pérdida de peso.....	49
1.9.3. Pardeamiento enzimático.....	50
1.9.4. Daño por frío.....	51
<i>2. Alimentos funcionales</i>	52
2.1. Panes funcionales.....	54
2.1.1. Harinas e ingredientes funcionales.....	54
2.1.2. Rol del gluten en productos panificados.....	58
2.1.3. Proceso de panificación.....	59
<i>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</i>	62
<i>Objetivo general</i>	62
Objetivos específicos.....	62
<i>Hipótesis</i>	62
<i>Capítulo I:</i>	63
<i>“Efecto del tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha sobre la calidad a lo largo del crecimiento, composición y vida poscosecha de frutos de berenjena violeta”</i>	63
<i>I.1. INTRODUCCIÓN</i>	64
<i>I.2. MATERIALES Y MÉTODOS</i>	67

<i>I.2.1. Caracterización de los frutos durante el desarrollo</i>	67
<i>I.2.2. Almacenamiento poscosecha a 10 °C</i>	68
<i>I.2.3. Determinaciones analíticas</i>	69
I.2.3.1. Peso, diámetro y longitud	69
I.2.3.2. Respiración	69
I.2.3.3. Resistencia a la compresión	69
I.2.3.4. Color superficial de los frutos.....	70
I.2.3.5. Contenido de semillas	71
I.2.3.6. Materia seca.....	72
I.2.3.7. Azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa.....	72
I.2.3.8. Histolocalización del ácido clorogénico (ACG).....	72
I.2.3.9. Contenido de antocianinas	73
I.2.3.10. Extracción etanólica de compuestos antioxidantes.....	73
I.2.3.10.1. Contenido de ácido clorogénico.....	74
I.2.3.10.2. Contenido de fenoles totales	74
I.2.3.10.3. Capacidad antioxidante	74
I.2.3.11. Índice de deterioro.....	75
I.2.3.12. Pérdida de peso	75
<i>I.2.4. Análisis estadístico</i>	75
<i>I.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	76
<i>I.3.1. Efecto de la evolución de los DAFS sobre la calidad de los frutos</i>	76
I.3.1.1. Crecimiento de los frutos	76
I.3.1.2. Color superficial.....	78
I.3.1.3. Respiración y resistencia a la compresión	79
<i>I.3.2. Efecto del tamaño de cosecha sobre la calidad de los frutos</i>	80
I.3.2.1. Contenido de semillas	81
I.3.2.2. Contenido de azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa	82
I.3.2.3. Contenido de antioxidantes en piel y pulpa	83
<i>I.3.3. Calidad poscosecha de frutos E2 a 10 °C</i>	87
<i>I.4. CONCLUSIONES PARCIALES</i>	89
<i>Capítulo II:</i>	90
<i>“Efecto de la temporada de cosecha sobre la calidad, morfología celular y composición química de frutos de berenjena violeta en distintos estados de crecimiento”</i>	90
<i>II.1. INTRODUCCIÓN</i>	91
<i>II.2. MATERIALES Y MÉTODOS</i>	94
<i>II.2.1. Material vegetal</i>	94
<i>II.2.2. Determinaciones analíticas</i>	95

II.2.2.1. Peso y diámetro	95
II.2.2.2. Respiración	95
II.2.2.3. Color superficial.....	95
II.2.2.4. Materia seca.....	95
II.2.2.5. Resistencia a la compresión del fruto	95
II.2.2.6. Contenido de semillas	96
II.2.2.7. Análisis micro-estructural por microscopía óptica	96
II.2.2.7.1. Fijación.....	96
II.2.2.7.2. Espesor de cutícula y anatomía del tejido epidérmico	97
II.2.2.7.3. Anatomía del tejido endocárpico de la pulpa	97
II.2.2.7.4. Cuantificación de las células.....	97
II.2.2.8. Azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa.....	97
II.2.2.9. Contenido de antocianinas	98
II.2.2.10. Extracción etanólica de compuestos antioxidantes.....	98
II.2.2.10.1. Contenido de ácido clorogénico.....	98
II.2.2.10.2. Contenido de fenoles totales	98
II.2.2.10.3. Capacidad antioxidante	98
II.2.3. Análisis estadístico	98
II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	99
II.3.1. Curva de crecimiento, peso y diámetro de los frutos.....	99
II.3.2. Respiración, color superficial y materia seca	102
II.3.3. Contenido de semillas.....	103
II.3.4. Microestructura del tejido epidérmico y endocárpico.....	106
II.3.5. Resistencia a la compresión	112
II.3.6. Composición de los frutos: azúcares solubles y antioxidantes	113
II.4. CONCLUSIONES PARCIALES	119
Capítulo III:	121
<i>“Efecto de la temporada de cosecha sobre el comportamiento poscosecha y sensibilidad al daño por frío de frutos de berenjena violeta en dos estados de crecimiento, baby y comercial habitual”</i>	<i>121</i>
III.1. INTRODUCCIÓN.....	122
III.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	124
III.2.1. Material vegetal.....	124
III.2.2. Determinaciones analíticas	124
III.2.2.1. Índice de deterioro (ID) y de daño por frío (IDF)	124
III.2.2.2. Pérdida de peso	124
III.2.2.3. Resistencia a la compresión.....	125

III.2.2.4. Luminosidad de la pulpa.....	125
<i>III.2.3. Análisis estadístico</i>	<i>125</i>
<i>III.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</i>	<i>126</i>
<i>III.3.1. Comportamiento poscosecha de berenjena a 10 °C</i>	<i>126</i>
III.3.1.1. Apariencia externa de los frutos	126
III.3.1.2. Pérdida de peso y ablandamiento	127
III.3.1.3. Apariencia del tejido interno	129
<i>III.3.2. Efectos de la estación de cosecha sobre el daño por frío de berenjena</i>	<i>130</i>
III.3.2.1. Síntomas externos de daño por frío.....	130
III.3.2.2. Pérdida de peso y ablandamiento	133
III.3.2.3. Síntomas de daño por frío en el tejido interno	135
<i>III. CONCLUSIONES PARCIALES</i>	<i>138</i>
<i>Capítulo IV:.....</i>	<i>139</i>
<i>“Elaboración de berenjena deshidratada en polvo y selección del reemplazo adecuado para la formulación de un pan”</i>	<i>139</i>
<i>IV.1. INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>140</i>
<i>IV. 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</i>	<i>144</i>
<i>IV.2.1. Material de partida</i>	<i>144</i>
<i>IV.2.2. Métodos.....</i>	<i>144</i>
IV.2.2.1. Elaboración de berenjena en polvo	144
IV.2.2.1.1. Composición porcentual.....	144
IV.2.2.1.2. Isotermas de adsorción	148
IV.2.2.1.3. Contenido de antioxidantes	151
IV.2.2.1.4. Capacidad de retención de solventes.....	152
IV.2.2.2. Parámetros de optimización de masa-pan	152
IV.2.2.2.1. Ensayo farinográfico.....	153
IV.2.2.2.2. Curvas de fermentación	154
IV.2.2.3. Elaboración de los panes	155
IV.2.2.3.1. Calidad panadera	155
IV.2.2.3.2. Análisis sensorial: ordenamiento por preferencia	158
<i>IV.2.3. Análisis estadístico</i>	<i>159</i>
<i>IV.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	<i>160</i>
<i>IV.3.1. Caracterización de la berenjena polvo</i>	<i>160</i>
IV.3.1.1. Composición porcentual.....	160
IV.3.1.2. Contenido de antioxidantes.....	162
IV.3.1.3. Isotermas de adsorción	164
IV.3.1.4. Hidratación de la berenjena en polvo	167

<i>IV.3.2. Optimización de masa-pan</i>	168
IV.3.2.1. Ensayo farinográfico	168
IV.3.2.2. Curvas de fermentación	172
<i>IV.3.3. Calidad panadera</i>	173
IV.3.3.1. Volumen específico del pan y contenido de alveolos	173
IV.3.3.2. Color de corteza y miga	176
IV.3.3.3. Humedad y textura de la miga.....	177
<i>IV.3.4. Análisis sensorial: ordenamiento por preferencia</i>	179
<i>IV.4. CONCLUSIONES PARCIALES</i>	181
<i>Capítulo V:</i>	182
<i>“Caracterización tecnológica y nutricional de panes con agregado de berenjena en polvo de dos tamaños de fruto”</i>	182
<i>V.1. INTRODUCCIÓN</i>	183
<i>V.2. MATERIALES Y MÉTODOS</i>	186
<i>V.2.1. Material de partida y elaboración de berenjena en polvo</i>	186
<i>V.2.2. Optimización de masa-pan</i>	186
<i>V.2.3. Elaboración de la masa y el pan</i>	186
<i>V.2.4. Determinaciones analíticas</i>	186
V.2.4.1. Composición porcentual.....	187
V.2.4.1.1. Humedad	187
V.2.4.1.2. Lípidos	187
V.2.4.1.3. Proteínas.....	187
V.2.4.1.4. Cenizas.....	187
V.2.4.1.5. Fibra dietaria (total, insoluble y soluble)	187
V.2.5.2. Contenido de antioxidantes	188
V.2.4.2.1. Capacidad antioxidante (mediante ABTS y FRAP).....	188
V.2.4.2.2. Fenoles totales.....	188
V.2.4.2.3. Ácido clorogénico por HPLC	189
V.2.4.3. Color	189
V.2.4.4. Calidad panadera.....	190
V.2.5.4.1. Volumen específico del pan	190
V.2.4.4.2. Análisis de perfil de textura	190
V.2.4.4.3. Área ocupada por alveolos.....	190
<i>V.2.5. Análisis sensorial: escala hedónica</i>	190
<i>V.2.7. Análisis estadístico</i>	191
<i>V.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	192
<i>V.3.1. Composición nutricional de la harina y berenjena en polvo</i>	192

V.3.1.1. Composición porcentual de la harina y berenjena en polvo.....	192
V.3.1.2. Antioxidantes de la harina y berenjena en polvo	194
V.3.2. <i>Optimización de masa-pan</i>	195
V.3.3. <i>Apariencia y color</i>	198
V.3.4. <i>Calidad panadera</i>	199
V.3.5. <i>Composición nutricional de los panes</i>	201
V.3.5.1. Composición porcentual de los panes.....	202
V.3.5.2. Contenido de antioxidantes de los panes.....	203
V.3.6. <i>Análisis sensorial: escala hedónica</i>	205
V.4. <i>CONCLUSIONES PARCIALES</i>	209
<i>CONCLUSIONES FINALES</i>	211
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	214

ÍNDICE DE FIGURAS

• Introducción general:

Figura 1. Apariencia del cultivo (A), tallo (B), flor y fruto (C) de berenjena	35
Figura 2. Morfología de un fruto de berenjena violeta.	36
Figura 3. Microscopia electrónica de barrido (SEM) de un corte transversal externo (A y B) e interno (C) de berenjena (Puig y col., 2012).epi: epidermis, ep: epicarpio, ed: endocarpio.	37
Figura 4. Variedades de berenjena: occidentales de color violeta (A), rayadas (B) y blancas (C), berenjenas miniaturas de color violeta (D), rayada (E) y blanca (F) y orientales chinas (G), japonesa (H) e indias (I).	38
Figura 5. Estructura química del ácido clorogénico (ACG).	42
Figura 6. Estructura y sustituyentes de las antocianinas (Durst y Wrolstad, 2001)	43
Figura 7. Frutos de berenjena con su brillo característico(A) y con pérdida del mismo (B).	49
Figura 8. Síntomas visuales de la pérdida de peso en berenjena.	49
Figura 9. Pardeamiento enzimático creciente del tejido interno de berenjena.	51
Figura 10. Fisiopatías observadas debido al daño por frío en berenjena: pardeamiento interno (A), pitting (B), pitting y escaldaduras superficiales incipientes (C y D) y desarrollo de hongos (E y F).	52

• Capítulo I:

Figura I. 1. Esquema del cultivo de berenjena típico de la zona de La Plata.	65
Figura I. 2. Esquematación del cultivo de la berenjena, en el cual se remarcan las diferencias y similitudes entre las plantas trasplantadas a principio de agosto(A), y a finales de diciembre (B). Se señala el momento de cosecha de ambos grupos de plantas indicando la diferencia de tiempo transcurrido: 8 y 3 meses.	68
Figura I. 3. Curva típica de un test de ruptura en berenjena y señalización de los parámetros.	70
Figura I. 4. Escala CIELab (http://sensing.konicaminolta.com.mx)	70

Figura I. 5. Secuencia del procesamiento de imágenes mediante ImageJ para la determinación del contenido de semillas. Imagen original (A), en escala de grises (B), con la aplicación del filtro (C), y binarizada (D).	71
Figura I. 6. Apariencia de los frutos de berenjena provenientes de plantas con 3 meses (A) y 8 meses transcurridos desde el trasplante (B) durante el crecimiento de los mismos a los 0, 9, 13, 19, 21 y 24 días luego del cuajado (“Days After Fruit Set”, DAFS). La línea punteada (- - -) indica el tamaño comercial habitual de cosecha de la berenjena (17 cm).	76
Figura I. 7. Longitud (A), diámetro (B) y peso (C) de los frutos de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante a los 9, 13, 19, 21, 24 días luego del cuajado (“Days After Fruit Set”, DAFS). La línea punteada (- - -) indica el tamaño comercial habitual de cosecha de la berenjena (17 cm). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	77
Figura I. 8. Respiración (A) y resistencia a la compresión (B) de los frutos de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante a los 9, 13, 19, 21 y 24 días luego del cuajado (“Days After Fruit Set”, DAFS). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	80
Figura I. 9. Apariencia de las rodajas (A) y semillas (B) de berenjena del tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante.	81
Figura I. 10. Número de semillas por rodaja (A) y tamaño medio de semillas (B) de frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	82
Figura I. 11. Histolocalización del ácido clorogénico (ACG) mediante fluorescencia en la sección superior (1), ecuatorial (2) e inferior (3) de un corte longitudinal de frutos del tamaño baby o E1 (A) y comercial habitual o E2 (B). Magnificación: 1,25X.	84
Figura I. 12. Histolocalización del ácido clorogénico mediante fluorescencia por la tinción con el reactivo de Neu en frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Magnificación: 1,25X.	86

Figura I. 13. Índice de deterioro (**A**), pérdida de peso (**B**) y resistencia a la compresión (**C**) a los 0, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 10 °C de los frutos de tamaño comercial habitual (E2) de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. La línea punteada de la figura A indica el valor del índice de deterioro máximo por encima del cual los frutos se consideran no consumibles en su totalidad. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 88

• **Capítulo II:**

Figura II. 1. Señalización de las temporadas de cosecha estudiadas dentro del ciclo productivo de la berenjena: Temprana, Intermedia y Tardía. 94

Figura II. 2. Secciones estudiadas de la rodaja de la zona ecuatorial de berenjena: externa (**A**), intermedia (**B**) y central (**C**). C: cutícula, Epi: epidermis, Ep: epicarpio, Ed: endocarpio..... 96

Figura II. 3. Apariencia de un fruto de berenjena recién cuajado, y de los estados de crecimiento empleados: baby o E1 (9 cm), comercial habitual o E2 (17 cm) y avanzado o E3 (21 cm) (**A**). La barra vertical corresponde a 10 cm. Registro de temperatura (máxima, mínima y media) y humedad relativa (HR) durante el ciclo productivo de la berenjena (**B**). Curvas de crecimiento longitudinal de la berenjena durante las temporadas estudiadas: temprana, intermedia y tardía (**C**). Las líneas punteadas (- - -) indican los tamaños de los estados de crecimiento. DAFS: Days After Fruit Set (días luego de la fructificación)..... 100

Figura II. 4. Respiración de los frutos de berenjena cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 102

Figura II. 5. Contenido de semillas en rodajas de berenjenas cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). 104

Figura II. 6. Tamaño de semilla medio (**A**) y número de semillas por rodaja (**B**) de los frutos de berenjena cosechados en la temporada temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 105

- Figura II. 7.** Imágenes de microscopía óptica de la cutícula (CU) y epidermis teñidas con Sudán IV (**A**), y espesor de la cutícula (**B**), de frutos de berenjena baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzada (E3) cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía. Magnificación 400X. Letras diferentes indican diferencias significativas basado en una prueba de Fisher a $P < 0,05$ 107
- Figura II. 8.** Imágenes de microscopía óptica en escala de grises que muestran las células epidérmicas y del epicarpio de berenjena baby o E1 (**i, iv, vii**), comercial habitual o E2 (**ii, v, viii**) y avanzada o E3 (**iii, vi, ix**) cosechadas en la temporada temprana (**i, ii, iii**), intermedia (**iv, v, vi**) y tardía (**vii, viii, ix**). Magnificación 400 X. Cutícula (CU), epidermis (EP), epicarpio (EPI)..... 109
- Figura II. 9.** Imágenes de microscopía óptica en escala de grises que muestran el endocarpio periférico de berenjena baby o E1 (**i, iv, vii**), comercial habitual o E2 (**ii, v, viii**) y avanzada o E3 (**iii,vi, ix**) cosechadas en las temporadas temprana (**i, ii, iii**), intermedia (**iv, v, vi**) y tardía (**vii, viii, ix**). Magnificación 100X. Ramificación celular (RC), espacios intercelulares (EI)..... 110
- Figura II. 10.** Imágenes de microscopía óptica en escala de grises del endocarpio central de berenjena baby o E1 (**i, iv, vii**), comercial habitual o intermedia (**iv, v, vi**) y tardía (**vii, viii, ix**). Magnificación 100X. Ramificación celular (RC), espacios intercelulares (EI)..... 111
- Figura II. 11.** Resistencia a la compresión de los frutos de berenjena cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía, de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 112
- Figura II. 12.** Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) (**A**), Fenoles Totales (FT) (**B**), Ácido Clorogénico (ACG) (**C**) y Antocianinas (**D**) de la piel de berenjena cosechada en las temporadas temprana, intermedia y tardía, de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 116
- Figura II. 13.** Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) (**A**), Fenoles Totales (FT) (**B**) y Ácido Clorogénico (ACG) (**C**) de la pulpa de berenjena cosechada en las temporadas temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3).

Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 118

• **Capítulo III:**

Figura III. 1. Apariencia externa de los frutos de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenados 14 días 10 °C más un día a 20 °C (14+1). 126

Figura III. 2. Índice de deterioro de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 10 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). La línea punteada (- - -) indica el límite apto para consumo. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 127

Figura III. 3. Pérdida de peso (**A**) y resistencia a la compresión (**B**) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 10 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 129

Figura III. 4. Apariencia interna de las rodajas (**A**), y luminosidad de la pulpa (**B**) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 10 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 130

Figura III. 5. Apariencia externa de los frutos de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas 14 días 0 °C más un día a 20 °C (14+1). 131

Figura III. 6. Índice de daño por frío (DF) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). La línea punteada (- - -) indica el límite apto para consumo. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 132

Figura III. 7. Pérdida de peso (**A**) y resistencia a la compresión (**B**) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana,

intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	134
Figura III. 8. Apariencia interna de las rodajas de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	135
Figura III. 9. Luminosidad de la pulpa de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	136
• Capítulo IV:	
Figura IV. 1. Frascos preparados para las isotermas.	150
Figura IV. 2. Farinograma típico y obtención de los parámetros de una masa elaborada con harina de trigo y sal. Adaptado de Salinas (2013)	153
Figura IV. 3. Probeta con émbolo empleada en la fermentación.	155
Figura IV. 4. Curva típica de un ensayo de TPA donde se registra la fuerza en función del tiempo que dura el ensayo (Hleap y Velasco, 2010). A1: área del pico del 1º ciclo, A2: área del pico del 2º ciclo, A3: área del pico negativo, D1: distancia entre fuerza nula y máxima del pico del 1º ciclo, D2: distancia entre fuerza nula y máxima del pico del 2º ciclo.	156
Figura IV. 5. Secuencia en el procesamiento de las imágenes de la miga: selección de la zona central de la imagen (A), escala de grises (B), aplicación del filtro adecuado (C) y binarización (D), mediante el empleo del software ImageJ 1.37.	158
Figura IV. 6. Presentación de las muestras y planilla para el análisis sensorial.	159
Figura IV. 7. Capacidad antioxidante (A), fenoles totales (B), contenido de ácido clorogénico (C) y antocianinas (D) del fruto fresco, de la berenjena en polvo obtenida por liofilización y posterior molienda y de la harina de trigo. nd: no	

detectado. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	163
Figura IV. 8. Isotermas de adsorción de la harina de berenjena a 10, 20 y 40 °C, graficadas según el modelo de Leiva Díaz cuyos parámetros se detallan en la Tabla IV.5.	166
Figura IV. 9. Farinogramas obtenidos para el control (A) y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo de 5% (B), 7,5% (C) y 10% (D).	169
Figura IV. 10. Curvas de fermentación para las masas control (■) y con 5% (X), 7,5% (●) y 10% (►) de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo modeladas mediante la ecuación de Chapman (línea negra).....	172
Figura IV. 11. Apariencia de la corteza y miga de los panes control y con 5%, 7,5% y 10% de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo.....	174
Figura IV. 12. Volumen específico del pan (A) y fracción de área ocupada por alveolos en la miga (B) para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	176
Figura IV. 13. Dureza (A), masticabilidad (B), cohesividad (C) y elasticidad (D) para los panes control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles de 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	178
 • <u>Capítulo V:</u>	
Figura V. 1. Presentación de las muestras y planilla para la realización del análisis sensorial.	191
Figura V. 2. Farinogramas obtenidos para la harina de trigo (control) (A) y las mezclas con berenjena baby (B) y comercial (C) en polvo (7,5 g berenjena en polvo/100 g harina total) con agregado de sal (2 g/100 g total).....	195
Figura V. 3. Curvas de fermentación para las masas con harina de trigo (control) (■) y con un 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/100 g harina total) de reemplazo por berenjena baby (○) y comercial (●) modeladas mediante la ecuación de Chapman (línea gris).	196

Figura V. 4. Apariencia de la harina de trigo (Control), de la berenjena baby y comercial en polvo (**A**), de la corteza (**B**) y miga (**C**) de sus respectivos panes. 198

Figura V. 5. Puntajes medios obtenidos para la aceptabilidad general (**A**), color de miga (**B**), sabor (**C**) y textura (**D**) de los panes con berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$ 207

ÍNDICE DE TABLAS

• Introducción general:

Tabla 1. Temperaturas óptimas, mínimas y máximas para cada fase del cultivo de berenjena (Chen y col., 2002).....	39
Tabla 2. Datos de la composición nutricional por cada 100 g en peso húmedo (p.h) de la porción comestible en crudo (USDA, 2019).	40
Tabla 3. Composición de la harina de trigo promedio (Salinas, 2013)	55

• Capítulo I:

Tabla I. 1. Color de piel (L^* , H y C) de los frutos de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante a los 9, 13, 19, 21 y 24 días luego del cuajado (Days After Fruit Set, DAFS). Valores con letras distintas en una misma columna indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	78
Tabla I. 2. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y azúcares totales de frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	83
Tabla I. 3. Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC), fenoles totales, antocianinas y ácido clorogénico (ACG) de la piel y pulpa de frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	85

• Capítulo II:

Tabla II. 1. Diámetro y peso de los frutos cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía en los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	102
Tabla II. 2. Color superficial (L^* y H) y contenido de materia seca (MS) de los frutos de berenjena cosechados en la temporada temprana, intermedia y tardía de los de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2)	

y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	103
Tabla II. 3. Número de células por mm^2 en la epidermis, parénquima del epicarpio, endocarpio periférico y central de berenjena baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzada (E3) cosechadas en la estación temprana, intermedia y tardía. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias basadas en una prueba de Fisher en $P < 0,05$	108
Tabla II. 4. Contenido de azúcares solubles totales, glucosa, fructosa y sacarosa de berenjena cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	114
• Capítulo IV:	
Tabla IV. 1. Actividad acuosa de las soluciones saturadas de sal utilizadas a distintas temperaturas.....	149
Tabla IV. 2. Modelos empleados para las isotermas.....	150
Tabla IV. 3. Composición porcentual de la harina de berenjena y trigo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	161
Tabla IV. 4. Retención de la capacidad antioxidante medida con ABTS**de berenjena en polvo luego de 45 días de almacenamiento a 0, 30 y 40 °C. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	164
Tabla IV. 5. Parámetros obtenidos para los modelos GAB, Halsey, Oswin, Iglesias-Chirife y Leiva Díaz aplicados a los datos experimentales de isotermas de adsorción de la berenjena en polvo almacenada a 10,20 y 40 °C.....	165
Tabla IV. 6. Capacidad de retención de solventes: agua, carbonato 5%, sacarosa 50% y ácido láctico 5% para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	168

Tabla IV. 7. Parámetros farinográficos: absorción de agua, tiempo de desarrollo (td), estabilidad y aflojamiento, para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	170
Tabla IV. 8. Parámetros de la fermentación: volumen máximo (Vmax) y tiempo de fermentación (tf), para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	173
Tabla IV. 9. Parámetros de color: L^* , a^* y b^* de la corteza y miga de los panes control y para los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	177
Tabla IV. 10. Humedad en g agua/100 g peso de muestra húmeda (% p.h) para los panes control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	177
Tabla IV. 11. Sumatorias de los puntajes otorgados para cada formulación de los panes con un reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo de 5, 7,5 y 10%, teniendo un puntaje menor la que “ <i>más gustó</i> ” y un puntaje mayor la que “ <i>menos gustó</i> ”. Valores con letras distintas indican diferencias según test de Friedman con un nivel de significancia de $P < 0,05$	179
 • <u>Capítulo V:</u>	
Tabla V. 1. Composición porcentual de la harina de trigo (control) y de berenjenas baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	193
Tabla V. 2. Fenoles totales, capacidad antioxidante total mediante la técnica de ABTS y FRAP, fenoles totales y ácido clorogénico (ACG) de las harinas de trigo (control), y de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	194

Tabla V. 3. Parámetros farinográficos tales como absorción de agua, tiempo de desarrollo (td), estabilidad y aflojamiento; y de la fermentación: volumen máximo (Vmax) y tiempo de fermentación (tf), para la harina de trigo (control), y de las mezclas con berenjena baby y comercial en polvo en un nivel de reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/100 g harina total). Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	197
Tabla V. 4. Parámetros de color L^* , a^* , b^* y ΔE^* de las harinas de trigo, berenjena baby y comercial en polvo, y de la corteza y miga de sus respectivos panes. Valores con letras distintas en una misma columna indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	199
Tabla V. 5. Volumen específico (Vesp), fracción de área ocupada por alveolos y parámetros de textura de la miga: dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad, de los panes con harina de trigo (control) y con un reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/ 100 g de harina total) de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	200
Tabla V. 6. Composición porcentual de los panes con harina de trigo (control) y con un reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/ 100 g de harina total) de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	203
Tabla V. 7. Contenido de antioxidantes de los panes con harina de trigo (control) y con un reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/ 100 g de harina total) de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	205
Tabla V. 8. Puntajes medios obtenidos para los distintos parámetros del análisis sensorial realizado para los panes con berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$	206

LISTADO DE ABREVIATURAS

%p/p : porcentaje peso en peso	FT : fenoles totales
%p/v : porcentaje peso en volumen	GOS : galactooligosacáridos
ΔE : variación del color en la escala CIELab	GPX : glutatión peroxidasa
3m : plantas con 3 meses desde trasplante a cosecha	H : ángulo hue de la escala CIELab
8m : plantas con 8 meses desde trasplante a cosecha	H : humedad
a* : parámetro de color del espacio CIELab	HPLC : high performance Liquid Chromatography
AACC : American Association of Cereal Chemists	HR : humedad relativa
ABA : ácido abscísico	ID : índice de deterioro
ABTS : ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico	IDF : índice de daño por frío
ACG : ácido clorogénico	IMOS : isomaltosoligosacáridos
ANOVA : análisis de varianza	INDEC : Instituto Nacional de estadísticas y Censos de la República Argentina
AOAC : métodos Oficiales de Análisis de la AOAC Internacional	IR : infrarrojo
APX : ascorbato peroxidasa	L* : parámetro de luminosidad en espacio CIELab
a_w : actividad acuosa	LSD : least significant difference
b* : parámetro de color del espacio CIELab	MS : materia seca
C : croma de la escala CIELab	n.d : no detectado
C : cutícula	N : normalidad
CAA : Código Alimentario Argentino	Neu : 2-amino-etil-difenilborinato 1% p/v en metanol
CAT : catalasa	NOA : Noroeste argentino
CIELab : espacio de color $L^*a^*b^*$	p.h : peso en base a la muestra húmeda
CONAL : Comisión Nacional de Alimentos	p.s : peso en base a la muestra seca
CRS : capacidad de retención de solventes	POD : peroxidasa
d : día	PP : pérdida de peso
DAFS : días después de la fructificación (Days After Fruit set)	PPO : polifenol oxidasa
E1 : berenjena de tamaño baby	RC : ramificación celular
E2 : berenjena de tamaño comercial habitual	SOD : superóxido dismutasa
E3 : berenjena de tamaño avanzado	td : tiempo de desarrollo farinográfico
ED : endocarpio	TEAC : capacidad antioxidante equivalente a Trolox
EP : epicarpio	tf : tiempo de fermentación
EPI : epidermis	Tmax : temperatura máxima
EI : espacios intercelulares	Tmed : temperatura media
EROs : especies reactivas del oxígeno	Tmin : temperatura mínima
FAA : reactivo de fijación (formol-ácido acético-alcohol)	TPTZ : tripiridil-triazina
FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agroindustria	UB : unidades Brabender
FDI : fibra dietaria insoluble	USDA : United States Department of Agriculture
FDS : fibra dietaria soluble	UV : ultravioleta
FDT : fibra dietaria total	v/v : volumen en volumen
FOS : fructooligosacáridos	Vesp : volumen específico
FRAP : poder antioxidante reductor del hierro	Vmax : volumen máximo de masa alcanzado en la fermentación
	XOS : xigooligosacáridos

Resumen/Abstract

RESUMEN

La berenjena (*Solanum melongena* L.) poseen un alto contenido de fibra y compuestos fenólicos, principalmente ácido clorogénico. Su consumo se relaciona con la prevención de varias enfermedades crónicas y degenerativas. A fin de maximizar la calidad y el rendimiento de berenjena, éstas se cosechan cuando han alcanzado un 80% de su tamaño final, lo que demanda entre 15-35 días desde la fructificación, dependiendo de la variedad, la temperatura y la intensidad de luz solar. Igualmente, pueden ser consumidas en cualquiera de los tamaños durante su crecimiento. Los cultivos de berenjena, en la región de La Plata, Argentina, tienen una ventana de cosecha entre noviembre y mayo, que son los meses más cálidos. Los productores siembran los plantines en julio-agosto para que produzcan de noviembre a mayo, o bien en diciembre-enero para que produzcan de marzo a mayo, lo cual conduce a que los frutos puedan ser cosechados de plantas con diferente tiempo transcurrido desde el trasplante. Para la berenjena no existen estudios respecto a si los frutos de la primera cosecha presentan una mejor calidad que los de cosechas posteriores. Productores y consumidores concuerdan que los frutos cosechados hacia el final del ciclo productivo resultan ser más duros, amargos y con mayor porcentaje de semillas. La berenjena debería almacenarse a 10-12 °C ya que a temperaturas menores sufre daño por frío. Las últimas cosechas llegan hasta el otoño (menor temperatura ambiental), donde se observa una disminución en la calidad de los frutos y con ello una alteración en su conservación poscosecha, aunque no se ha estudiado en detalle. Es así que se debería poder conocer si este comportamiento de los frutos se debe al mero hecho del mayor tiempo transcurrido desde el trasplante, o a la estación del año coincidente con el final del ciclo productivo de la planta, donde las temperaturas reinantes son bajas. Es por ello que en el **capítulo I** del presente trabajo se estudió el efecto del tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha, sobre la calidad de los frutos durante su crecimiento, y la vida poscosecha de los frutos de tamaño comercial habitual. Por ello se cosecharon a fin de marzo, frutos de berenjena que provenían de plantas con 3 meses (fin de diciembre a fin de marzo) u8 meses (principio de agosto a fin de marzo) desde el trasplante. Los frutos de plantas con 3 meses presentaron una mayor tasa de crecimiento, siendo una buena alternativa para realizar una cosecha anticipada. Por otro lado, en cuanto a la diferente calidad de los frutos hallamos que los de plantas de 3 meses fueron efectivamente menos firmes que los de 8 meses, y presentaron un mayor contenido de azúcares únicamente en frutos de tamaño avanzado respecto a los mismos de 8 meses. Mientras que, no se observaron diferencias entre ellos en el número y tamaño de semillas y compuestos fenólicos. Los frutos de plantas de 3 meses presentaron un mejor comportamiento poscosecha cuando fueron almacenados a 10 °C, se extendió en una semana la vida útil respecto de los frutos de plantas de 8 meses.

Posteriormente se estudió el efecto de las condiciones climáticas en las diferentes temporadas de cosecha sobre la calidad, morfología celular y composición de los frutos. Para ello, en el **capítulo II** se cosecharon frutos de distinto estado de crecimiento (baby-E1, comercial habitual-E2 y avanzado-E3) en las temporadas *temprana* (fin de primavera), *intermedia* (fin de verano) y *tardía* (fin de otoño), y se analizaron diversos aspectos de calidad, organización del tejido vegetal (desde la cutícula al endocarpio) por microscopía óptica y composición. Se observó que a medida que progresaban las temporadas de cosecha, la tasa de crecimiento de los frutos disminuía, con la

consecuente extensión del período de tiempo necesario para alcanzar el tamaño comercial habitual. Los frutos en la temporada *temprana* presentaron una tasa respiratoria más alta que podría estar relacionada con el mayor número de células epidérmicas, del epicarpio y del endocarpio central por unidad de área hallada en el tejido. Por su parte, los frutos de temporada *tardía* mostraron hacia el final de su crecimiento (tamaños E2 y E3) cutículas más delgadas pudiendo deberse a la mayor humedad ambiente, un color púrpura más claro y mayor contenido de materia seca y firmeza que las berenjenas de temporada *temprana*. La materia seca fue el factor que mejor se relacionó y de forma positiva con la firmeza. Finalmente, los frutos en la temporada *intermedia* mostraron propiedades intermedias, y un mayor contenido de semillas. Por otro lado, los azúcares se acumularon en los frutos de temporada *tardía* en las berenjenas E2 e *intermedia* en E1. Los frutos pequeños, E1, mostraron mayores niveles y capacidad antioxidante que los frutos de tamaño comercial habitual, E2, tanto en piel como en pulpa. Sin embargo, tanto los contenidos absolutos como relativos entre los tamaños de fruto variaron según la temporada de cosecha, presentando diferencias mucho menores en la temporada *tardía*. Así, en general, los frutos potenciaron los antioxidantes de piel y pulpa en la temporada *intermedia*, a excepción de los frutos E2 que, en la pulpa, mostraron niveles altos y comparables a los de frutos E1 en la temporada *tardía* pudiendo ser el resultado del mayor tiempo que pasaron ligados a la planta para poder crecer. Esta información puede ser importante para los productores, ya que puede ayudar a conocer el período adecuado para cosechar berenjenas con alto contenido de compuestos fenólicos.

Por otro lado, se analizó el efecto de la temporada de cosecha sobre el comportamiento poscosecha y sensibilidad al daño por frío de berenjenas de diferentes tamaños. Para ello, en el **capítulo III** se almacenaron frutos de tamaños E1 y E2 a temperatura recomendada (10 °C) y de daño por frío (0 °C). En todas las estaciones se observó que las berenjenas pequeñas o E1 fueron más tolerantes al daño por frío durante el almacenamiento a 0 °C que las más grandes o E2. En la temporada *temprana* los frutos de ambos tamaños mostraron una pérdida de firmeza rápida a 10 °C y fueron altamente susceptibles al daño por frío ante el almacenamiento a 0 °C. Asimismo, los frutos de temporada *tardía* de ambos tamaños se deshidrataron cuando fueron almacenados a 10 °C y fueron susceptibles al daño por frío tanto superficial como interno durante el almacenamiento a 0 °C. Finalmente, los frutos de ambos tamaños y cosechados en la temporada *intermedia* se comportaron mejor a ambas temperaturas de almacenamiento. En particular, la vida útil se extendió por una semana cuando los frutos E2 cosechados en la temporada *intermedia* se almacenaron a 10 °C y E1 a 0 °C.

El desperdicio de alimentos, en especial de frutas y hortalizas, es cercano al 50% a nivel mundial. Algunas de las causas son el no emplear condiciones óptimas de almacenamiento y/o períodos de saturación del mercado en la época central de la ventana de cosecha. Una alternativa valiosa para aprovechar el excedente de producción en los meses de más oferta sería la obtención de un subproducto como un vegetal deshidratado en polvo y utilizarlo como ingrediente funcional en otro alimento. El pan es un alimento básico en la dieta humana, que puede ser enriquecido y/o saborizado en ciertos componentes, tales como antioxidantes, minerales y fibra aportados por el vegetal. Así, en el **capítulo IV** se elaboró y caracterizó un producto de berenjena violeta en polvo, se lo adicionó a un pan y se estudió el nivel de reemplazo adecuado y las propiedades reológicas de la masa, para optimizar su elaboración;

asimismo se evaluó la calidad panadera y sensorial. Para ello, se liofilizó tejido de berenjena y se molió para obtener el polvo, lográndose una composición nutricional similar al producto fresco, y con ventajas respecto a la harina de trigo. A su vez, se determinó que presentó un contenido de humedad por debajo de la de seguridad en un rango de 10-40 °C, considerándose un alimento seguro, y que incluso a 40 °C la degradación de los antioxidantes fue muy leve luego de 45 días. El reemplazo de 10% de harina de trigo con berenjena en polvo disminuyó la calidad y estabilidad de la mezcla de harinas, mostrando menor tolerancia al amasado. Asimismo, generó un debilitamiento de la estructura interna de la masa que ocasionó un menor volumen de la misma luego de la fermentación y que se reflejó también en el menor volumen específico del pan. A su vez, fueron los que presentaron la mayor dureza. Con el reemplazo de 5% se alcanzó el mayor volumen de masa durante la fermentación, pero necesitó el doble de tiempo respecto del control lo que ocasionaría una demora importante en la producción a escala del pan, una gran desventaja tecnológica. Sin embargo, los panes mostraron una buena calidad panadera alcanzando el mayor volumen específico y las propiedades texturales más similares al control. El reemplazo de 7,5% mostró un comportamiento intermedio. Una buena tolerancia al amasado y un tiempo de fermentación comparable al control; y una buena calidad panadera y sensorial. Así, se eligió emplear 7,5% para los futuros ensayos. Cabe destacarse que la calidad sensorial de los panes para los tres reemplazos fue bien puntuada por los consumidores, sin encontrarse diferencias significativas en la aceptabilidad.

Dada la variabilidad en la composición de los frutos de berenjena durante el crecimiento, el empleo de distintos tamaños de fruto podría afectar la panificación. Así finalmente, en el **capítulo V**, se analizó la calidad nutricional de berenjena en polvo a partir de dos tamaños de crecimiento diferentes (baby y comercial), y se empleó para elaborar un pan enriquecido. Se determinó su efecto sobre las propiedades reológicas de la masa, y se evaluó la calidad panadera, sensorial y nutricional del pan. Se observaron pequeñas diferencias en el comportamiento reológico de la masa al emplear berenjena de tamaño baby o comercial en polvo, aunque ciertos parámetros tendieron a igualarse luego de la cocción generando panes con igual volumen específico y alveolado. Sin embargo, los panes enriquecidos con berenjena baby en polvo fueron más rígidos y presentaron una corteza y miga más oscura que con berenjena comercial en polvo, pero dichos parámetros no fueron percibidos como diferentes por los consumidores durante el análisis sensorial de los panes. La berenjena baby en polvo presentó un menor contenido de humedad (23%) y más proteínas (15%) que la berenjena comercial en polvo; y, si bien el contenido de fibra dietaria total fue el mismo y con mayor proporción de fibra insoluble, con el crecimiento desde baby a comercial se observó una mayor proporción de fibras solubles, pasando de 5 a 30%. A su vez estaba enriquecida en antioxidantes (50%) en relación con la de berenjena comercial en polvo, lo que permitió luego un mayor enriquecimiento nutricional de los panes. En general, el empleo de un reemplazo de 7,5% de berenjena violeta en polvo de ambos tamaños logró panes con un 50% más de fibra dietaria total, y enriquecidos entre un 100-200% de compuestos antioxidantes de naturaleza fenólica según si se empleó berenjena comercial o baby, respectivamente.

ABSTRACT

Eggplant (*Solanum melongena* L.) has high fibre content and phenolic compounds, mainly chlorogenic acid. Its consumption is indicated for the prevention of several chronic and degenerative diseases. In order to maximize its quality and yield, eggplants are harvested once they have reached 80% of its final size. This process takes between 15 to 35 days since fruiting, depending on the variety type, temperature and sunlight intensity. In any case, eggplant can be consumed in any of the sizes during their growth. In the area of La Plata, Argentina, eggplant crops have a harvest window between November and May, which are the warmest months. Producers plant the seedlings in July-August to produce from November to May, or in December- January to produce from March to May. This leads fruits to be harvested from plants with different time since transplanting. There are no studies for eggplant as to whether the fruits from the first harvest have better quality than those of subsequent crops. Producers and consumers believe that fruits harvested towards the end of the productive cycle tend to be harder, bitter and with a higher percentage of seeds. The eggplant should be stored at 10 -12 °C since at lower temperatures it suffers cold damage. The last harvests last until autumn (lower ambient temperature) and there is a decrease of fruit quality, and therefore, a variation in post-harvest conservation. However, this has not been studied in detail. Thus, it should be possible to know if this behaviour is due to the greater time elapsed since transplanting, or to the season of the year, which coincides with the end of the productive cycle where prevailing temperatures are low. In **chapter I** from this paper, the effect of the time elapsed on the quality of the fruits during its growth since transplanting to harvest and post-harvest life of fruits of regular commercial size were studied. Eggplants fruits that came from plants with three months (end of December to end of March) or eight months (beginning of August to end of March) since transplanting were harvested at the end of March. Three-month eggplant fruits showed a higher growth rate, being an appropriate alternative to perform an early harvest. Furthermore, as regards the different quality of the fruits, we discovered that those from three-month old plants were indeed less solid than those from eight-month plants and presented higher sugar content only in those fruits of advanced size compared to those of eight-month old plants. No differences were observed between them regarding the number and size of seed and phenolic compounds. Three month eggplant fruits showed a better post-harvest behaviour when they were stored at 10 °C; its shelf life was extended by one week compared to eight-month eggplant fruits.

Afterwards, we studied the effect that weather conditions have on quality, cell morphology and fruits composition in different harvest seasons. Thus, in **chapter II** fruits of different growth status (baby E1, regular commercial E2, and advanced E3) were harvested in early season (late spring), intermediate (late summer) and late (late autumn), and various aspects regarding quality, organization of plant tissue (from the cuticle to the endocarp) were analyzed by optical microscopy and composition. It was observed that as the harvest season progressed, fruit growth rate decreased with the consequent extension of the period time needed to reach the regular commercial size. Fruits from early season had a higher respiratory rate that could be related to a greater number of epidermal, epicarp and central endocarp cells per unit area found in the tissue. On the other hand, fruits from late season showed thinner cuticles towards the end of their growth (E2 and E3 sizes) due to a higher ambient humidity, a lighter purple colour,

higher dry matter content and firmness than eggplants from the early season. Dry matter content was best and positively related factor to firmness. Finally, fruits from intermediate season showed intermediate properties and a higher seed content. On the other hand, sugars were accumulated in fruits from late season in E2 eggplants and in intermediate in E1. Small E1 fruits showed higher levels and antioxidant capacity than regular commercial size fruits, E2, both in skin and in pulp. However, relative and absolute configurations among fruit sizes varied according to the harvest season and presented fewer differences in late season. Thus, in general, fruits boosted skin and pulp antioxidants in the intermediate season, except for E2 fruits that, in the pulp showed higher levels and comparable to those of E1 fruits in the late season; this being the consequence of the time bounded to the plant in order to grow. This information may be significant for producers, as it may help them to acknowledge the appropriate time to harvest eggplants with high content of phenolic compounds.

Moreover, the effect of the harvest season on postharvest behaviour and sensitivity to cold in eggplants of different sizes was analysed. Therefore, in **chapter III**, fruits from E1 and E2 sizes were stored at a recommended temperature (10 °C) and cold damage (0 °C). It was observed that in all seasons, small eggplants or E1 were more tolerant to cold damage when being stored at 0 °C than larger ones or E2. In early season, fruits from both sizes showed a rapid loss of firmness at 10 °C and were highly subject to cold damage from storage at 0 °C. Likewise, late season fruits from both sizes become dehydrated when stored at 10°C and were subject to damage, both superficial and internal when stored at 0 °C. Finally, fruits from both sizes and harvested in the intermediate season showed better tolerance at both storage temperatures. Shelf life, in particular, extended by one week when E2 fruits harvested in early season were stored at 10 °C and E1 at 0 °C.

Food waste, especially fruits and vegetables, is close to 50% worldwide. Some of the causes of this waste are not applying appropriate storage conditions and/or market saturation periods at the central time of the harvest window. A useful alternative would be the manufacture of value-added by products, such as the manufacture of dried vegetable powder. Bread is a staple food in the human diet, which can be enriched or flavoured in some compounds like antioxidants, minerals and fibres provided by the vegetable. Thus, in **chapter IV** a violet eggplant powder was manufactured. This powder was added to bread and the suitable level of replacement and rheological properties of dough were studied in order to optimize its manufacture. Likewise, we evaluated its baking and sensory quality. In order to do so, eggplant tissue was lyophilized and ground to obtain the powder. The result obtained was similar nutritional composition to the fresh product and presented some advantages compared to wheat flour. In turn, it was determined that it had a moisture content below safety in a 10-40 °C range, being considered safe food; and that even at 40 °C, antioxidant degradation was very slight after 45 days. The replacement of 10% wheat flour with eggplant powder decreased the quality and stability of flour mixture and showed less knead tolerance. Additionally, it produced a weakening of the internal structure of the dough, which caused a smaller volume after fermentation. This was also reflected in a smaller specific bread volume, although these breads presented the greatest hardness. By replacing 5%, the largest dough volume was reached during fermentation, though it was needed twice the time to control, which would lead to a significant delay at scale production of bread and a major technological disadvantage. However, the breads showed an acceptable baking quality,

reaching the highest specific volume and more similar textural properties when controlling. The 7.5% replacement showed an intermediate behaviour, good knead tolerance and fermentation time comparable to the control and acceptable baking and sensory quality. Therefore, it was decided to use 7.5% for future tests. It should be noted that the sensory quality of the breads for the three replacements was well scored by consumers and with no significant differences in acceptability.

Given the variability in the composition of eggplants fruits during growth, the use of different fruit sizes could affect bread making. Finally, in **chapter V**, the nutritional quality of eggplant powder was analysed from two different growth sizes (baby and commercial), and it was used to manufacture enriched bread. Its effect on the rheological properties of dough as well as the baking, sensory and nutritional quality of the bread was analysed. When using baby or commercial sized eggplants, there were seen small differences in the rheological behaviour of dough, though some parameters had the tendency to become equal after cooking, thus producing breads with the same specific volume and honeycomb texture. However, breads enriched with baby eggplant powder were more rigid and had a darker crust and crumb than those enriched with commercial eggplant powder. Nonetheless, consumers did not perceive such parameters as different during the sensory analysis of the breads. Baby eggplant powder showed a lower moisture content (23%) and more protein (15%) than commercial eggplant powder; and, even though, the total dietary fiber content was the same and with a greater proportion of insoluble fiber, when growing from baby to commercial, greater proportion of soluble fiber was observed (from 5% to 30%.) It was enriched with antioxidants (50%) with respect to commercial eggplant powder, which later allowed a greater nutritional enrichment of the breads. In general, when using 7.5% of violet eggplant powder of both sizes, it was possible to achieve greater nutritional enrichment of the breads with 50% more total dietary fiber, and also breads enriched between 100-200% with antioxidant compounds of phenolic origin whether using commercial or baby eggplants, respectively.

Introducción general

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Cultivo de berenjena

1.1. Generalidades

La berenjena (*Solanum melongena* L) es una hortaliza originaria de zonas tropicales y subtropicales asiáticas (Daunay, 2008). Pertenece a la familia de las *Solanáceas*, al igual que otras hortalizas conocidas como la papa, el tomate y el pimiento. Es una planta herbácea perenne, aunque sus tallos con tejido lignificado le dan un aspecto arbustivo (Figura 1A). Generalmente presenta un manejo anual, dado a que si bien puede rebrotar en un segundo año si se tiene los cuidados pertinentes, la producción se ve reducida como así también la calidad del fruto (Nothmann, 1986). Presenta tallos fuertes y cilíndricos, que se bifurcan desde la primera flor cercana al suelo, suelen dejarse entre 2 a 4 tallos por planta (Figura 1B), y con la ayuda de un tutorado suelen alcanzar alturas superiores a 1,5 m. Presenta hojas grandes, enteras, de largo peciolo, y con nervaciones con espinas y cubiertas por una vellosidad gris (Figura 1A). Las flores presentan pétalos de color violáceo, y tanto el pedúnculo como el cáliz poseen abundantes espinas; el cáliz de la flor perdura después de la fecundación y crece junto al fruto, envolviéndolo por su parte inferior (Figura 1C).

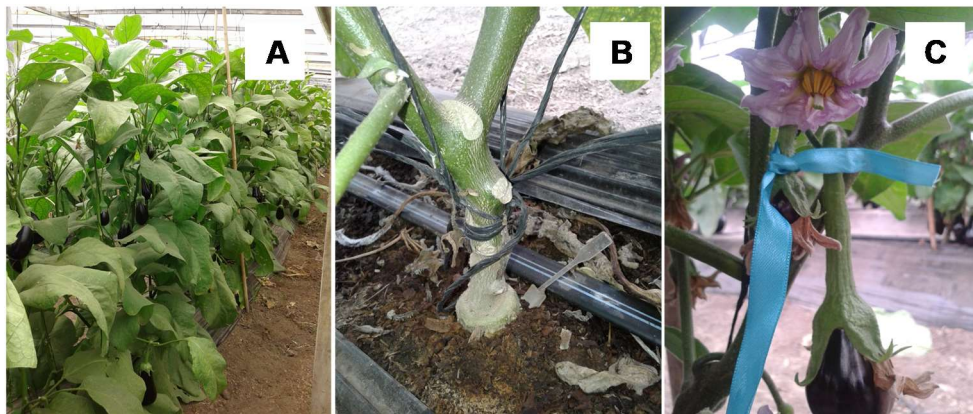


Figura 1. Apariencia del cultivo (A), tallo (B), flor y fruto (C) de berenjena

1.2. Anatomía del fruto

El fruto de berenjena es del tipo baya carnosa, presenta formas muy variables y una piel lisa, brillante y de colores muy diversos (Figura 2), según el cultivar. La estructura interna de la berenjena consta de una pulpa esponjosa de color blanco, en la cual se encuentran inmersas las semillas, que son pequeñas de color amarillo y planas (Figura 2), con un poder germinativo que oscila entre 4 y 6 años (Frery y col., 2007; Şekara y col., 2007). El tamaño de los frutos es variable, puede ir de 2-30 cm de largo y de 5-8

cm de diámetro. Puede ser consumida por completo, tejido placentario, semillas y piel; fría o caliente, suelen realizarse purés, conservas y otros platos elaborados.

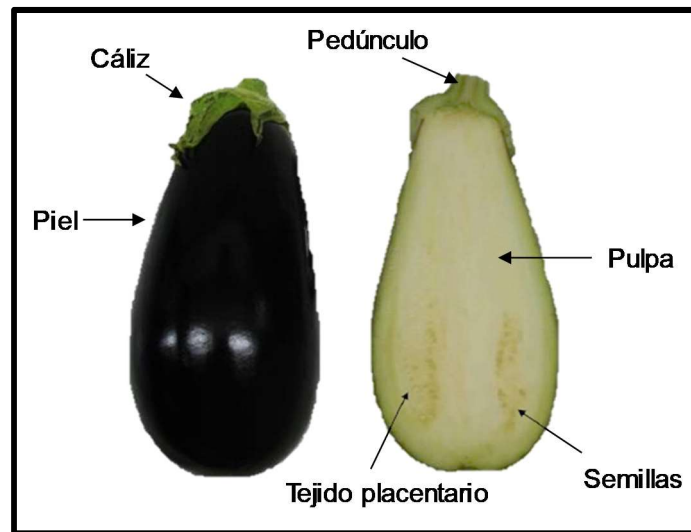


Figura 2. Morfología de un fruto de berenjena violeta.

Respecto a la microestructura de la berenjena, según **Puig y col. (2012)** podemos diferenciar a los tejidos principales en:

-**Epidermis**: capa continua de células redondeadas, empaquetadas y cubiertas por una capa cerosa uniforme y no porosa (**Figura 3.A**).

-**Epicarpio**: capa celular más externa que casi no tiene espacios intercelulares, y contiene a los pigmentos que dan color a la piel (**Figura 3.A, B y C**). Se compone principalmente de 4 a 5 capas de células redondeadas (10-25 μm).

-**Endocarpio**: células que se encuentran bajo el epicarpio, y prácticamente tomando el resto de la pulpa de la fruta, se encuentra una estructura blanca y esponjosa (**Figura 3.C**). A medida que la observación microestructural progresa hacia la parte interna de la fruta (siguiendo la dirección radial), las células se hacen cada vez más grandes y también se pueden observar grandes espacios intercelulares. Este tejido se caracteriza por células tubulares interconectadas y una alta porosidad, particularmente en las zonas más internas.

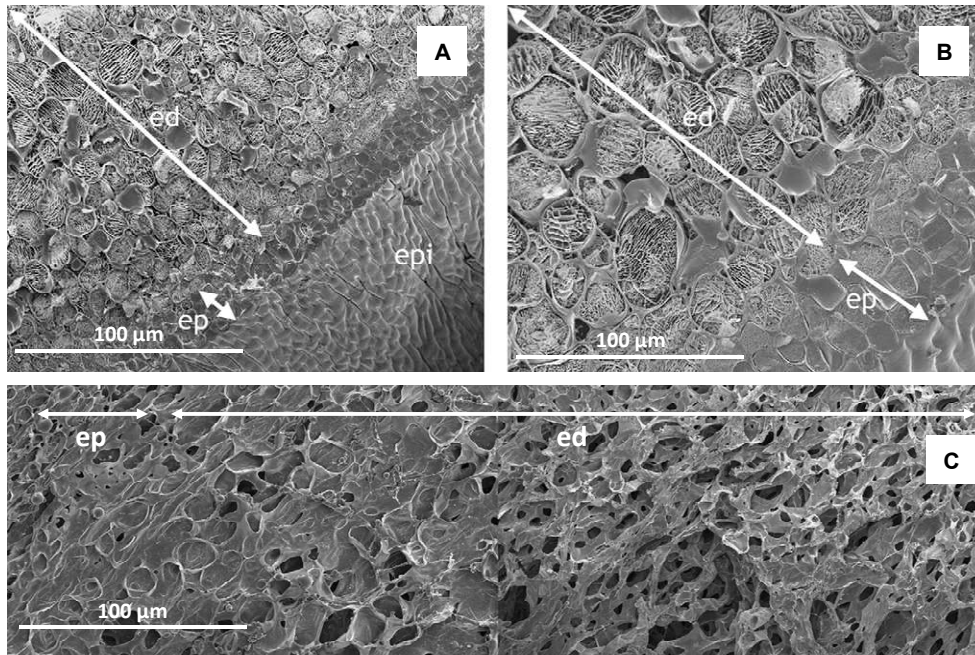


Figura 3. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de un corte transversal externo (A y B) e interno (C) de berenjena (Puig y col., 2012).epi: epidermis, ep: epicarpio, ed: endocarpio.

1.3. Variedades de berenjena

Como se mencionó anteriormente, existen berenjenas de formas y colores muy diversos debido a las diferentes variedades. Desde el punto de vista botánico, se puede clasificar a *Solanum melongena* en tres variedades según la forma (Niño-Medina y col., 2017):

- *Solanum melongena* var. *esculentum*: frutos redondos, ovalados o en forma de huevo.
- *Solanum melongena* var. *serpentinum*: frutos largos y delgados
- *Solanum melongena* var. *depressum*: frutos pequeños, redondos y precoces.

A su vez una clasificación de los cultivares basada en la forma y color del fruto, usada comúnmente, es la siguiente (Şekara y col., 2007):

- Berenjenas occidentales: son las típicas en América, se encuentran de dos formas básicas, ovales y alargadas, y generalmente son grandes, pueden encontrarse violetas, blancas y rayadas (Figura 4.A, B y C).
- Berenjenas miniatura (mini baby): son de pocos centímetros de largo, estrechas o redondeadas, también se las puede encontrar violetas, blancas y rayadas (Figura 4.D, E y F).
- Berenjenas orientales: se pueden dividir a su vez en chinas, generalmente largas y delgadas, de color violeta claro y con pocas semillas (Figura 4.G); japonesas,

alargadas y delgadas de color violeta oscuro (**Figura 4.H**), e indias, son pequeñas y ovales, violetas o rayadas (**Figura4.I**).

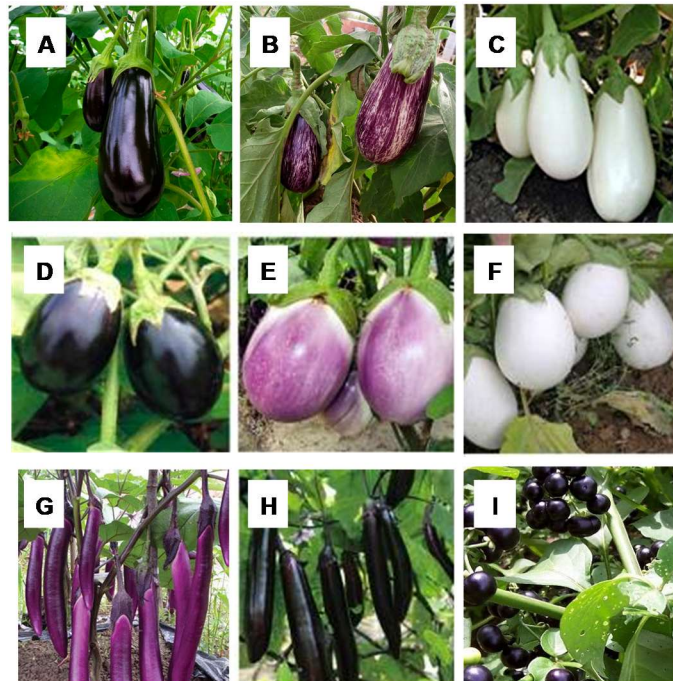


Figura 4. Variedades de berenjena: occidentales de color violeta (**A**), rayadas (**B**) y blancas (**C**), berenjenas miniaturas de color violeta (**D**), rayada (**E**) y blanca (**F**) y orientales chinas (**G**), japonesa (**H**) e indias (**I**).

1.4. Producción y consumo

En la actualidad, la berenjena se considera el tercer cultivo en importancia dentro de las *Solanáceas*, luego de la papa y el tomate (**Sękara y col., 2007**). Según los últimos datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agroindustria (**FAO**), la producción de berenjena a nivel mundial superó los 50 millones de toneladas en el año 2017, la misma viene incrementándose en los últimos años, habiendo evolucionado en un 39% del año 2007 al 2017. En Asia se concentra el 90% de la producción total, siendo China el principal país productor, con un 53%; y en América solo se registra el 0,6% de la producción mundial.

Por otro lado, en Argentina, según el Censo Nacional Agropecuario de 2002, se estima una producción superior a las 30000 toneladas anuales, siendo las principales provincias productoras Buenos Aires (23%), Salta (17,5%), Santa Fe (17%), Córdoba (7,5%), Jujuy (6,8%), Mendoza (6;8%) y Formosa (4,3%). Según datos del Instituto Nacional de estadísticas y Censos de la República Argentina (**INDEC**), Argentina interviene en el mercado externo del Mercosur solamente con importaciones,

principalmente de Brasil, para cubrir necesidades de su mercado interno. Sin embargo, el mercado se encuentra abastecido por producción nacional todo el año, la oferta anual proviene en gran medida del NOA (alrededor del 60%) y provincia de Buenos Aires (23% aproximadamente). El principal destino de la producción interna es para consumo en fresco.

1.5. Requerimientos agronómicos

Requerimientos climáticos: Es un cultivo de climas cálidos y secos, por lo que soporta bien temperatura elevadas siempre que la humedad sea la adecuada, llegando a tolerar hasta 40-45 °C con una humedad relativas óptima de 50-65%. Cuando la humedad y la temperatura son elevadas se produce una floración deficiente, caída de flores, frutos deformes y disminución del crecimiento (**Chen y Li, 1996**). Las temperaturas críticas para las distintas fases del desarrollo del cultivo pueden observarse en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Temperaturas óptimas, mínimas y máximas para cada fase del cultivo de berenjena (**Chen y col., 2002**).

Fases del cultivo	Temperatura (°C)		
	Óptima	Mínima	Máxima
Germinación	24-29	15	35
Crecimiento vegetativo	20-27	13-15	40-45
Floración y fructificación	20-30	-	-

En cuanto a la luminosidad, es una planta muy exigente, requiere entre 10 a 12 h de luz, por lo que, en días cortos, como ocurre en el otoño e invierno, es necesario aprovechar las horas de luz (**Anónimo, 2019**). Si la misma es insuficiente se produce una fecundación deficiente, aborto de flores y frutos deformes.

Requerimientos del suelo: no es muy exigente en cuanto al suelo debido a que presenta un sistema radicular potente y profundo. En suelos arcillosos pueden presentarse problemas de asfixia radicular, mostrando rápidamente los síntomas. En cuanto a los valores de pH óptimos oscilan entre 6-7, aunque en suelos menos pesados puede cultivarse con valores de pH superiores (7,0 y 8,5) (**Anónimo, 2019; Chen y Li, 1996**). En suelos ácidos presenta problemas de crecimiento y producción. Es menos resistente a la salinidad que el tomate, siendo más sensible durante las primeras fases del desarrollo.

1.6. Composición nutricional

Además de acumular minerales, que son elementos esenciales en la dieta humana, las plantas producen una amplia gama de metabolitos primarios y secundarios que afectan a la salud y a la nutrición humana (**Gürbüz y col., 2018**). Los metabolitos primarios son compuestos que están directamente involucrados en los procesos fisiológicos y en el desarrollo de la planta, y son cruciales para la nutrición humana, ellos son los carbohidratos, proteínas, lípidos y vitaminas. Por otro lado, los metabolitos secundarios, no son esenciales para los procesos básicos de la planta, pero juegan un papel importante en los mecanismos de defensa contra el estrés biótico y abiótico, y a su vez, un rol fundamental en la salud humana, como lo son algunos compuestos con capacidad antioxidante.

En cuanto a los metabolitos primarios (**Tabla 2**), la berenjena, al igual que otras hortalizas, es una fuente importante de agua, vitaminas (principalmente vitamina K), carbohidratos (en particular fibra que se detallará en la **sección 1.6.2**); mientras que a su vez, presenta un bajo contenido de calorías, grasas y proteínas (**San José y col., 2014**).

Tabla 2. Datos de la composición nutricional por cada 100 g en peso húmedo (p.h) de la porción comestible en crudo (**USDA, 2019**).

Proximales	Por cada 100 g (p.h)
Agua	92,30 g
Energía	25 Kcal
Proteína	0,98 g
Total de lípidos (grasas)	0,18 g
Hidratos de carbono totales	5,88 g
Fibra dietética total	3,0 g
Azúcares totales	3,53 g

Como metabolitos secundarios de importancia nutricional presentes en berenjena podemos mencionar a los glicoalcaloides, siendo la α -solasonina y α -solamargina los principales (**Chen y Li, 1996; Friedman, 2015; Gürbüz y col., 2018; Sánchez-Mata y col., 2010**). En la planta, tienen una función de defensa frente al ataque de insectos y microorganismos, mientras que para los humanos son potencialmente tóxicos en ciertos niveles (20 mg/100 g de peso fresco se considera como límite de seguridad) y resultan responsables del sabor amargo de los frutos (**Mennella y col., 2012; Mennella y col., 2010; Sánchez-Mata y col., 2010**). Por otro lado, los metabolitos secundarios de mayor relevancia en berenjena son los compuestos fenólicos, de reconocido potencial

antioxidante y altamente beneficiosos para la salud humana (**Gajewski y col., 2009; Gürbüz y col., 2018**), los mismos se detallan a continuación.

1.6.1. Antioxidantes

Las especies reactivas del oxígeno (EROs) son especies químicas (radicales o no) altamente reactivas al oxígeno, capaces de promover la oxidación celular. Si bien el oxígeno, empleado para el metabolismo celular, es el principal responsable de la producción de EROs, existen diversos factores exógenos como lo son la radiación solar, toxinas fúngicas, pesticidas que pueden incrementar su nivel (**Avello y Suwalsky, 2006**). A su vez, en condiciones en la que exista una mayor actividad metabólica (etapas de crecimiento, condiciones de estrés biótico y abiótico), también se generan estas sustancias oxidantes (**Avello y Suwalsky, 2006; Halliwell, 1999**).

Existen mecanismos de defensa antioxidante contra el daño oxidativo generado por las EROs, en los cuales podemos incluir a las enzimas antioxidantes, como la superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPX), catalasa (CAT) y ascorbato peroxidasa (APX); y a los antioxidantes no enzimáticos, representados por el ácido ascórbico (vitamina C), los tocoferoles y tocotrienoles, los carotenoides, los compuestos fenólicos, el glutatión y algunas proteínas (**Castenmiller, 2000; Lone y col., 2013; Zimmermann y Zentgraf, 2005**).

Los compuestos fenólicos son los antioxidantes principales presentes en berenjena. Por un lado, podemos mencionar al ácido clorogénico como el principal ácido fenólico, presente tanto en la piel como en la pulpa del fruto (**Zaro y col., 2015b**); y por el otro, en términos de flavonoides, se han informado cantidades significativas de antocianinas en la piel pigmentada del fruto (**Braga y col., 2016**).

1.6.1.1. Ácido clorogénico

El ácido clorogénico (ACG) es un éster de los ácidos cafeico y quínico (**Figura 5**), y es el principal compuesto fenólico soluble en berenjena, resultando ser así, el mayor contribuyente de la actividad antioxidante del fruto, posicionando a la berenjena dentro de los diez vegetales con mayor capacidad antioxidante (**Cao y col., 1996; Plazas y col., 2013a**).

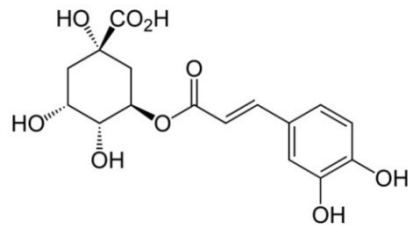


Figura 5. Estructura química del ácido clorogénico (ACG).

El contenido de ACG en berenjena puede ir desde los 4240 a 9610 mg/kg de peso fresco (Gürbüz y col., 2018), dependiendo de diversos factores. Por un lado, Hanson y col. (2006), Prohens y col. (2007), Raigón y col. (2008) y Okmen y col. (2009) son algunos de los autores que han encontrado diferencias importantes en el contenido de ACG entre diferentes variedades de berenjena. Pero, por otro lado, el factor genético no es el único a tener en cuenta, sino que la etapa del desarrollo del fruto también es determinante, y se ha observado una disminución en su contenido con el desarrollo (Mennella y col., 2012; Zaro y col., 2014b). También, se debe considerar la sección del fruto, ya que posee una distribución diferencial que concentra el mayor contenido de ACG en la piel (Niño-Medina y col., 2017; Plazas y col., 2013a), en tanto que en la pulpa se halla en la sección media por sobre la superior y su base (Whitaker y Stommel, 2003) y en el centro de la rodaja por sobre el endocarpio más externo y epicarpio (Zaro y col., 2014a).

1.6.1.2. Antocianinas

Las antocianinas son antocianidinas glicosiladas con una o dos unidades de glucosa, galactosa o rutinosa. Las antocianidinas son una sub-clase dentro de los flavonoides, que son pigmentos hidrosolubles de diferente coloración (azul, violeta, rojo y naranja). Se conocen 5 antocianidinas que pueden ser agrupadas por el color mayoritario en (Figura 6): pelargonidina (naranja), cianidina y peonidina (naranja-rojo) delfinidina, petunidina y malvidina (color azul-rojo) (Durst y Wrolstad, 2001; Goulas y col., 2014)

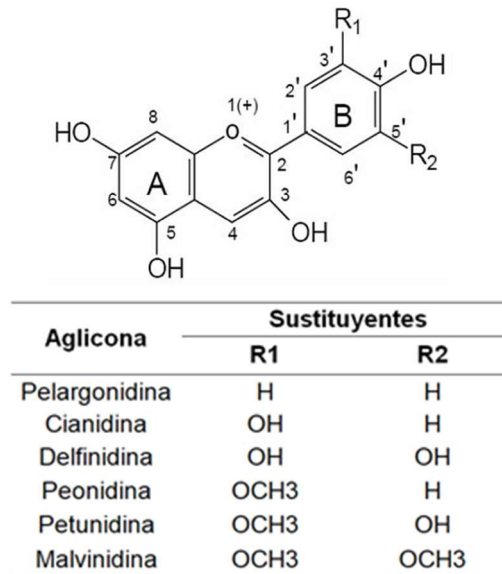


Figura 6. Estructura y sustituyentes de las antocianinas (Durst y Wrolstad, 2001)

El grado de hidroxilación y metoxilación, y su posición en el anillo B, afectan la estabilidad, reactividad y capacidad antioxidante de las antocianinas. En conjunto, estos factores estructurales modulan su capacidad para actuar como captadores de radicales libres y quelantes de metales (Aguilera-Otíz y col., 2011; del Valle Leguizamón y col., 2005).

Las antocianinas se encuentran en la piel de berenjena, se pueden encontrar valores que rondan entre los 80 y 850 mg/kg de peso fresco dependiendo de factores agronómicos y genéticos, intensidad y tipo de luz, temperatura, procesamiento y almacenamiento (Dranca y Oroian, 2016). Los glucósidos de delfinidina (derivados de la antocianidina de delfinidina) son las principales antocianinas de la piel de berenjena y le imparten un color púrpura oscuro (García-Salas y col., 2014; Li y Ding, 2012), e incluso es la antocianina mayoritaria en los frutos rayados (Darré, 2019).

1.6.1.3. Efectos fisiológicos de los antioxidantes

El ACG presenta propiedades antiinflamatorias, antidiabéticas, actúa como un cardioprotector y disminuye la incidencia de obesidad (Plazas y col., 2013 a,b); a su vez, se ha demostrado su efecto anticancerígeno, al inducir apoptosis en células cancerosas humanas, de leucemia y de cáncer de pulmón (Tajik y col., 2017). A su vez, Ahmed y col. (2016), han probado las propiedades antibacterianas de extractos metanólicos de berenjena, y obtuvieron resultados prometedores, siendo efectivo contra *S. aureus*, *V. cholera*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *E. coli* y *Pseudomonas* sp.

Las antocianinas ayudan a prevenir enfermedades neuronales, cardiovasculares, cáncer, diabetes, inflamaciones y muchas otras afecciones médicas (**Gürbüz y col., 2018**). **Basuny y col. (2012)** afirmaron que las antocianinas de la piel de berenjena presentan un poder reductor de los niveles de colesterol. A su vez, tienen un rol fundamental en la prevención de la obesidad reduciendo los triglicéridos y el colesterol en suero, y aumentando el colesterol de lipoproteína de alta densidad (HDL) (**Seeram y col., 2001**). A su vez parecen controlar la diabetes, se usan en el tratamiento de úlceras, ayudan a mejorar la función cognitiva y la vista (**Ghosh y Konishi, 2007**; **Yousuf y col., 2016**).

1.6.2. Fibras

La fibra dietética se puede definir como una clase de compuestos que incluyen una mezcla de polímeros de carbohidratos vegetales, tanto oligosacáridos como polisacáridos, por ejemplo, celulosa, hemicelulosas, sustancias pécticas, gomas, almidón resistente, inulina, que pueden estar asociados con lignina y otros componentes no carbohidratos (por ejemplo, polifenoles, ceras, saponinas, cutina, proteínas resistentes, entre otros) (**Elleuch y col., 2011**).

Actualmente existen diversas definiciones del término fibra. La National Academy of Sciences (NAS) y Food and Nutrition Board de los Estados Unidos, en el año 2002, definieron los términos Fibra Dietaria, Fibra Funcional y Fibra Total. Se entendió como fibra dietaria “a aquellos glúcidos no digeribles y la lignina intactos presentes en las plantas”. Por otra parte, describieron fibra funcional como “aquellos hidratos de carbono no digeribles aislados para los cuales se han acumulado evidencias de efectos fisiológicos benéficos en la salud de los seres humanos”. Y por último fibra total como “la suma de la fibra dietaria y la fibra funcional” (**Donnelly, 2003**; **Zuleta, 2005**).

Las fibras pueden dividirse según su composición en (**Escudero Álvarez y González Sánchez, 2006**):

- **Polisacáridos no almidón**: son los polímeros de carbohidratos que contienen al menos veinte residuos de monosacáridos, y que, a diferencia del almidón, llegan al colon por no ser digeridos ni absorbidos previamente, y poseen efectos fisiológicos. En los vegetales podemos encontrar: celulosa, α -glucanos y hemicelulosas.
- **Oligosacáridos resistentes**: son hidratos de carbono con un nivel menor de polimerización, entre tres a diez moléculas de monosacáridos. Se dividen en: fructooligosacáridos (FOS), galactooligosacáridos (GOS), xigooligosacáridos (XOS) e isomaltosoligosacáridos (IMOS).
- **Ligninas**: es un polímero de alcoholes fenilpropílicos, contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignina no se

digiere ni se absorbe tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado. Muchas verduras, hortalizas y frutas contienen un 0,3% de lignina, en especial en estado de maduración.

- **Sustancias asociadas a polisacáridos no almidón:** son poliésteres de ácidos grasos e hidroxiácidos de cadena larga y fenoles. Los más importantes son la suberina y la cutina. Se encuentran en la parte externa de los vegetales, junto con las ceras, como cubierta hidrófoba.
- **Almidones resistentes:** son la suma del almidón y de sus productos de degradación que no son absorbidos en el intestino delgado de los individuos sanos.

Las fibras no son digeridas por las secreciones endógenas del tracto gastrointestinal y en el intestino pueden fermentarse parcial o totalmente, dependiendo de su solubilidad, es así que, desde el punto de vista nutricional, se considera apropiado clasificar y organizar a las fibras alimentarias o dietéticas según su comportamiento en medio acuoso en solubles e insolubles (**Elleuch y col., 2011**), que en su conjunto dan origen a la fibra dietaria total.

En el fruto fresco de berenjena contiene un 3% de fibra dietaria total, como se mencionó anteriormente en la composición nutricional del mismo, el principal tipo de fibra lo constituyen los polisacáridos no almidón, dentro de ellos la celulosa seguida por hemicelulosa, y lignina en menor medida (**Englyst y col., 1988; Zia-ur-Rehman y col., 2003**). Valores alrededor del 2% de fibra dietaria total (g/100g fruto fresco) han sido reportados para berenjena de diferentes variedades (**Englyst y col., 1988; Khanum y col., 2000; USDA, 2019**).

Se sugiere un consumo diario en adultos de entre 20 y 35 g de fibra dietaria total (**Dhingra y col., 2012**), y se estima que entre un 30-40% de las mismas provienen de fuentes vegetales.

1.6.2.1. Fibras solubles

Son aquellas que forman geles en contacto con el agua, y son fermentadas por completo. Comprenden a las gomas, mucílagos, pectinas, almidón resistente, algunas hemicelulosas, galactooligosacáridos, inulina y fructooligosacáridos. En los frutos de berenjena de un tamaño comercial, la fibra soluble representa alrededor de un 20% de la fibra dietaria total (**Dhingra y col., 2012**). Sin embargo, prácticamente son nulos los trabajos que analizan la variación del contenido de fibra durante el crecimiento de los

frutos de berenjena, cuya particularidad es que se cosechan aún inmaduros, como el zuchini, zapallo de tronco y pepino.

1.6.2.2. Fibras insolubles

Son aquellas parcialmente fermentables en el intestino por las bacterias colónicas y no forman dispersión en agua. Dentro de estas podemos mencionar a la celulosa, hemicelulosa y lignina. En berenjena, al igual que en otras hortalizas de fruto, el contenido de fibra insoluble es mayor que las solubles. En frutos de berenjena un 80%, aproximadamente, de las fibras dietarias totales son insolubles (**Dhingra y col., 2012; Padalino y col., 2013**).

1.6.2.3. Efectos fisiológicos de la fibra

La fibra juega un papel importante en todas las funciones del sistema digestivo, las dietas con un alto contenido de fibra se han relacionado con una disminución en la incidencia de varias enfermedades tales como: enfermedad coronaria, accidentes cerebrovasculares, hipertensión, diabetes, obesidad y ciertos trastornos gastrointestinales (**Anderson y col., 2009**), debido a sus efectos beneficiosos. Entre ellos podemos mencionar el aumento del volumen de la masa fecal y la disminución del tiempo del tránsito intestinal, prolongando la sensación de saciedad (**Dhingra y col., 2012**). Por otro lado, también disminuyen el colesterol como consecuencia de la menor absorción de ácidos biliares (**Trautwein y col., 1999**), y los niveles glucémicos (**Kay y col., 1981**). A su vez, las fibras son capaces de atrapar diversas sustancias, por un lado nocivas, como agentes mutagénicos y cancerígenos, pero por el otro, minerales como el calcio, hierro, cobre y zinc pueden formar compuestos insolubles con la fibra y ser liberados en el colon por el metabolismo bacteriano, donde, aunque la absorción es más lenta que en el intestino delgado, pueden absorberse cantidades importantes. Por otro lado, entre otros factores beneficiosos, las fibras estimulan la proliferación de la flora intestinal, equilibran el pH intestinal y estimulan la fermentación intestinal produciendo ácidos grasos de cadena corta, reduciendo el riesgo de cáncer colon rectal, entre otros (**Dhingra y col., 2012**).

1.7. Índice de cosecha y calidad

En la berenjena, la madurez comercial no coincide con la fisiológica, deben recolectarse cuando las semillas no están muy desarrolladas, es por ello que se consideran como frutos inmaduros. Es así que la cosecha se realiza por tamaño, en un estado

fisiológicamente inmaduro, generalmente cuando han alcanzado un 80% de su tamaño final (**Mohammed y Brecht, 2002**). La cosecha se realiza de forma manual y secuencial, cada 3-6 días, de acuerdo con las condiciones climáticas, para que los frutos alcancen el tamaño adecuado (**Mangione y Sánchez, 2004**). La calidad de los frutos al momento de cosecha está dada por la firmeza de los mismos, su forma, presentar una piel brillante y tersa y una pulpa y semillas de color blanquecino uniforme (**Mangione y Sánchez, 2004; Siller-Cepeda, 2004**).

Por otro lado, los requisitos de calidad poscosecha para su comercialización son: presentar un estado sanitario adecuado, sin presencia de daños, estar firmes, limpios, sin sabores u olores desagradables, y con un tamaño uniforme. A su vez, el pedúnculo adherido al fruto debe presentar una corta longitud (evitando daño de frutos adyacentes), apariencia fresca y un color verde (**Molinar y col., 1996**).

1.8. Fisiología poscosecha

Una vez cosechados los frutos de berenjena deben ser almacenados y transportados en condiciones adecuadas. Para ello debe tenerse en cuenta que son frutos que presentan un comportamiento no climatérico (**Vijay y col., 2012**), es decir que una vez cosechados no presentan un incremento en la respiración y producción de etileno, y los cambios que pueden llegar a ocurrir son limitados (**Toivonen, 2011**). Es así que los frutos de berenjena presentan una moderada tasa respiratoria, 8-11 $\mu\text{l CO}_2/\text{kg h}$, y una baja producción de etileno, 0,1-0,7 $\mu\text{l/ kg h}$, a 12,5 °C (**Cantwell y Suslow, 1997**), pero a su vez son sensibles al mismo, por lo que debe evitarse el exponerlos durante el almacenamiento y/o transporte a productos que lo generen. En cuanto a la temperatura de almacenamiento, en general, se recomienda el empleo de bajas temperaturas para controlar la actividad respiratoria y extender la vida poscosecha del fruto, pero, la berenjena al ser un fruto de climas cálidos, es sensible al daño por frío a temperaturas menores que 10 °C (**Concellon y col., 2007; Nothmann, 1986**). Es así que se recomienda un almacenamiento a temperaturas de 10-12 °C y humedad relativa de 90-95%, para obtener una baja tasa respiratoria, lográndose en estas condiciones una vida poscosecha de 14-21 días sin que se vea alterada la calidad visual y organoléptica de los frutos (**Cantwell y Suslow, 1997**), siendo la pérdida de brillo, deshidratación y pérdida de peso los principales parámetros que la delimitan (**Jha y Matsuoka, 2002**).

1.9. Pérdidas poscosecha

Las pérdidas en calidad y cantidad de los productos fruti-hortícolas durante la poscosecha, período que abarca todas las operaciones entre la cosecha y el consumo,

afectan en gran medida el rendimiento y la viabilidad comercial de un cultivo. En general, los vegetales frescos tienen alto contenido de agua y están sujetos a la deshidratación, el daño mecánico y el deterioro patológico. Se estima que la magnitud de las pérdidas debido a estas causas alcanza entre 25 y 50% (**Kader, 2007**).

Para disminuir las pérdidas poscosecha existen herramientas que van desde la aplicación de diversas prácticas poscosecha para extender la vida útil del producto, que incluyen desde el almacenamiento a la temperatura recomendada, como tratamientos complementarios y procesamiento (**Raju y col., 2010**); hasta el aprovechamiento de productos de descarte (que no cumplen con determinadas normas de calidad, como tamaño, color, forma, entre otras; pero si de inocuidad) para la elaboración de subproductos con mayor valor agregado, como lo son los de IV gama (productos frescos listos para su consumo) o aquellos que involucran un proceso de transformación del producto fresco (deshidratados, cocidos, puré, alimentos manufacturados).

En berenjena los principales deterioros que podemos mencionar son: pérdida de brillo, pérdida de peso por deshidratación, pardeamiento enzimático y daño por frío. Los mismos se detallan a continuación.

1.9.1. Pérdida de brillo

Como se mencionó anteriormente, el brillo superficial es un parámetro de calidad en berenjena (**Figura 7A**), por lo cual su pérdida o disminución ocasiona un efecto negativo en la selección por calidad de los frutos (**Figura 7B**). La superficie de los frutos de berenjena se encuentra cubierta por una cutícula, con capas y depósitos cerosos, que, además de funcionar como un importante elemento estructural, permite la conservación del agua y otros componentes, brinda protección y actúa como una barrera de defensa frente al ataque de microorganismos; a su vez, la cera epicuticular (cera exudada sobre la superficie de la cutícula), es la responsable de otorgarle brillo a la piel del fruto (**Ward y Nussinovitch, 1996**). Es así que la pérdida de dicho parámetro de calidad, más allá de significar un defecto visual, podría influir sobre otras funciones fisiológicas del fruto.



Figura 7. Frutos de berenjena con su brillo característico(A) y con pérdida del mismo (B).

1.9.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso se considera un parámetro de pérdida de calidad, ya que la deshidratación del fruto originada por una pérdida de agua del mismo, viene acompañada de una pérdida de turgencia, una disminución del brillo superficial, arrugamiento de la piel y marchitamiento del cáliz (Díaz-Pérez, 1998) (Figura 8). En berenjena, una pérdida de peso entre 7 y 10% la vuelve no comercializable (Mohammed y Brecht, 2002). La velocidad de pérdida de agua depende de factores internos, como las características morfológicas del fruto, la relación superficie/volumen, presencia de daños superficiales y el estado de madurez del fruto; y de factores ambientales, como la temperatura, humedad relativa y movimiento del aire (Van Hung y col., 2011).



Figura 8. Síntomas visuales de la pérdida de peso en berenjena.

Dentro del fruto, la mayor pérdida de agua está dada por el cáliz (65% del total), por lo que en los frutos más pequeños donde la relación cáliz/área superficial es mayor que en los frutos más grandes, la pérdida de agua también es mayor (**Díaz-Pérez, 1998**).

1.9.3. Pardeamiento enzimático

Anteriormente, como parámetro de calidad del fruto de berenjena, se mencionó que la pulpa debía ser de color blanquecina, por lo que el pardeamiento enzimático se convierte en otro factor de deterioro organoléptico y nutricional, debido a la formación de polímeros complejos de color marrón (melaninas) (**Figura 9**), desarrollo de un sabor desagradable y pérdida de compuestos con capacidad antioxidante, por oxidación directa de los compuestos fenólicos (**Mishra y col., 2012; Oms-Oliu y col., 2010**). Asimismo, se desarrolla pardeamiento enzimático en la piel de los frutos y aquí se los conoce como escaldaduras superficiales, aspecto que se desarrollará en la siguiente sección (**Figura 10**). La principal enzima involucrada en el pardeamiento enzimático es la polifenol oxidasa (PPO), la cual, en presencia de O_2 , cataliza la hidroxilación de monofenoles a o-difenoles (actividad cresolasa) y la posterior oxidación de o-difenoles a quinonas (actividad catecolasa); esta o-quinonas se condensan y reaccionan de forma no enzimática con aminoácidos y proteínas, dando lugar a la formación de pigmentos de melanina de color marrón (**Perez-Gilabert y García Carmona, 2000**). En particular, cuando el pardeamiento se da en la piel de berenjena, las antocianidinas son también sustratos de PPO (**Pifferi y Cultrera, 1974; Sakamura y col., 1966; Xuequn y col., 2008**). Otra familia importante de enzimas oxidativas son las peroxidasas (POD), éstas participan del pardeamiento enzimático debido a que son capaces de oxidar a los polifenoles en presencia de H_2O_2 ; aunque debido a los niveles bajos de H_2O_2 en los tejidos vegetales su contribución en el pardeamiento enzimático no se considera tan importante como la PPO (**Cantos y col., 2002; Mishra y col., 2013**). Sin embargo, durante la oxidación de algunos compuestos fenólicos catalizada por la PPO se genera H_2O_2 , sugiriendo una acción sinérgica entre la POD y PPO en el proceso del pardeamiento enzimático (**Oms-Oliu y col., 2010**).

El pardeamiento enzimático en berenjena ocupa una problemática primordial en cuanto a la pérdida de calidad del fruto, debido a su alto contenido de compuestos fenólicos (**Perez-Gilabert y García Carmona, 2000**). Dicho deterioro es observado de forma prácticamente inmediata luego del corte del fruto, debido a que por el daño generado se pierde la compartimentalización celular, y se ponen en contacto el sustrato (compuestos fenólicos) normalmente confinados en vacuolas, con las enzimas (PPO y POD) causantes de la oxidación ubicadas en plástidos (**Concellon y col., 2007; Ghidelli y col., 2014; Zaro y col., 2014a**). A su vez, la aparición de dicho deterioro en frutos

enteros, se relaciona con almacenamientos prolongados o a baja temperatura (Concellon y col., 2007; Massolo y col., 2011; Perez-Gilabert y García Carmona, 2000).

La medición del pardeamiento enzimático puede ser llevado a cabo de manera visual, o mediante el empleo de un colorímetro. Plazas y col. (2013a), determinaron que un buen indicador del pardeamiento enzimático interno en berenjena es la determinación de la luminosidad (L^*).



Figura 9. Pardeamiento enzimático creciente del tejido interno de berenjena.

1.9.4. Daño por frío

Como ya se mencionó, la berenjena es susceptible al daño por frío, la fisiopatía (**Figura 10**) se caracteriza por pérdida de brillo superficial, pardeamiento de la piel (escaldaduras) y de la pulpa y semillas (**Figura 10.A, C y D**), punteado superficial (pitting) (**Figura 10.B y C**), pérdida de solutos, aparición de olores desagradables y aumento de pudriciones (**Figura 10.E y F**) (Cantwell y Suslow, 1997; Concellon y col., 2007). Los mecanismos involucrados en este tipo de lesión, se relacionan con cambios en la integridad y funcionalidad de las membranas celulares. Los lípidos de membrana son los responsables de la adaptación de los frutos a las condiciones ambientales. En el caso del daño por frío, ocurriría una transición de fase, en donde los lípidos de membrana pasarían de la fase líquido-cristalina a la de gel-sólido; generando modificaciones en el funcionamiento normal de las membranas (alteraciones enzimáticas, desbalance de procesos metabólicos, aumento de permeabilidad lo que implica también pérdida de agua, y acumulación de metabolitos tóxicos) (Lara y col., 2014; Lyons, 1973). Si la exposición a bajas temperaturas es prolongada, finalmente ocurriría el daño celular, ocasionando las escaldaduras superficiales. El pitting, aparece en las etapas iniciales del daño, se debe al colapso de las células. En las aéreas dañadas, a su vez, se favorece la aparición de pudriciones debido a la infección secundaria de microorganismos (Toivonen, 2011).

La susceptibilidad a este tipo de daño depende del cultivar, de la temperatura y del tiempo de exposición a las bajas temperaturas, del grado de madurez, y de las temperaturas previas a la cosecha (**Wang, 1994**).



Figura 10. Fisiopatías observadas debido al daño por frío en berenjena: pardeamiento interno (A), pitting (B), pitting y escaldaduras superficiales incipientes (C y D) y desarrollo de hongos (E y F).

2. Alimentos funcionales

Actualmente, la demanda por parte de los consumidores en el campo de la producción de alimentos ha cambiado considerablemente, debido a que, son cada vez más conscientes de que los alimentos contribuyen directamente a su salud (**Mollet y Rowland, 2002**). Es así que hoy en día, los alimentos no están destinados solamente a satisfacer el hambre y proporcionar los nutrientes necesarios, sino que también se relacionan con la prevención de enfermedades relacionadas con la nutrición y con el bienestar físico de los consumidores (**Young, 2000**). En este sentido es que los alimentos funcionales cobran un rol fundamental en el mercado. En términos generales, un alimento funcional es aquel que contiene ingredientes adicionales desarrollados tecnológicamente con un beneficio específico para la salud (**Niva, 2007**). Actualmente en Argentina, no existe una normativa concreta para este tipo de alimentos, sino que más bien, el último avance al respecto, fue en el año 2011 en donde el Código Alimentario Argentino (CAA) incorporó dos normativas (Resolución Conjunta 229/2011 SPReI y 731/2011 SAGyP y Resolución Conjunta 261/2011 SPReI y 22/2011 SAGyP). Ellas tuvieron su base en los proyectos realizados por la Comisión Nacional de Alimentos (CONAL) en el año 2009, en donde elaboraron dos protocolos para establecer los requisitos y evaluaciones para la inclusión de probióticos y/o prebióticos en un alimento (**Moreno, 2012**). Se conocen como probióticos a los alimentos o suplementos que contienen microorganismos vivos (bacterias y levaduras) que permanecen aún activos en el intestino de modo tal que son capaces de alterar la microbiota intestinal del huésped. En tanto que, se conoce como prebióticos a los alimentos o suplementos (en general con alto contenido de fibra) no digeribles por el intestino y que actúan como

nutrientes para la microbiota humana, mejorando el equilibrio de estos microorganismos. El capítulo V del CAA detalla la reglamentación para el rotulado de los alimentos envasados. En el año 2013 se incorporó a este capítulo, por Resolución Conjunta N° 161 SPReI y 213 SAGyP, la Información Nutricional Complementaria o declaración de propiedades nutricionales, que es cualquier expresión y/o representación que afirme, sugiera o implique que un alimento posee propiedades nutricionales particulares, en relación a su valor energético y su contenido de proteínas, grasas, carbohidratos y fibra alimentaria, y también su contenido de vitaminas (**Morón y col., 2013**). Por otro lado, a la fecha, la CONAL se encuentra estudiando una propuesta para incorporar al capítulo de rótulos del CAA las declaraciones de propiedades saludables de un alimento, es decir que exprese, sugiera o implique la existencia de una relación entre el alimento, o un constituyente de mismo, y la salud (**Moreno, 2012**).

Desde el punto de vista del producto, la propiedad funcional puede incluirse de diferentes maneras (**Kotilainen y col., 2006; Spence, 2006**):

- **Producto fortificado:** alimento con una adición de nutrientes propios.
- **Producto enriquecido:** alimento con nuevos nutrientes o componentes agregados que normalmente no se encuentran en el mismo.
- **Producto alterado:** alimento del que se ha eliminado, reducido o reemplazado un componente nocivo por otra sustancia beneficiosa.
- **Producto mejorado:** alimento en el que uno de los componentes se ha mejorado naturalmente a través de condiciones especiales de crecimiento, nueva composición del alimento, manipulación genética u otros.

Por otro lado, de acuerdo a una clasificación alternativa, podemos dividir a los alimentos funcionales en tres grandes grupos según su efecto como (**Makinen-Aakula, 2006**):

- **Grupo 1:** son aquellos que poseen funciones reguladoras del estómago y colon, como así también cognitivas, conductuales y psicológicas.
- **Grupo 2:** se encuentran diseñados para reducir los riesgos de salud existentes, como por ejemplo el colesterol, presión arterial, etc.
- **Grupo 3:** son aquellos que se diseñan para condiciones particulares de alimentación, por ejemplo, sin lactosa, sin gluten, etc.

Los principales alimentos funcionales que podemos encontrar en el mercado argentino son, entre otros (**Olagnero y col., 2007; Olivera Carrión, 2007**):

- los probióticos: leches, yogures y quesos
- los prebióticos con alto contenido de fibra: panes, barras de cereal, cereales para desayuno, lácteos con prebióticos

- los simbióticos (probióticos y prebióticos): leches infantiles, yogures con cereales o fruta
- con fitoesteroles: leches, jugos, panes

2.1. Panes funcionales

En el sector panadero, el desarrollo de alimentos funcionales aún no está tan perfeccionado, o no alcanza la popularidad de los lácteos. Así, por ejemplo, tanto en Alemania en el 2001 como España en el 2006, solo un 13% de los nuevos productos funcionales lanzados al mercado pertenecían a la industria panadera. Sin embargo, los productos de panadería poseen una alta aceptabilidad *per se*, por lo que proporcionan una matriz ideal para que la funcionalidad del alimento pueda ser adquirida por el consumidor (**Siro y col., 2008**). Al desarrollar un producto de panadería funcional, como el caso del pan, se debe tener en cuenta que lograr la calidad funcional del mismo, no solo implica simplemente agregar el principio activo al nivel apropiado para la efectividad fisiológica, sino también lograr un producto que cumpla con los requerimientos del consumidor en términos de apariencia, sabor y textura (**Aldrick, 2010**). Es por ello, que se deben estudiar las posibles alteraciones de la calidad panadera, nutricional, y si las mismas son aceptadas por el consumidor.

2.1.1. Harinas e ingredientes funcionales

Con el término de harina se designa al fino polvo obtenido de la molienda de cereales y otros vegetales. Si bien, cabe señalar que, el CAA (Capítulo IX, artículo 661, Res 167, 26.1.82) establece que si a continuación de la palabra “harina” no se hace mención de otra especie de legumbre o cereal, por defecto siempre se estará hablando de la que se obtiene a partir del trigo. A su vez, se define como harina al producto obtenido de la molienda del endosperma del grano de trigo. Esta puede ser tipificada en: cuatro ceros (0000), tres ceros (000), dos ceros (00), cero (0) y medio cero (medio 0), según su contenido de humedad, cenizas, absorción de agua farinográfica y volumen de pan obtenido a partir de 100g de harina. Así, por ejemplo, la cuatro ceros (0000), debe responder a las siguientes características según el CAA: 15 % de humedad máxima, 0,492% de cenizas máxima, 56-62% de absorción de agua farinográfica y el volumen de pan obtenido a partir de 100g de harina no debe ser menor a 550 cm³.

También podemos encontrar otras harinas diferentes a la del trigo, como lo son las de leguminosas, de mandioca, de papa, de especies forestales como la acacia y algarroba, entre otras; siendo el denominador común entre ellas la presencia de almidón dentro de su composición (**Lezcano, 2014**).

La harina de trigo, en general, está formada principalmente por almidón y proteínas (**Tabla 3**), siendo un 80-85% gliadinas y gluteninas, y un 15-20% albúminas y globulinas (**Sciarini y col., 2016**). En conjunto, estas proteínas son los principales responsables de las propiedades físicas y químicas de la harina, de su poder panificable, y de la capacidad de formar una masa viscoelástica.

Tabla 3. Composición de la harina de trigo promedio (**Salinas, 2013**)

Componente	Contenido (%)
Almidón	70-75
Proteínas	10-12
Lípidos	2
Pentosanos	2-3
Cenizas	0,5
Humedad	14

Diversos vegetales podrían ser adicionados al pan convencional para elaborar un alimento funcional. En el caso particular de la berenjena, el producto obtenido sería enriquecido en fibra y compuestos fenólicos, entre otros. Asimismo, en berenjena violeta, el uso de su piel en la formulación podría ser un aspecto de realce de la calidad visual del panificado y le permitiría al consumidor detectar la presencia de berenjena de forma previa a su ingesta. Por otro lado, también se estaría sumando una alternativa de consumo para este vegetal que posee diversas propiedades (**Ortiz Jiménez y Ruelas Chacón, 2014**), tales como:

- Debido a su alto contenido de fibras, estimula la saciedad, reduciendo así la sensación de apetito y “auxiliando en la compulsión alimenticia”.
- Es un alimento importante para la reducción de los factores de riesgo cardiovasculares, auxilia en la reducción de las concentraciones de colesterol LDL y triglicéridos, alteraciones metabólicas comunes entre los que tienen sobrepeso.
- Es una óptima aliada para regularizar el funcionamiento intestinal, además de favorecer el buen funcionamiento de los riñones.
- Su uso constante disminuye también el riesgo de enfermedades metabólicas.

A diferencia del trigo, que se cosecha ya con un bajo contenido de humedad, los vegetales se cosechan frescos y poseen entre 80 y 95% de humedad. Es así que, los

vegetales podrían ser adicionados durante la elaboración del pan en forma de material fresco (puré o trozos pequeños) o seco. En el caso particular de la berenjena, debido a la presencia de las enzimas PPO y POD, y a su alto contenido en compuestos fenólicos (sustratos de estas enzimas), cuando el tejido es triturado en fresco tiende a oscurecerse como consecuencia del desarrollo del pardeamiento enzimático. Sin embargo, si se procede a secar el tejido vegetal se evita dicho deterioro. Por lo que, el secado del tejido de berenjena y su posterior molienda para generar un polvo puede ser una alternativa de agregado de valor a este vegetal. Esto permitiría su empleo como un ingrediente funcional en diversos alimentos, no sólo del pan como se planteó inicialmente, y ser comercializado fuera de su correspondiente temporada de cosecha regional.

Existen diversas tecnologías de secado, las cuales pueden ser aplicadas en virtud de cuál de ellas mantenga de mejor manera las cualidades del vegetal que lo convertirán en ingrediente funcional. En particular, es de gran importancia el efecto resultante en el contenido de antioxidantes lábiles al calor, u oxidación de compuestos que alteren el color o sabor original. Además del secado convencional por aire o solar, otras tecnologías como el secado a vacío o liofilización están siendo cada vez más empleadas. A continuación, se detallan algunos aspectos de estas metodologías.

2.1.1.1. Secado con aire caliente

En el mismo, el producto es sometido a una corriente de aire caliente de forma tal que el líquido contenido en el material vegetal es eliminado por evaporación. Se requiere energía para proporcionar el calor necesario para calentar el aire y moverlo a una velocidad definida mediante sistemas de ventilación (**Fito Maupoey, 2001; Quintero Ruiz, 2015**).

- **Ventajas:**

- Permite tanto el secado por lotes como continuo, por lo que se pueden secar grandes volúmenes (dependiendo del tipo de gabinete).
- Se puede variar la temperatura y velocidad del aire de secado
- Los equipos son sencillos y de alta disponibilidad, y presentan un sistema de puesta en marcha más económico.

- **Desventajas:**

- El producto se encuentra en contacto directo con una corriente de aire por lo que pueden generarse alteraciones de la composición química del mismo (oxidación, alteración del color, entre otros).

-Presenta variaciones en las condiciones de ingreso del aire de secado, debido a que las fuentes de energía para calentar el aire son muy variadas, algunos equipos cuentan con sistemas de control, pero no son la mayoría

2.1.1.2. Secado a vacío

Mediante el secado a vacío se produce la eliminación del líquido presente en el alimento con ayuda de vacío, por lo que se requiere de energía tanto para calentar la bandeja de secado como para hacer funcionar el sistema de vacío (**Quintero Ruiz, 2015**). El secado con vacío es a menudo utilizado cuando los productos son sensibles al calor.

- **Ventajas:**

- Se puede limitar la presión parcial de oxígeno en contacto con la muestra y evitar deterioros por oxidación.
- Si se trabaja a bajas presiones, el tiempo de secado se puede reducir.
- Se puede usar, además, para extraer y recuperar otros compuestos volátiles de interés.

- **Desventajas:**

- Requiere mantenimiento de la bomba de vacío.
- El costo inicial del equipo es más elevado que el de secado por aire caliente.

2.1.1.3. Liofilización

En este caso el producto debe encontrarse previamente congelado, y el líquido contenido se elimina por sublimación en condiciones de vacío (**López Martínez, 2016; Parzanese, 2008**).

- **Ventajas:**

- Conserva de forma adecuada el sabor y aroma de los productos.
- Se reducen las pérdidas de calidad debidas al deterioro por reacciones químicas, degradación enzimática y no enzimática.
- Su uso es recomendado cuando la matriz posee vitamina C y/o compuestos fenólicos, susceptibles de ser oxidados a altas temperaturas.

- **Desventajas:**

- Es una tecnología costosa por la necesidad de usar vacío. Sin embargo, en la actualidad, el mercado de la liofilización se está ampliando, principalmente por lograr un producto de sabor intenso y con, prácticamente, las mismas propiedades que el producto fresco.

2.1.2. Rol del gluten en productos panificados

El gluten es una red compleja de proteínas insolubles, gliadinas y gluteninas, que se obtiene a partir del amasado de la harina de trigo con agua y el posterior lavado de la masa con una solución salina, para eliminar las proteínas solubles (albúminas y globulinas) y el almidón (**Salinas, 2013**). Existen proteínas de almacenamiento similares a las gliadinas y gluteninas como la secalina en el centeno, la hordeína en la cebada y las aveninas en la avena y se denominan colectivamente “gluten” (**Biesiekierski, 2017**). Las gliadinas hidratadas contribuyen principalmente a la viscosidad y extensibilidad de la masa; mientras que las gluteninas son responsables de la resistencia y elasticidad de la misma. Una mezcla adecuada de ambas fracciones es esencial para impartir las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad del producto final (**Wieser, 2007**).

En el pan, la interacción entre gliadina y glutenina en presencia de agua y energía mecánica es la que resulta en la formación de una red continua, responsable de las propiedades viscoelásticas únicas del gluten, y de la estructura de la miga (**Flores, 2014**).

Durante el amasado del pan, las gliadinas y gluteninas interaccionan para formar una red viscoelástica capaz de retener aire, y que contiene a los gránulos de almidón, fibra, y otros componentes. Los enlaces disulfuro, interacciones iónicas e hidrofóbicas y secuencias ricas en glicina en la red de gluten, son los responsables de las propiedades viscoelástica de la masa (**Salinas, 2013**).

En panes sin gluten, se requiere una formulación más compleja para intentar imitar las propiedades viscoelásticas del mismo, la propuesta más común para suplantar a la red del gluten es usar una mezcla de almidones, hidrocoloides, fibras e ingredientes lácteos para que, todos juntos, otorguen la funcionalidad necesaria.

La berenjena no presenta ni gluten ni almidón, por lo que a la hora de realizar un producto panificado debe emplearse como un reemplazo parcial en la formulación. Se debe tener en cuenta que, si bien desde el punto de vista nutricional se obtiene un pan enriquecido nutricionalmente, también se genera pérdida de calidad panadera en el producto final, asociado mayormente a una “dilución” de las proteínas del gluten. Los principales problemas informados se refieren a los cambios en la reología de las masas obtenidas. Se debe considerar el empleo de un nivel de reemplazo adecuado, que garantice la buena calidad panadera del producto obtenido, pero que al mismo tiempo sea aceptable y apetecible por el consumidor a nivel sensorial.

2.1.3. Proceso de panificación

Mediante un adecuado proceso de panificación se busca obtener un producto esponjoso y apetitoso. Se busca un desarrollo óptimo de la masa, asociado a su capacidad de retener burbujas de gas (CO_2) y de permitir la expansión uniforme de la misma. La subdivisión de la masa y las etapas del proceso que afectan a las piezas individuales modifican la calidad del producto, por lo que cada paso del proceso de panificación es crítico.

El proceso de panificación consta de las siguientes etapas generales (Salinas, 2013):

a) Amasado

Durante esta etapa, y mediante la entrega de energía mecánica, se produce el desarrollo de la red de gluten y se incorpora aire al sistema. Al finalizar esta fase, la masa debe tener las características viscoelásticas óptimas para asegurar el éxito del siguiente paso y la calidad del producto resultante. Al incorporar aire, el O_2 es consumido por las levaduras, mientras que el N_2 queda retenido en forma de burbujas, que se convertirán en los alveolos (junto con el CO_2 generado en la fermentación) de la miga durante la fermentación y horneado. Por lo tanto, en esta primera etapa debe producirse el desarrollo óptimo de la red de gluten y una adecuada incorporación de aire, siendo esto crucial para la obtención de un pan de buena calidad.

b) Reposo

Se busca la relajación de las tensiones generadas en la etapa de amasado, lo cual facilita la división y moldeado posterior de la masa, A su vez, se producen sustancias que aportan sabor y aroma al producto.

c) División y formación de bollos

La división de la masa en piezas del tamaño deseado genera rupturas en la estructura del gluten que se recuperan parcialmente en el posterior boleado de las piezas. Se debe realizar un reposo de las piezas boleadas para finalmente proceder al armado de los bollos con la forma deseada, puede ser mediante maquinaria específica o manual.

d) Fermentación

Los bollos formados anteriormente son fermentados por acción de las levaduras a temperatura controlada de $30\text{ }^\circ\text{C}$, aproximadamente. En esta etapa se produce la liberación de la mayor parte del CO_2 , el cual expande la masa debido al crecimiento de los alveolos (el CO_2 migra hacia las burbujas de aire formadas durante el amasado). A su vez, hay producción de etanol y se producen cambios en la estructura, sabor y aroma. La fermentación debe extenderse hasta lograr un volumen adecuado de los bollos.

e) Horneado

Durante esta etapa se produce el CO_2 restante por parte de las levaduras, hasta que las mismas son inactivadas por el calor, y se produce la expansión del gas retenido en la

masa. Ocurre la inactivación de enzimas (amilasa), la pérdida parcial de agua, la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas; lo cual contribuye a fijar la estructura final del pan. A su vez, a nivel superficial, se genera una gran pérdida de agua formando la corteza del pan, y se promueve la reacción de Maillard lo cual confiere color, aroma y sabor al producto.

Objetivos e hipótesis

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Determinar el efecto de factores precosecha sobre la calidad, morfología, composición (azúcares y antioxidantes) y comportamiento poscosecha de berenjena violeta. Elaborar un producto panificado enriquecido en fibras y antioxidantes por el agregado de berenjena deshidratada en polvo.

Objetivos específicos

- I. Estudiar el efecto del tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha sobre la calidad a lo largo del crecimiento de frutos de berenjena violeta, su composición y vida útil poscosecha.
- II. Estudiar el efecto de la temporada de cosecha sobre la calidad, morfología celular y composición química de frutos de berenjena violeta en distintos estados de crecimiento.
- III. Analizar el efecto de la temporada de cosecha sobre el comportamiento poscosecha y sensibilidad al daño por frío de frutos de berenjena violeta en dos estados de crecimiento.
- IV. Elaborar un polvo a partir de berenjena deshidratada y caracterizarlo. Adicionarlo a un pan y estudiar el nivel de reemplazo adecuado y las propiedades reológicas de la masa, para optimizar su elaboración. Analizar la calidad panadera y sensorial del producto obtenido.
- V. Analizar la calidad nutricional de berenjena en polvo elaborada a partir de dos tamaños de crecimiento del fruto diferentes, y emplearla para la obtención un pan enriquecido. Determinar su efecto sobre las propiedades reológicas de la masa, y evaluar la calidad panadera, sensorial y nutricional del pan.

Hipótesis

- I. Cuanto mayor es el tiempo transcurrido desde el trasplante, los frutos de berenjena violeta presentan menor calidad integral y, debido a ello, menor vida poscosecha.
- II. Las condiciones climáticas de baja temperatura e irradiación solar disminuyen la calidad sensorial y nutricional de berenjena violeta, como así también influyen sobre la morfología celular. Dichos efectos dependen del estado de crecimiento del fruto.
- III. Las condiciones climáticas reinantes durante el crecimiento y cosecha de berenjena violeta afectan la capacidad de almacenamiento y la sensibilidad al daño por frío en su poscosecha.
- IV. Altos niveles de reemplazo de berenjena en polvo son adecuados desde el punto de vista nutricional, pero disminuyen la calidad panadera y sensorial de los mismos.
- V. El pan enriquecido con berenjenas baby en polvo se verá enriquecido nutricionalmente por el mayor aporte de fibra y antioxidantes. Sin embargo, el mayor contenido de estos compuestos ocasionará un detrimento de las propiedades reológicas de la masa, y la calidad panadera y sensorial de los panes.

Capítulo I:

“Efecto del tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha sobre la calidad a lo largo del crecimiento, composición y vida poscosecha de frutos de berenjena violeta”

I.1. INTRODUCCIÓN

Las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero, tales como pepino, tomate, pimiento y berenjena, se caracterizan, en su mayoría, por un crecimiento indeterminado. Esto es, presentan una primera fase muy corta de crecimiento vegetativo seguida por el inicio del desarrollo de los frutos, los cuales empiezan a ser recolectados continuamente durante un largo periodo, mientras que los restantes órganos de la planta continúan su crecimiento. La distribución de los asimilados producidos en las hojas a través de la fotosíntesis es de suma importancia, una parte se destina al crecimiento vegetativo, el cual debe ser suficiente como para permitir una renovación de las partes vegetativas de la planta y mantener un potencial crecimiento de la misma. La otra parte se destina al fruto y esto genera una competencia por los asimilados entre los frutos y los órganos vegetativos, que requieren de una cantidad suficiente de nutrientes para continuar con la producción (**Peil y Galvez, 2005**). La fase de crecimiento vegetativo en la cual se encuentre al momento de cosecha, puede ser un factor determinante en la calidad de los frutos. En berenjena, la altura de la planta y el rendimiento se correlacionaron con el número de días después del trasplante (**Abney y Russo, 1997**); por lo que es importante el tiempo transcurrido entre la plantación y la recolección de los frutos, para el desarrollo de los mismos.

En la zona de La Plata y Gran Buenos Aires, el cultivo de berenjena se maneja, generalmente, de forma anual. Se inicia en invierno por almácigo y posterior trasplante, dado que la germinación y formación de la plántula es lenta y requiere altas temperaturas para germinar (**sección 1.5**). El trasplante del plantín al invernadero se realiza hacia fines del invierno, cuando ya pasó el peligro de heladas (**Figura I.1**). Transcurren entre dos a tres meses, dependiendo de las temperaturas, desde la plantación hasta la cosecha de los frutos, la cual se mantiene durante varios meses, hasta que, nuevamente las bajas temperaturas del invierno, detienen el crecimiento de los mismos y las heladas deterioran la planta totalmente (**Figura I.1**).

Sin embargo, en ocasiones, se emplea una práctica diferente y se realiza el trasplante hacia finales de la primavera. Se sabe que el momento de trasplante contribuye en el rendimiento de las plantas, debido a que, si se realiza de forma temprana, luego de la última helada, las plantas ingresan a la fase germinativa más rápido y el periodo de fructificación es lo suficientemente largo como para obtener rendimientos tempranos y altos, extendiendo la fase de producción hasta la reincidencia de las heladas del otoño siguiente (**Sekara, 2010**). Sin embargo, al momento de cosecha, aquellas plantas que fueron trasplantadas de forma temprana en invierno, presentarán una edad mayor que las que se trasplantaron de forma tardía, a fines de la primavera.

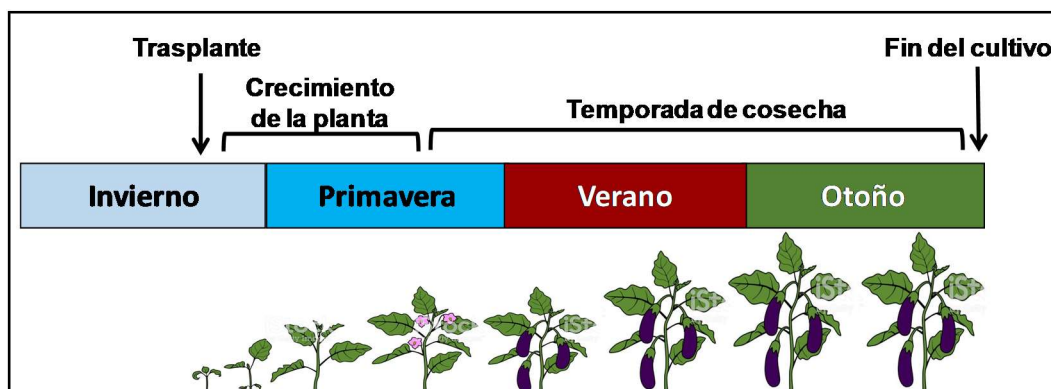


Figura I. 1. Esquema del cultivo de berenjena típico de la zona de La Plata.

En los cultivos de árboles frutales perennes, en los que la producción puede extenderse durante varias décadas, está bien establecido que la edad de la planta "madre" podría influir profundamente en los atributos químicos, físicos y fisiológicos del fruto (**Khalid y col., 2012**). Por ejemplo, en mandarina la edad del árbol afectó la acidez y el contenido de sólidos solubles (**Matsumoto y col., 1972**), y en naranjas el contenido de jugo, sólidos solubles, y el índice de acidez y madurez (**Frometa y Echazabal, 1988**). Por otro lado, **Ozeker (2000)**, informó que se obtuvieron frutos más grandes y con cáscara más delgada de los árboles de pomelo más jóvenes; y se obtuvieron manzanas de menor calidad de árboles más longevos (**Smith, 2003**). A su vez, algunos informes están disponibles sobre el contenido de ciertos minerales de la fruta en relación con la edad del árbol en naranja de ombligo (**Storey y Treeby, 2002**), aguacate (**Snijder y col., 2002**) y en guayaba, donde también se estudió el contenido de azúcares totales y vitamina C (**Asrey y col., 2007**). En la planta de berenjena la variación absoluta de la edad es mucho más limitada (menor a 1 año), pero no menos importante. En berenjena, se percibe que los frutos de las primeras recolecciones son de mejor calidad que los frutos de cosechas tardías, al igual que en alcaucil y pepino (**Calabrese y col., 2000**; **Ekman y col., 2009**), pero no se conoce a ciencia cierta si el tiempo transcurrido desde el trasplante es el que ejerce la principal influencia sobre la calidad de los frutos obtenidos, siendo que las distintas fases del cultivo (crecimiento vegetativo, floración y fructificación) se verán desarrolladas en distintas condiciones ambientales.

La cosecha de los frutos de berenjena para su comercialización se lleva a cabo cuando éstos han alcanzado un tamaño óptimo como se describió en la introducción general **sección 1.7**, en un estado aún inmaduro y antes de que las semillas completen su desarrollo. Se conoce que las semillas endurecen a la pulpa volviendo al fruto menos agradable al paladar (**Donzella y col., 2000**), se pardean de forma instantánea luego del corte del fruto y más intensamente que la propia pulpa, e incrementan la

concentración de glicoalcaloides, α -solasonina y α -solamargina, responsables, en parte, del sabor amargo de los frutos (**Aubert y col., 1989; Sánchez-Mata y col., 2010**). Es así que, los frutos que se dejan permanecer en la planta por más tiempo y se cosechan en un estado de desarrollo avanzado adquieren una menor aceptación (**Gajewski y Arasimowicz, 2004**). Por otro lado, en los últimos años, se observó un auge en la comercialización de berenjenas pequeñas o baby (5-10 cm de largo), cosechadas en estado temprano de desarrollo, para satisfacer la creciente demanda de verduras especiales o productos gourmet en el mercado de los alimentos (**Zaro y col., 2015b**). Se ha hallado que presentan una ventaja nutricional, dada por un mayor contenido de antioxidantes respecto de los frutos más grandes (**Zaro y col., 2014b**). Esto conduce a que el estado de desarrollo o de crecimiento en el cual es cosechado el fruto, influye sobre su calidad, al menos en plantas con un manejo anual de su ciclo productivo.

Los frutos de berenjena cosechados deben ser almacenados en refrigeración para extender su vida poscosecha, como se describió en la introducción general **sección 1.8**, a una temperatura recomendada de 10 °C, dado a que sufren daño por frío a temperaturas menores a la misma. Esta respuesta es bien conocida para frutales. Así, frutos de pepita, por ejemplo, fueron altamente susceptibles a los trastornos poscosecha al ser cosechados de árboles jóvenes (**Bramlage, 1992**). Sin embargo, en hortalizas de fruto no se conoce si el tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha, en donde la planta presenta una edad aparente diferente, pueden traer aparejados cambios fisicoquímicos y/o fisiológicos en los frutos que repercutan posteriormente en su respuesta frente al almacenamiento refrigerado en poscosecha. En virtud de ello el objetivo de este capítulo fue estudiar el efecto del tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha sobre la calidad a lo largo del crecimiento de los frutos, su composición y la vida útil poscosecha de berenjenas violetas.

I.2. MATERIALES Y MÉTODOS

I.2.1. Caracterización de los frutos durante el desarrollo

Frutos de berenjenas violetas (*Solanum melongena* L.) cv. Monarca, provenientes de plantas injertadas a bisel sobre un pie de tomate cv. Maxifort de un campo de la ciudad de La Plata, Argentina, fueron cosechados al mismo momento de dos cultivos diferentes en un mismo invernadero, cuya diferencia fue el momento en el cual los plantines fueron generados y trasplantados al invernadero. Es así que, un primer grupo estaba constituido por plantas cuyos plantines fueron trasplantados al invernadero a principios de agosto de 2014, y las plantas crecieron, florecieron y comenzaron a producir en noviembre de 2014 hasta mayo 2015 (**Figura I.2.A**). Mientras que, un segundo grupo, lo conformaron aquellas cuyos plantines se trasplantaron a finales de diciembre de 2014 y comenzaron a producir en marzo de 2015 hasta mayo del corriente año (**Figura I.2.B**). El riego y la fertilización se realizaron por un sistema de goteo, aplicado tres veces al día por un período de 15 min cada uno. La fertilización consistió en cloruro de potasio, nitrato de calcio y sulfato de magnesio al inicio del cultivo y durante la cosecha, con un equivalente de conductividad de 1,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH 6,5.

Para este ensayo, se marcaron 150 frutos recién cuajados (cuando ocurre la transición de flor a fruto) con cintas de tela de color, considerando a éste como día 0, y se cosecharon 30 frutos de cada grupo de planta a los 9, 13, 19, 21, 24 días después del cuajado (Days After Fruit Set, DAFS), entre fines de marzo y principios de abril de 2015. Los grupos de plantas se denominaron según el tiempo entre el trasplante y la cosecha como: plantas de 8 meses u 8m (agosto-marzo, **Figura I.2.A**) y de 3 meses o 3 m (diciembre-marzo, **Figura I.2.B**). Durante las semanas de cosecha, la temperatura ambiente varió entre 10 y 32 °C. La toma de muestra se realizó a partir de la selección de 6 o 7 hileras de cada grupo de plantas localizadas en la zona media del invernadero. Los frutos cosechados se llevaron inmediatamente al laboratorio para efectuarles las siguientes determinaciones: longitud, diámetro y peso, respiración, resistencia a la compresión y color superficial. A su vez se seleccionaron tres estados de crecimiento de los frutos definidos por su longitud (desde el cáliz hasta la base del fruto): frutos de tamaño pequeño o *baby*, como Estado 1 (9 cm, E1), frutos de tamaño comercial habitual como Estado 2 (17 cm, E2) y frutos de tamaño grande, o avanzados, como Estado 3 (19 cm, E3), a los cuales se les determinó el contenido de semillas y, fueron congelados en N_2 líquido y almacenados en un freezer a -80 °C para sus posteriores determinaciones bioquímicas (azúcares solubles y antioxidantes).

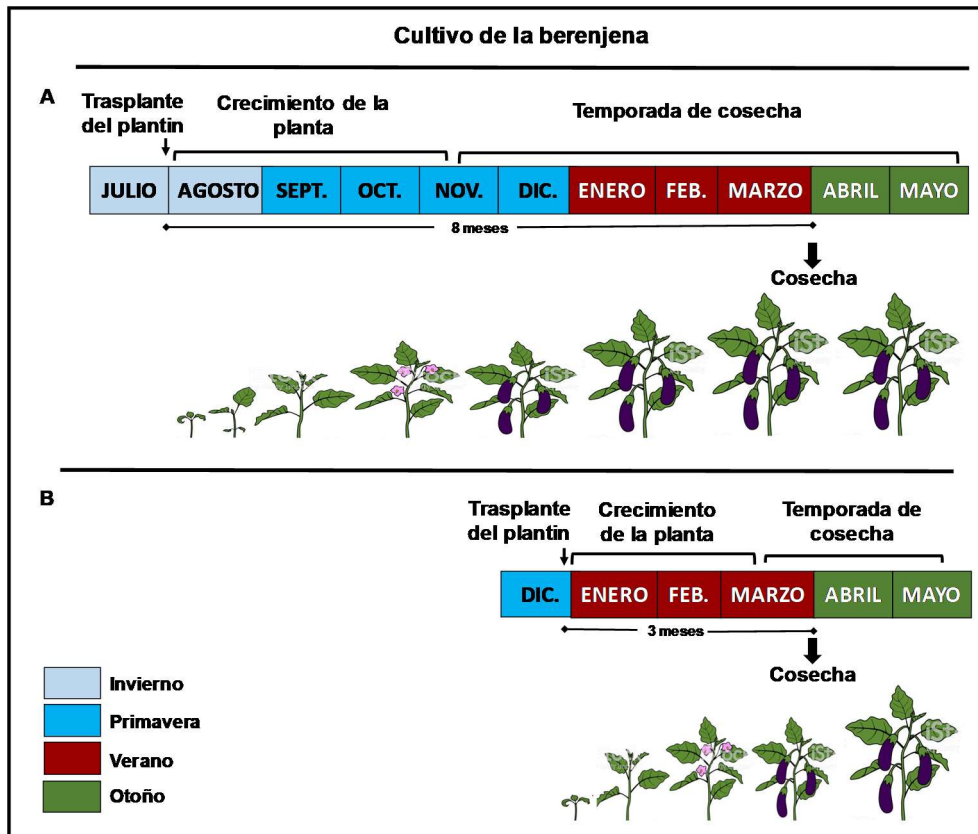


Figura I. 2. Esquemización del cultivo de la berenjena, en el cual se remarcan las diferencias y similitudes entre las plantas trasplantadas a principio de agosto (**A**), y a finales de diciembre (**B**). Se señala el momento de cosecha de ambos grupos de plantas indicando la diferencia de tiempo transcurrido: 8 y 3 meses.

I.2.2. Almacenamiento poscosecha a 10 °C

Se emplearon berenjenas violetas según lo detallado en la **sección I.2.1**. Cien frutos de tamaño comercial habitual (E2) fueron cosechados de cada grupo de planta (8 meses y 3 meses) y transportados inmediatamente al laboratorio. Una vez allí, los frutos fueron acondicionados (se clasificaron por tamaño y por estar libres de deterioros), lavados con agua clorada (NaClO 100 mg/L; pH 6.5), secados al aire y colocados de a pares en bandejas de plástico cubiertas con film PVC perforado. Se emplearon al menos 80 frutos de cada grupo de planta y se almacenaron a 10 °C durante 7, 14, 21 y 28 días. En cada día de muestreo se les determinó a veinte frutos: índice de deterioro, pérdida de peso y resistencia a la compresión.

I.2.3. Determinaciones analíticas

I.2.3.1. Peso, diámetro y longitud

Los frutos se pesaron en una balanza digital (Kern 572, Argentina). Se midió el diámetro en la zona ecuatorial (zona de mayor diámetro) y la longitud con un calibre Vernier. Se analizaron 15 frutos por cada grupo de plantas y estado de crecimiento. Los resultados se expresaron en g y cm, respectivamente.

I.2.3.2. Respiración

La tasa respiratoria fue determinada mediante la cuantificación del CO₂ (producto de la respiración) producido en un cierto tiempo, a través del empleo de la radiación infrarroja, debido a que dicho gas es capaz de absorberla. Para ello, se colocaron frutos previamente pesados dentro de un frasco de vidrio hermético de 3L de capacidad y se determinó la producción de CO₂ con un sensor infrarrojo IR (Compu-Flow, Modelo 8650, Estados Unidos) al inicio y luego de una incubación de 15 min a 20 °C. Las medidas se realizaron por cuadruplicado para cada grupo de plantas y estado de crecimiento. Los resultados se expresaron en mg CO₂/ h kg de peso fresco.

I.2.3.3. Resistencia a la compresión

Se evaluó mediante un test de ruptura en un texturómetro (TA.XT2, Scarsdale, NY, Estados Unidos) equipado con una sonda de 3 mm de diámetro. El fruto de berenjena se colocó en sentido horizontal al eje longitudinal y fue penetrado hasta 8 mm de profundidad en la zona ecuatorial a una velocidad de 1 mm/s. Se analizaron diez frutos de cada grupo de planta y DAFS de cosecha, y se realizaron tres mediciones por fruto. A su vez se determinó la resistencia a la compresión durante el almacenamiento de los frutos, se midieron 10 frutos por cada día de almacenamiento, grupo de planta y estado de crecimiento. Se registró la fuerza en función del tiempo, y, dentro de los parámetros que se obtienen de un test de ruptura, se determinó la resistencia a la compresión del fruto como la pendiente inicial de la curva (en la región lineal), en N/mm (**Figura I.3**).

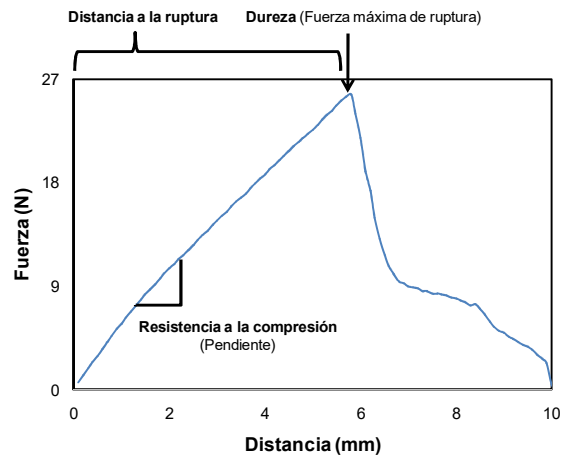


Figura I. 3. Curva típica de un test de ruptura en berenjena y señalización de los parámetros.

1.2.3.4. Color superficial de los frutos

Se evaluó el color en la piel de los frutos empleando un colorímetro (Minolta CR-400, Japón) calibrado con patrones estándares ($Y = 93,2$, $x = 0,3133$, $y = 0,3192$). Se trabajó en el sistema de medida de color CIELab (**Figura I.4**), que define el color a partir de las coordenadas adimensionales L^* , a^* y b^* , donde:

L^* : representa la luminosidad, varía de 0 (negro) a 100 (blanco).

a^* : coordenadas rojo/verde (este eje indica la variación de color entre el rojo, con a^* positivo, y el verde, con a^* negativo).

b^* : coordenadas amarillo/ azul (este eje indica la variación de color entre el amarillo, con b^* positivo, y el azul, con b^* negativo).

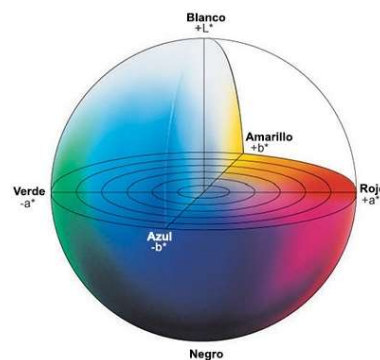


Figura I. 4. Escala CIELab (<http://sensing.konicaminolta.com.mx>)

A su vez, a partir de los parámetros a^* y b^* se puede calcular:

HUE (H): ángulo que representa la tonalidad de la muestra, va de 0 a 360°. Se calcula de la siguiente manera:

$$H = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \\ \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) + 360^\circ; \text{ si } \arctan\frac{b^*}{a^*} \geq 0 \end{cases}$$

Croma(C): indica la saturación, va de 0 a 100. Y se determina como se detalla a continuación:

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

En este trabajo se determinaron los parámetros L^* , H y C. Las medidas se realizaron por triplicado en diferentes zonas de 10 frutos pertenecientes a cada grupo de plantas y estado de crecimiento.

1.2.3.5. Contenido de semillas

Se cortaron rodajas de 5 mm de espesor de la zona ecuatorial del fruto, se dejaron expuestas al aire durante 30 min para promover el pardeamiento de las semillas y se escanearon (HP deskjet F4480, Argentina) para obtener una imagen digital. Cada imagen (**Figura I.5.A**) se convirtió a escala de grises (**Figura I.5.B**), luego las semillas presentes se tiñeron empleando un filtro (Threshold), delimitando así la región de interés (**Figura I.5.C**), y, finalmente, se realizó la binarización de la misma (**Figura I.5.D**). Se empleó para ello el analizador de imágenes ImageJ 1.37. Se determinó el tamaño de las mismas en cm^2 y el número de semillas por rodaja. Se evaluaron 15 frutos por cada grupo de planta y estado de crecimiento estudiado (E1, E2 y E3).

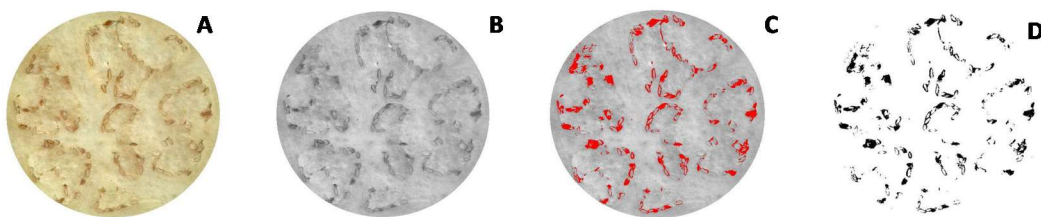


Figura I. 5. Secuencia del procesamiento de imágenes mediante ImageJ para la determinación del contenido de semillas. Imagen original (**A**), en escala de grises (**B**), con la aplicación del filtro (**C**), y binarizada (**D**).

1.2.3.6. Materia seca

La determinación de materia seca se realizó por gravimetría, a través del método indirecto, que se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Muestras de 2g de pulpa de la zona ecuatorial del fruto y 0,1g de piel, aproximadamente, se secaron a 105 °C en estufa (DHACEL HD 22) hasta peso constante. Se emplearon 15 frutos por cada grupo de planta y estado de crecimiento. El porcentaje de materia seca se calculó de acuerdo a la ecuación:

$$MS (\%) = \frac{ms}{m} \times 100$$

Donde:

m = masa inicial de muestra (antes del secado) en base húmeda

ms = masa de muestra después del secado

En este capítulo, la materia seca fue determinada para poder expresar el contenido de azúcares y antioxidantes en función del peso del tejido seco.

1.2.3.7. Azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa

Se pesaron 2 g de pulpa y se le añadieron 5 mL de etanol. Se extrajo dos veces empleando ciclos de “agitación en vortex:reposo” de 1:3 min, repitiendo 3 veces. La suspensión fue centrifugada a 13.000 x g por 10 min a 4 °C (Sorvall SR 5B). El sobrenadante de las dos extracciones fue recolectado, filtrado mediante filtro de membrana de 0,45 µm (OSMONICS INC.) y usado para determinar azúcares solubles usando un HPLC (CA, Estados Unidos) equipado con un detector de índice de refracción (Water, IR 2114). La separación de los azúcares fue realizada a un flujo de 1,2 mL/min a través de una columna Hypersil Gold Amino 4,6 x 250 mm, con un tamaño de partícula de 5 µm (columna Bridge, Estados Unidos). Una solución de acetonitrilo-agua 80:20 fue utilizada como fase móvil isocrática. El tiempo de corrida fue de 10 min, siendo los tiempos de retención aproximados de 4, 5, y 6 min para fructosa, glucosa y sacarosa, respectivamente. Las medidas se hicieron por duplicado para cada grupo de planta y estado de crecimiento estudiado. Glucosa, fructosa y sacarosa (Sigma Aldrich, Missouri, Estados Unidos) fueron usados como estándares y los resultados se expresaron en g/kg de peso seco o p.s.

1.2.3.8. Histolocalización del ácido clorogénico (ACG)

El ACG es un compuesto formado por la esterificación entre los ácidos cafeico y quínico. El tratamiento con el reactivo de Neu (2-amino-etil-difenilborinato 1% p/v en metanol) y posterior excitación con luz UV, conduce a la formación de productos fluorescentes de

color verde en presencia de ácidos mono y dicafeoil-quínicos, que en este caso indicarían la presencia de ACG. Mientras que, la detección de fluorescencia azul sugiere la prevalencia de derivados feruloil-quínicos (**Mondolot y col., 2006**).

La localización *in situ* del ACG se realizó con el reactivo de Neu, de acuerdo a (**Zaro y col., 2014a**) con modificaciones leves. Para realizar la tinción, secciones de aproximadamente 10 mm de espesor fueron cortadas de la zona de interés y se sumergidas 30 s en 10 mL de reactivo de Neu. Las rodajas fueron luego inmediatamente examinadas en un microscopio de fluorescencia (Estereomicroscopio Leica MZ10 F modular, Leica Microsystems Ltd, Alemania). Las muestras se excitaron a 425 nm y se evaluó la emisión de fluorescencia a 480 nm. Las imágenes se obtuvieron con una cámara digital Leica DFC490 (Leica Microsystems Ltd., Alemania, 8 megapíxeles) acoplada al sistema. Los controles negativos se obtuvieron mediante el análisis de las rodajas sumergidas en metanol durante 30 s. Se observaron cortes longitudinales de frutos baby o E1 y comercial habitual o E2, y cortes transversales de la zona ecuatorial de cada estado de crecimiento y grupo de planta estudiada con una magnificación de 1,25X. Se analizaron tres frutos por cada grupo de planta y estado de crecimiento.

1.2.3.9. Contenido de antocianinas

Las antocianinas son flavonoides que imparten color desde rojo a azul dependiendo de los sustituyentes que posea su estructura química. El color puede ser detectado al medir su absorbancia en la zona entre 500-550 nm. En este trabajo se determinaron de acuerdo a **Concellon y col. (2007)** con modificaciones menores. Las antocianinas se extrajeron de 0,5 g de tejido de piel congelado y triturado en molinillo, con 10 mL de metanol: HCl (99:1 v/v) 4 veces consecutivas, se centrifugó a 4500 x g 10 min a 3 °C (Sorvall ST 16R). Los sobrenadantes se llevaron a un volumen de 50 mL. Se midió la absorbancia a 540 nm usando un espectrofotómetro (UV-Mini Model 1240, Shimadzu Corporation, Japón). Las medidas fueron realizadas por duplicado para cada grupo de plantas y estado de crecimiento. Empleando la absortividad molar de delphinidin-3-glucósido (29000 L/mol cm, (**Sadilova y col., 2006**), los resultados se expresaron en mg/ kg p.s.

1.2.3.10. Extracción etanólica de compuestos antioxidantes

Se pesaron 0,5 y 1 g de tejido congelado y triturado en molinillo de piel y pulpa, respectivamente, y se homogeneizaron con 5 mL de etanol. Se realizó una extracción mediante ciclos de “agitación en vortex: reposo” de 1:3 min, se repitieron 3 veces. La suspensión fue centrifugada a 13,000 x g por 10 min a 4 °C (Sorvall SR 5B), y al

precipitado se le realizó una segunda extracción en iguales condiciones. Los sobrenadantes de cada extracción se recolectaron y homogeneizaron en un mismo tubo. Se realizaron 2 extractos por cada grupo de planta y estado de crecimiento que se emplearon para determinar el contenido de ácido clorogénico, fenoles totales y capacidad antioxidante.

I.2.3.10.1. Contenido de ácido clorogénico

Se determinó espectrofotométricamente a 330 nm de acuerdo a **Luthria (2012)** con leves modificaciones, empleando los extractos etanólicos preparados en la **sección I.2.3.10**. Las medidas se realizaron por duplicado. Se empleó ácido clorogénico (Sigma-Aldrich) como patrón para realizar la curva de calibración y los resultados se expresaron en mg/ kg p.s.

I.2.3.10.2. Contenido de fenoles totales

Se determinaron empleando la técnica del reactivo de Folin-Ciocalteu. Este reactivo de color amarillo es reducido por los compuestos fenólicos de la muestra a pH básico, originando la formación de un complejo de coloración azul intenso susceptible de ser determinado a 760nm. Se determinaron de acuerdo a **Zaro y col. (2014b)**, con modificaciones menores. Para ello, 50 μL de reactivo Folin-Ciocalteu (Anedra, 1:1 v/v en agua) se mezclaron con 350 μL de extracto etanólico (**sección I.2.3.10**) y 1000 μL de agua destilada. Luego de 3 min de reacción a temperatura ambiente se añadieron 100 μL de Na_2CO_3 (20% p/v en NaOH 0,1 M) y 1000 μL de agua destilada. La mezcla de reacción se agitó en vórtex y se incubó durante 90 min a temperatura ambiente. Finalmente se midió la absorbancia a 760 nm en espectrofotómetro (UV-Mini modelo 1240, Shimadzu Corporation, Japón). Las medidas se hicieron por triplicado. Se empleó ácido clorogénico como estándar y los resultados se expresaron como mg/ kg p.s.

I.2.3.10.3. Capacidad antioxidante

Se determinó según **Zaro y col. (2014b)**, con leves modificaciones, empleando el radical estable $\text{ABTS}^{\bullet+}$. Dicho radical presenta una coloración verde-azulada que absorbe a 734 nm, y mediante este ensayo se cuantifica la capacidad de los antioxidantes hidrofílicos de la muestra de reaccionar con este radical y producir un compuesto incoloro. La solución madre del reactivo $\text{ABTS}^{\bullet+}$ se preparó disolviendo 7 mmol de la sal de amonio de ABTS (compuesto incoloro) y 2,45 mmol de persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) en 1000 mL de agua, y se dejó reaccionar 12-16 h en oscuridad a temperatura ambiente. Para el estudio en las muestras, la solución madre fue diluida en etanol hasta obtener una

absorbancia de $0,700 \pm 0,02$ medida a 734 nm en espectrofotómetro (UV-Mini modelo 1240, Shimadzu Corporation, Japón). Una alícuota de 50 μ L de extracto (**sección I.2.3.10**) fue añadida a 1 mL de solución de trabajo de ABTS•+, se homogeneizó e incubó durante 6 min. A continuación, se registró la disminución de la absorbancia por parte de las muestras, que deben encontrarse en el rango del 20-80% de inhibición respecto de la absorbancia del blanco de reactivo. Las medidas se realizaron por triplicado. Se utilizó Trolox® como patrón y los resultados se expresaron como Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) en mg/ kg p.s.

I.2.3.11. Índice de deterioro

Los síntomas de daños externos fueron analizados visualmente para cada tiempo de muestreo. El grado de deterioro o índice de deterioro (ID) se calculó de acuerdo a **Concellón y col. (2004)**, con una escala hedónica de cinco puntos según el porcentaje de superficie dañada del fruto, siendo: 1: 0-20%, 2: 20-40%, 3: 40-50%, 4: 50-80% y 5>80% de superficie dañada. Considerando como valor límite de comercialización y consumo al índice 3. Las observaciones se realizaron en 20 frutos para cada grupo de planta y tiempo de almacenamiento. El índice de deterioro se calculó según:

$$ID = \frac{\sum (\text{nivel de daño} \times \text{N}^\circ \text{ de frutos con el daño})}{\text{N}^\circ \text{ de frutos totales}}$$

I.2.3.12. Pérdida de peso

Los frutos se pesaron en una balanza digital (KERN 572, Buenos Aires, Argentina) de forma individual al inicio (P_i) y luego del almacenamiento (P_f). Se pesaron 20 frutos de cada grupo de planta en cada día de almacenamiento estudiado. Fue calculado como:

$$PP (\%) = 100 \times \frac{\sum (P_i - P_f)}{P_i}$$

El resultado se expresó como porcentaje

I.2.4. Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron de acuerdo a un diseño factorial. Los datos se analizaron por medio de un ANOVA con el software InfoStat (**Di Rienzo y col., 2011**) y las medias se compararon con la prueba de LSD de Fisher a un nivel de significancia $P < 0,05$.

I.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I.3.1. Efecto de la evolución de los DAFS sobre la calidad de los frutos

I.3.1.1. Crecimiento de los frutos

Se estudió la evolución del crecimiento de los frutos (longitud, diámetro y peso) tanto para las plantas con una duración de 3 meses (**Figura I.6.A**), como de 8 meses (**Figura I.6.B**), a los 0, 9, 13, 19, 21 y 24 días después del cuajado del fruto (“Days After Fruit Set”, DAFS). La apariencia de los frutos presentó diferencias recién a partir del día 19.

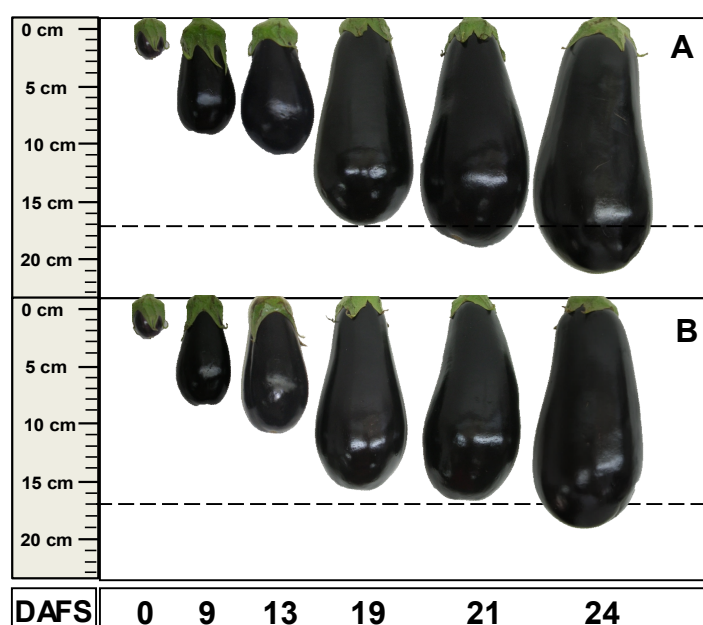


Figura I. 6. Apariencia de los frutos de berenjena provenientes de plantas con 3 meses (**A**) y 8 meses transcurridos desde el trasplante (**B**) durante el crecimiento de los mismos a los 0, 9, 13, 19, 21 y 24 días luego del cuajado (“Days After Fruit Set”, DAFS). La línea punteada (- - -) indica el tamaño comercial habitual de cosecha de la berenjena (17 cm).

La velocidad de crecimiento de los frutos de plantas con 3 meses fue mayor que los de plantas con 8 meses, debido a que la longitud, diámetro y peso adquirieron valores más altos en tiempos más cortos; en el día 24 DAFS los frutos de plantas con 3 meses alcanzaron valores de hasta un 11, 9 y 28% más altos de longitud, diámetro y peso, respectivamente, que los frutos de plantas con 8 meses (**Figura I.7**).

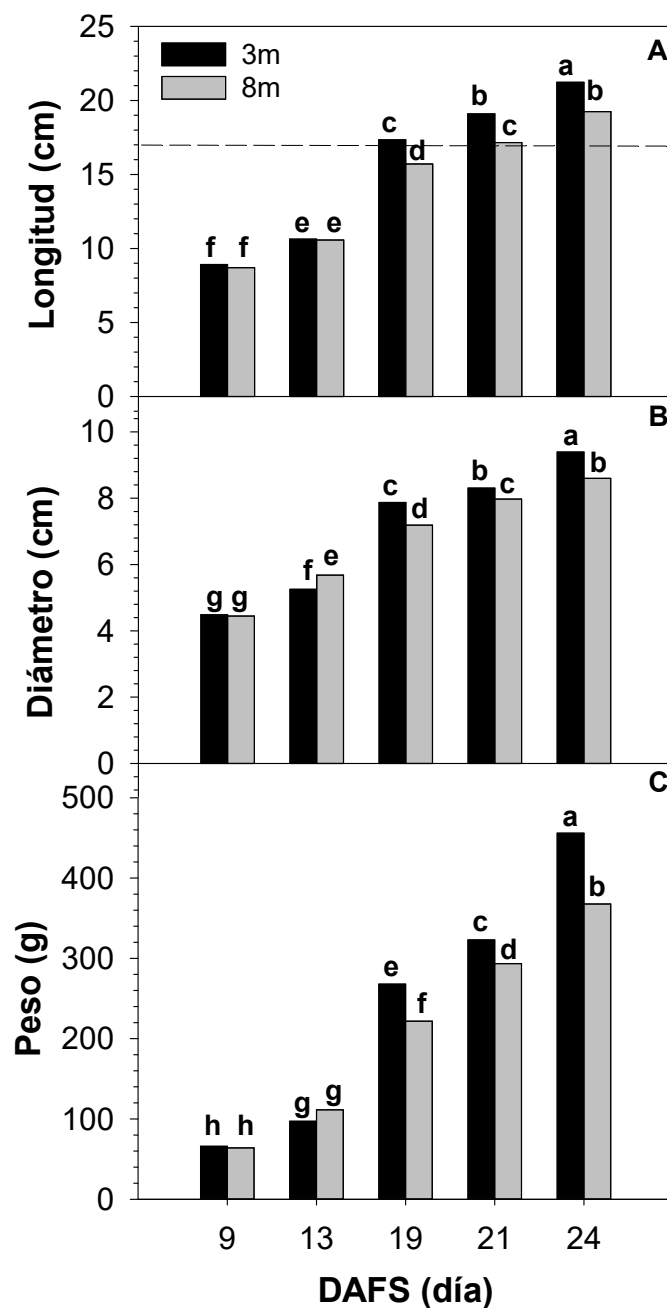


Figura I. 7. Longitud (A), diámetro (B) y peso (C) de los frutos de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante a los 9, 13, 19, 21, 24 días luego del cuajado (“Days After Fruit Set”, DAFS). La línea punteada (- - -) indica el tamaño comercial habitual de cosecha de la berenjena (17 cm). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Como ya se mencionó, la longitud del fruto es el índice de cosecha en berenjena, pudiéndose mencionar como tamaño habitual de comercialización a los frutos con alrededor de 17 cm de longitud. Dicho tamaño es alcanzado por los frutos de plantas con 3m a los 19 DAFS, mientras que aquellos frutos de plantas con 8m adquirieron el

tamaño comercial recién a los 21 DAFS (**Figura I.6.** y **Figura I.7.A**). Probablemente, las plantas de 8 meses necesitaron más tiempo para alcanzar mayor tamaño debido a alteraciones de la funcionalidad u oclusión de los vasos del sistema radicular (**Ryan y col., 2016**). A su vez, en dicho tamaño de cosecha, los frutos presentaron igual diámetro (**Figura I.7.B**), pero aquellos de plantas con 3m un peso ligeramente menor (10%) que los de 8m (**Figura I.7.C**). Si bien la temperatura y la luz tienen efectos marcados en el crecimiento del fruto (**Marcelis, 1993**), en el presente trabajo las condiciones ambientales fueron iguales para los frutos de ambas plantas, dado a que crecieron en simultáneo. Por lo que, las diferencias en la tasa de crecimiento de los frutos pueden deberse al equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo de plantas con diferente tiempo transcurrido desde el trasplante, y su diferente capacidad para incorporar agua y asimilados (**Heuvelink y Bertin, 1994**).

1.3.1.2. Color superficial

El color de la piel de los frutos prácticamente no se vio afectado por la duración del ciclo productivo como lo indican los parámetros L^* , H y C (**Tabla I.1**).

Tabla I. 1. Color de piel (L^* , H y C) de los frutos de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante a los 9, 13, 19, 21 y 24 días luego del cuajado (Days After Fruit Set, DAFS). Valores con letras distintas en una misma columna indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

DAFS		L^*	H	C
9	3m	25,4 ^a	25,8 ^c	2,9 ^{bc}
	8m	25,6 ^a	22,5 ^c	2,8 ^c
13	3m	25,4 ^a	349,4 ^b	3,4 ^b
	8m	24,7 ^b	347,5 ^b	3,0 ^{bc}
19	3m	24,5 ^b	357,0 ^a	3,8 ^a
	8m	24,2 ^b	356,3 ^a	4,0 ^a
21	3m	24,6 ^b	357,1 ^a	4,2 ^a
	8m	24,3 ^b	356,6 ^a	4,0 ^a
24	3m	24,7 ^b	357,2 ^a	4,1 ^a
	8m	24,5 ^b	357,2 ^a	4,0 ^a
LSD		0,5	3,9	0,4

Para ambos grupos de plantas se observó una tendencia similar, una disminución del valor de L^* , y un aumento del H y el C hasta el día 13, para luego, a partir del DAFS 19, mantenerse constantes. Esto indicó que los frutos comenzaron su crecimiento con un color violeta claro en la piel y terminaron de acumular los pigmentos, volviéndose violetas más oscuros, a los 19 DAFS.

En concordancia, **Esteban y col. (1992)** y **Zaro y col. (2014b)** observaron en diferentes variedades de berenjena violeta, que el color final de la piel se alcanzó en un estado temprano de crecimiento del fruto, cuando presentaron alrededor de 13 cm de longitud.

1.3.1.3. Respiración y resistencia a la compresión

Teniendo presente que los frutos de berenjena son del tipo no-climatéricos, tanto los frutos de plantas de 3m como de 8m mostraron una disminución de hasta un 50% en la respiración a lo largo de los DAFS (**Figura I.8.A**), aunque aquellos provenientes de plantas de 3m lo hicieron de forma más gradual que los de plantas con 8m. Una tendencia similar para frutos de berenjenas violetas fue determinada por **Zaro y col. (2014b)**.

Los valores de la tasa respiratoria fueron más altos para el caso de los frutos de plantas con 3m, lo cual sugiere una mayor actividad metabólica que, probablemente, se encontró relacionada con su crecimiento más acelerado, tal como observamos previamente.

Por otro lado, la resistencia a la compresión disminuyó hasta el DAFS 19 en los frutos de ambas plantas (**Figura I.8.B**), para luego permanecer prácticamente constante en los frutos de plantas con 3m. Sin embargo, en las berenjenas de plantas con 8m se observó un aumento en los últimos estados indicando un endurecimiento de los mismos. Esto podría relacionarse con la apreciación visual de un tejido más compacto y probablemente también más lignificado. Como se mencionó anteriormente en el inciso 1.3.1.1, los frutos de plantas con 8m presentaron igual longitud y diámetro, pero mayor peso. Un comportamiento similar fue observado en otros frutos, en donde con el crecimiento de los mismos disminuyó la tasa respiratoria, y la textura en estados de crecimiento intermedios (**Fawole y Opara, 2013**).

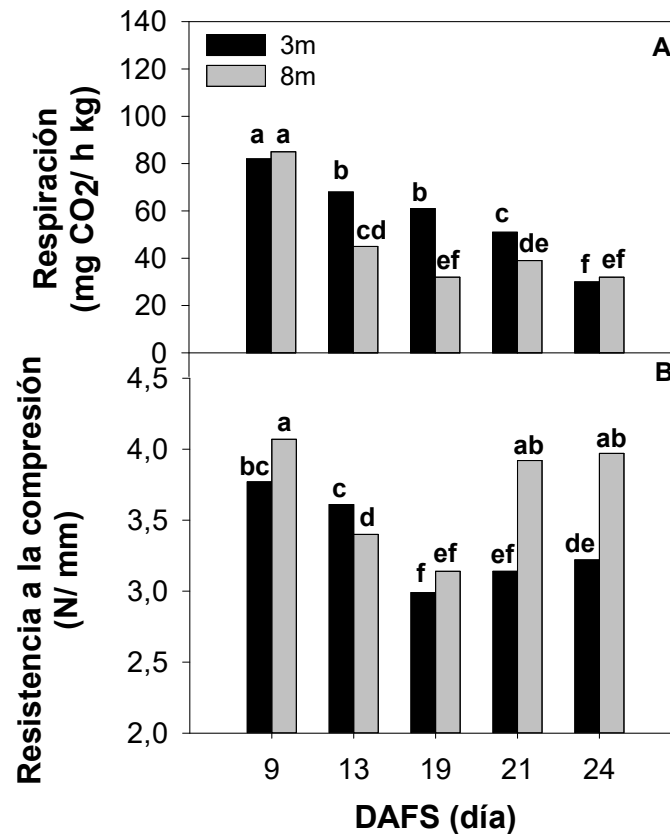


Figura I. 8. Respiración (A) y resistencia a la compresión (B) de los frutos de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante a los 9, 13, 19, 21 y 24 días luego del cuajado (“Days After Fruit Set”, DAFS). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

I.3.2. Efecto del tamaño de cosecha sobre la calidad de los frutos

Si bien el tamaño de cosecha habitual de la berenjena es de 17 cm, al cual se lo llamará de aquí en adelante como E2, puede consumirse en cualquiera de sus tamaños. Actualmente en el mercado se encuentran los frutos conocidos como baby, de un tamaño pequeño, y que se comercializan como un producto gourmet. A su vez, a frutos de tamaños superiores al de cosecha o avanzados, se lo puede relacionar con una menor calidad del fruto. Por lo que se decidió estudiar el contenido de semillas y antioxidantes en estos tres tamaños: baby o E1 (9 cm de longitud), comercial habitual o E2 (17 cm de longitud) y avanzado o E3 (19 cm de longitud); y así evaluar si el tiempo de permanencia de los frutos en la planta influye sobre su calidad a cosecha.

1.3.2.1. Contenido de semillas

La presencia de semillas en la pulpa de berenjena es un parámetro de calidad para los consumidores, deben presentar un tamaño pequeño y un color blanquecino, por lo que, el número o tamaño excesivo de semillas no es deseable. De manera visual, el contenido y tamaño de semillas pareciera no haber sido afectado por el tiempo transcurrido desde el trasplante (**Figura I.9**).

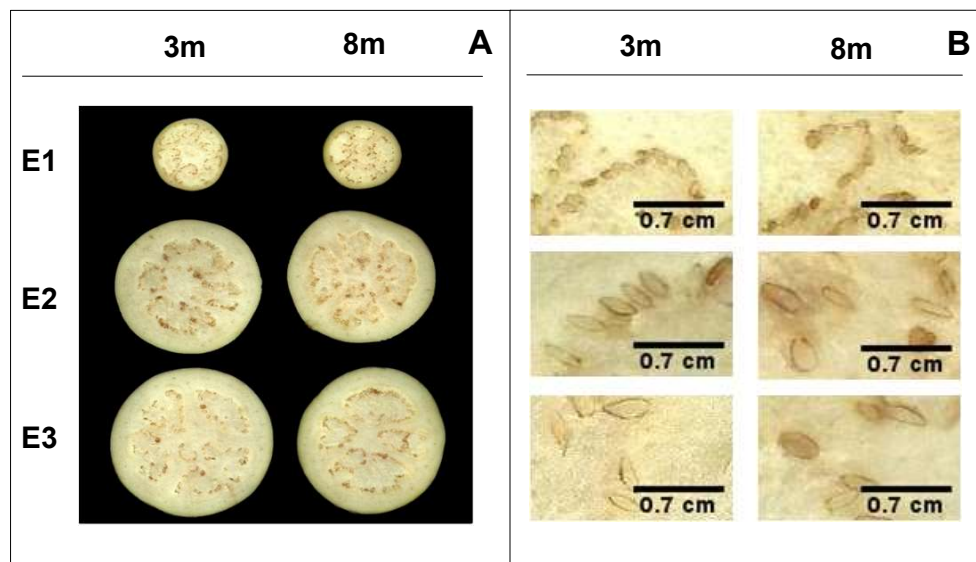


Figura I. 9. Apariencia de las rodajas (**A**) y semillas (**B**) de berenjena del tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante.

El número de semillas se mantuvo constante, entre 60-70 semillas por rodaja (**Figura I.10.A**), mientras que el tamaño de las mismas aumentó, en alrededor un 50% con el crecimiento inicial del fruto (**Figura I.10.B**). En otras variedades de berenjena, **Passam y col. (2010)** y **Khah y col. (2010)**, observaron una relación positiva entre el tamaño de la semilla y el crecimiento del fruto. La planta suministra una cantidad similar de recursos a todas las semillas y tiende a producir un tamaño óptimo único (**Haig y Westoby, 1988; Smith y Fretwell, 1974**), el cual aumentaría a lo largo del crecimiento del fruto por una mayor incorporación de asimilados debido a su mayor permanencia en la planta. Sin embargo, a pesar de la mayor velocidad de crecimiento de los frutos de plantas con 3m, no se observaron diferencias en el número y tamaño de semillas respecto a los frutos de plantas con 8m (**Figura I.10**). Al inicio de crecimiento, transcurrieron entre 19 y 21 días en pasar del E1 al E2, y solamente entre 2 y 3 desde el E2 al E3, en plantas de 3

y 8m, respectivamente (**Figura I.6**). Por lo que, la diferencia más importante en los días de permanencia de los frutos en la planta, se dio con el crecimiento inicial de los mismos.

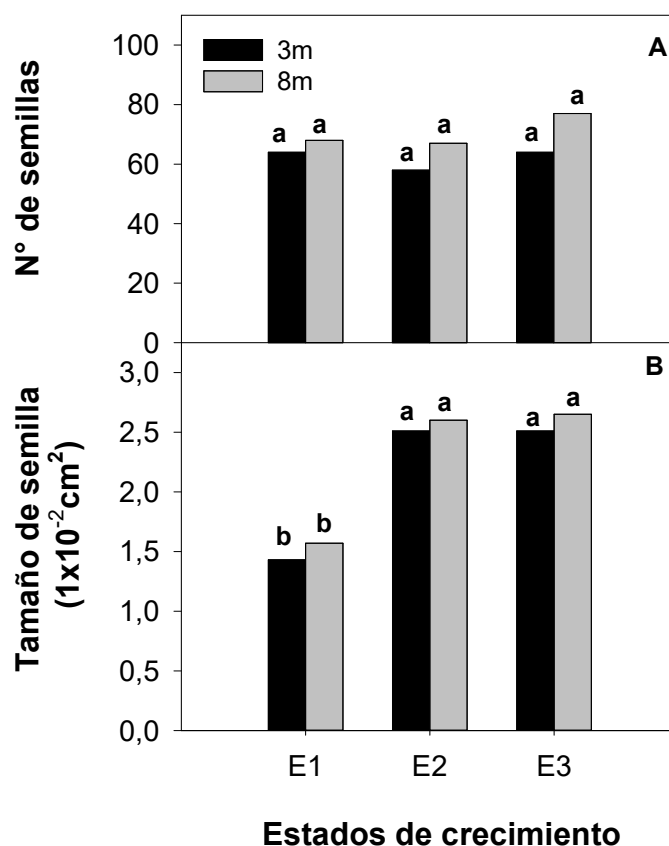


Figura I. 10. Número de semillas por rodaja (A) y tamaño medio de semillas (B) de frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

A su vez, en general, el número de semillas depende del grado de polinización, fertilización y viabilidad del polen (**Karapanos y col., 2008**), factores que deberían haber sido similares entre ambos grupos de las plantas, dado a que el ensayo se realizó sobre una misma temporada y en similitud total del cultivo.

1.3.2.2. Contenido de azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa

La glucosa y la fructosa fueron los principales monosacáridos encontrados en la berenjena, alcanzando entre un 50-54% y un 44-47% del total de azúcares solubles, respectivamente, dependiendo del tamaño del fruto; a su vez, la sacarosa fue el único disacárido detectado y representó entre un 2-5% del total de azúcares dependiendo del tamaño del fruto (**Tabla I.2**). Los resultados están de acuerdo con lo encontrado por

Rodriguez y col. (1999) y **Boo y col. (2010)**, excepto por el contenido de sacarosa, ya que estos autores hallaron valores cercanos al 10% de este azúcar en los frutos.

Tabla I. 2. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y azúcares totales de frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Estados de crecimiento		
		E1	E2	E3
Glucosa (g/ kg p.s)	3m	258 ^b	268 ^b	354 ^a
	8m	246 ^b	245 ^b	270 ^b
	LSD		83	
Fructosa (g/ kg p.s)	3m	241 ^{ab}	220 ^b	282 ^a
	8m	210 ^b	205 ^b	224 ^{ab}
	LSD		60	
Sacarosa (g/ kg p.s)	3m	17 ^b	11 ^b	34 ^a
	8m	9 ^b	7 ^b	13 ^b
	LSD		13	
Azúcares totales (g/ kg p.s)	3m	515 ^b	498 ^b	670 ^a
	8m	465 ^b	456 ^b	507 ^b
	LSD		82	

Por otro lado, respecto al tiempo transcurrido desde el trasplante, aquellos frutos provenientes de plantas con 3m acumularon alrededor de un 30% más azúcares totales en el tamaño E3 que los de plantas con 8m, evidenciado principalmente por un aumento de glucosa y sacarosa. Por otra parte, en los frutos de plantas de 8 meses de duración no se observó variación a lo largo del crecimiento del fruto (**Tabla I.2**). Podría pensarse que los frutos de plantas con 3m acumularon azúcares solubles en vez de destinarlos a la lignificación del tejido, como podría ser el caso de los provenientes de plantas con 8m, considerando el aumento en su firmeza observado anteriormente.

Makrogianni y col. (2017) también informaron fluctuaciones en el contenido de azúcares durante el crecimiento de la berenjena, mientras que **Boo y col. (2010)** encontraron un pequeño, pero continuo aumento con el crecimiento de la fruta.

1.3.2.3. Contenido de antioxidantes en piel y pulpa

La berenjena violeta contiene altos niveles de compuestos fenólicos, siendo rica en antocianinas en la piel y ácido clorogénico en la piel y pulpa (**Singh y col., 2009**). Según **Whitaker y Stommel (2003)** el mayor contenido de antioxidantes en la pulpa de la berenjena se encuentra localizado en la zona ecuatorial del fruto, dicho estudio se realizó en frutos de tamaño comercial de berenjenas, por lo que en el presente trabajo a modo de complementar dicha afirmación y observar cualitativamente lo ocurrido en

frutos más pequeños, se analizaron tres secciones de un corte longitudinal de los frutos de berenjena en 2 tamaños bien diferentes: baby o E1 (**Figura I.11.A**) y comercial habitual o E2 (**Figura I.11.B**).

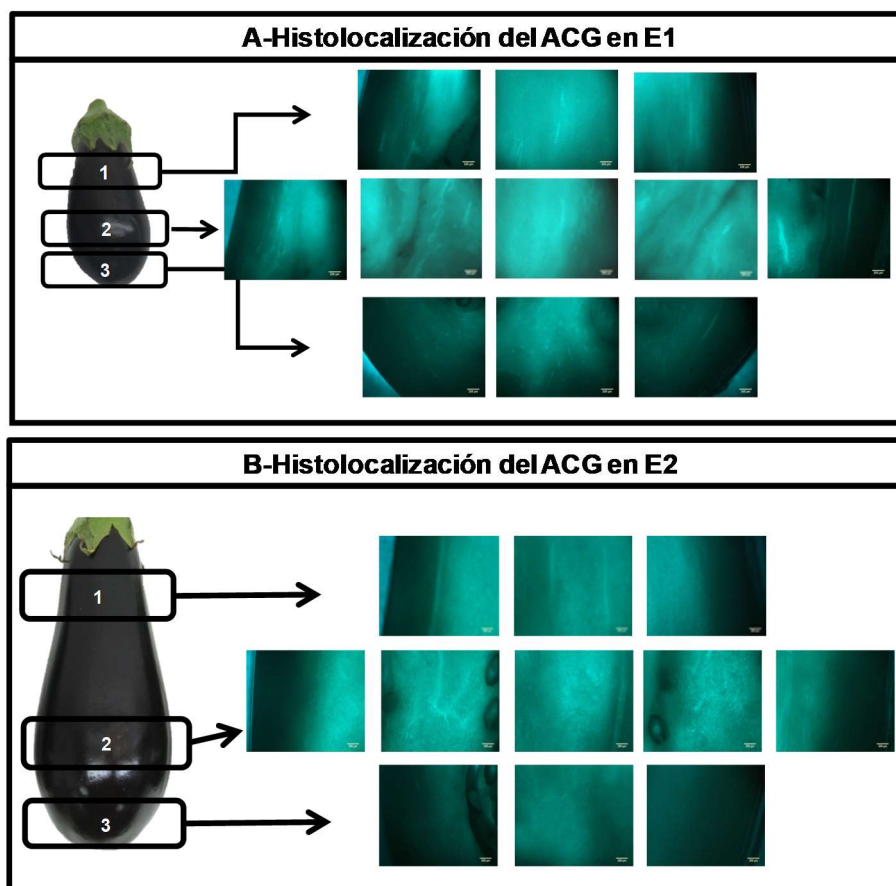


Figura I. 11. Histolocalización del ácido clorogénico (ACG) mediante fluorescencia en la sección superior (1), ecuatorial (2) e inferior (3) de un corte longitudinal de frutos del tamaño baby o E1 (**A**) y comercial habitual o E2 (**B**). Magnificación: 1,25X.

Tras la excitación con luz UV, el reactivo de Neu forma productos fluorescentes de color verde en presencia de ácidos mono y dicafeoil-quínicos, por lo que la fluorescencia observada en las **figuras I.11.A y B** puede ser correlacionada con el contenido de ACG en las mismas. En todos los casos una mayor intensidad de fluorescencia fue observada en el eje central del fruto, la cual va disminuyendo hacia los laterales del fruto o sección más externa. A su vez, entre las zonas delimitadas como 1-superior, 2-ecuatorial y 3-inferior, se observó la mayor intensidad de la fluorescencia en la sección ecuatorial del mismo, en concordancia con lo hallado por **Whitaker y Stommel (2003)**. No se encontraron diferencias en la distribución de la histolocalización del ACG entre los frutos del tamaño E1 y E2, por lo que se decidió no evaluarla en el tamaño E3 debido a su proximidad de tamaño con E2. En virtud de estos resultados podemos concluir que la

distribución del contenido de ACG no se vio influenciada por el crecimiento de la berenjena.

Es por ello que, para la determinación de los antioxidantes en la pulpa de berenjena se emplearon rodajas completas de la zona ecuatorial, y para la piel, todo el fruto. Los resultados de los antioxidantes en piel y pulpa se muestran en la **Tabla I.3**.

No se observaron diferencias en el contenido de antioxidantes en piel y pulpa en relación con el tiempo transcurrido desde el trasplante, pero sí con el crecimiento del fruto. Sin embargo, el comportamiento durante el crecimiento fue diferente entre la piel y la pulpa. En la piel, la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos totales fueron constantes durante el crecimiento del fruto, mientras que, en el tejido de la pulpa, ambos parámetros presentaron un máximo en los frutos E1, para luego disminuir ~30% con el crecimiento, en frutos E2 y E3 (**Tabla I.3**).

Tabla I. 3. Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC), fenoles totales, antocianinas y ácido clorogénico (ACG) de la piel y pulpa de frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Piel			Pulpa		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3
TEAC (mg/ kg p.s)	3m	63454 ^a	65327 ^a	73258 ^a	10861 ^a	7169 ^b	7546 ^b
	8m	68515 ^a	80238 ^a	67803 ^a	9759 ^a	7741 ^b	6742 ^b
	LSD	16535			1907		
Fenoles totales (mg/ kg p.s)	3m	68483 ^{ab}	59798 ^b	64629 ^{ab}	21010 ^a	14820 ^b	16584 ^b
	8m	68625 ^{ab}	69462 ^a	67511 ^{ab}	20066 ^a	15888 ^b	16802 ^b
	LSD	8178			2668		
Antocianinas (mg/ kg p.s)	3m	15652 ^b	32258 ^a	34142 ^a	nd	nd	nd
	8m	16655 ^b	32824 ^a	32340 ^a	nd	nd	nd
	LSD	13522					
ACG (mg/ kg p.s)	3m	30664 ^a	20047 ^{cd}	21241 ^{cd}	19733 ^a	11261 ^b	10211 ^b
	8m	25709 ^b	22749 ^c	18808 ^d	18640 ^a	11706 ^b	10735 ^b
	LSD	2887			7086		

El contenido de antocianinas en la piel de berenjena fue similar entre los frutos de plantas con 3 y 8 meses (**Tabla I.3**), aumentaron con el crecimiento de los frutos desde el E1 al E2, en un 100% prácticamente, y luego hacia el E3 se mantuvieron constantes. El color de las berenjenas está determinado por la presencia de antocianinas en la piel,

por lo que, dichos resultados se correlacionan con lo observado para el color de la piel, donde el desarrollo máximo de color se dio al inicio del crecimiento. A su vez, **Zaro y col. (2014b)** obtuvieron resultados similares en piel de berenjenas violetas.

Por otro lado, el contenido de ácido clorogénico tampoco presentó grandes diferencias entre frutos de ambos grupos de plantas, solamente en la piel de los frutos de tamaño E1 se observó un menor contenido en aquellos de plantas con 8m de duración (**Tabla I. 3**). En ambos tejidos estudiados, el contenido de ACG de los frutos E1 disminuyó en 2 veces, aproximadamente en el E2, y se mantuvo sin cambios en los frutos E3.

Estos resultados se correlacionaron con la intensidad de la fluorescencia observada en la pulpa de berenjenas. Esto es, la mayor presencia de ACG se visualiza como una fluorescencia verde más intensa en el tejido de E1 respecto de E2 y E3, y también en aquellos frutos de plantas con 3m en relación a las de 8m (**Figura I.12**).

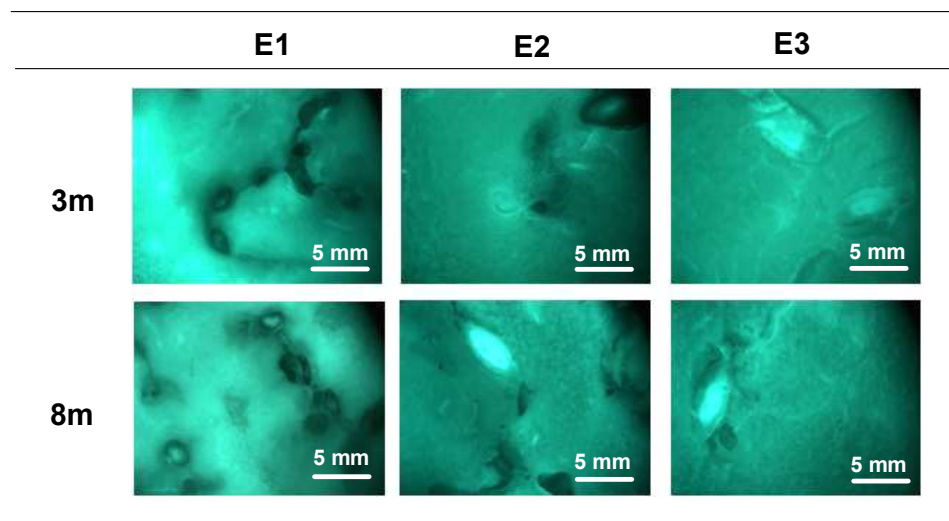


Figura I. 12. Histolocalización del ácido clorogénico mediante fluorescencia por la tinción con el reactivo de Neu en frutos de tamaño baby o E1, comercial habitual o E2 y avanzado o E3 de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. Magnificación: 1,25X.

Resultados similares fueron reportados por **Zaro y col. (2014 a,b)** y **Mennella y col. (2012)**, mientras que **Esteban y col. (1992)**, hallaron un pico máximo en frutos con un crecimiento intermedio, pero en ninguno de los casos estudiaron lo ocurrido en la piel. La caída de compuestos fenólicos en la pulpa, ácido clorogénico en este caso, podría estar relacionada con el depósito de material de pared celular lignocelulósica dentro del tejido, como en vasos y semillas (**Boerjan y col., 2003; Carpita y col., 2001**). Aquí, se podría decir que, la fluorescencia verde más intensa de las semillas de los frutos del tamaño E2 y E3, se alinea con esta propuesta (**Figura I.12**).

Cabe resaltar que, la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles totales y el ACG fueron entre 6-10, 3-4 y 1-2 veces mayores en la piel que en la pulpa de las berenjenas de los distintos tamaños, respectivamente (**Tabla I.3**).

I.3.3. Calidad poscosecha de frutos E2 a 10 °C

Para las berenjenas con un tamaño de comercialización habitual (E2), se recomienda la refrigeración debido a que son frutos perecederos y a temperatura ambiente se ocasiona una pérdida rápida de calidad dada por: pérdida de brillo superficial, ablandamiento, deshidratación y marchitamiento, y decaimiento del cáliz (**Concellón y col., 2012**). La temperatura de almacenamiento recomendada es de 10 a 12 °C debido a que las berenjenas son sensibles al frío.

Durante el almacenamiento a 10 °C, no se alcanzó un deterioro significativo de la apariencia externa de los frutos de ambos grupos de plantas, incluso al día 28, dado que no se superó el valor límite aceptado para consumo (3). El índice de deterioro aumentó más lentamente a partir de los 14 días de almacenamiento a 10 °C en los frutos de plantas con 3m respecto a los de plantas con 8m. Se logró retrasar el deterioro visual en hasta 1 semana en los frutos de plantas con 3 meses (**Figura I.13.A**).

En concordancia con el menor índice de daño, los frutos de plantas con 3m fueron menos susceptibles a la deshidratación, alcanzaron valores cercanos al 4% de pérdida de peso recién al final del almacenamiento, a los 28 días, mientras que los de plantas con 8m lo hicieron a los 14 días (**Figura I.13.B**). En todos los casos no presentaron valores mayores al 7% de pérdida de peso, que, por lo antes mencionado en la introducción general, se relaciona con que los frutos se mantuvieron comercializables durante todo el almacenamiento. A su vez, se observó una pérdida de firmeza durante el almacenamiento refrigerado de todos los frutos (**Figura I.13.C**), siendo más gradual en aquellos de plantas con 3m, éstos alcanzaron pérdidas de hasta un 30% de su firmeza inicial, respecto a un 50% para el caso de los frutos de plantas con 8m.

Por lo que, si bien la apariencia externa de los frutos no se vio afectada de manera significativa por el tiempo de trasplante a cosecha, aquellos provenientes de plantas con 3m retrasaron en una semana la aparición de índices de daño externos, y mantuvieron una mejor calidad poscosecha durante todo el almacenamiento.

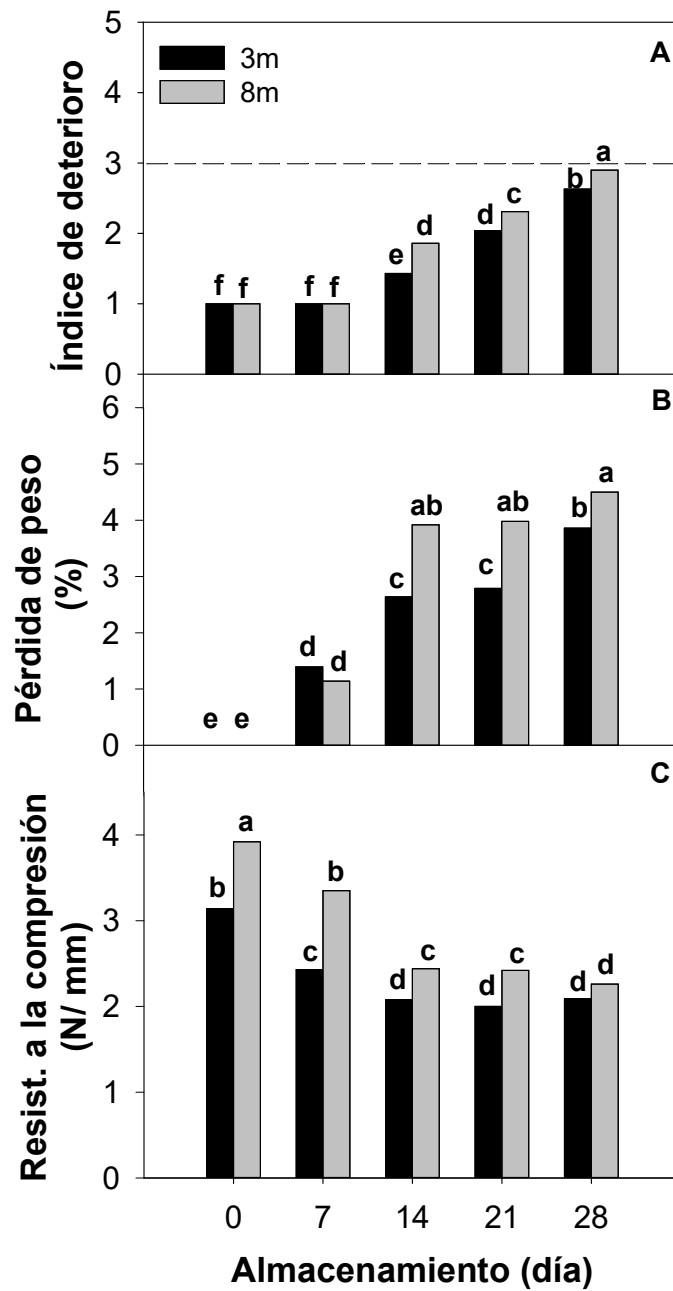


Figura I. 13. Índice de deterioro (A), pérdida de peso (B) y resistencia a la compresión (C) a los 0, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 10 °C de los frutos de tamaño comercial habitual (E2) de plantas con 3 meses (3m) y 8 meses (8m) desde el trasplante. La línea punteada de la figura A indica el valor del índice de deterioro máximo por encima del cual los frutos se consideran no consumibles en su totalidad. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$

I.4. CONCLUSIONES PARCIALES

- Los frutos cosechados de plantas con 3 meses de duración presentaron un crecimiento más rápido, adelantando 2 días la cosecha de frutos E2 (80% del tamaño final) respecto de las plantas con 8 meses. Como así también, una mayor tasa respiratoria, menor firmeza e igual tendencia en el desarrollo del color de piel con el avance del crecimiento.
- Los parámetros de calidad, tales como contenido de semillas y composición (azúcares y antioxidantes), no se vieron afectados por el tiempo transcurrido desde el trasplante.
- Si bien el comportamiento poscosecha a 10 °C de los frutos de ambos grupos de plantas fue bueno, en aquellos de plantas con 3 meses de duración el deterioro se vio retrasado en 1 semana respecto a los de plantas con 8 meses, debido a una menor pérdida de peso y un ablandamiento más gradual, que resultaron en un menor deterioro visual de los frutos.

La menor calidad de los frutos que se le atribuye a la cosecha tardía de berenjena no se debe, en principio, al tiempo transcurrido desde el trasplante; debido a que no se observaron grandes diferencias en la calidad y composición de los frutos de plantas con 3 y 8 meses de duración. La principal diferencia observada fue que los frutos de plantas de 3 meses presentaron una mayor velocidad de crecimiento y un mejor comportamiento poscosecha a 10 °C.

Capítulo II:

“Efecto de la temporada de cosecha sobre la calidad, morfología celular y composición química de frutos de berenjena violeta en distintos estados de crecimiento”

II.1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que las características climáticas estacionales como la temperatura, humedad o radiación solar pueden influir sobre la calidad de los vegetales (**Gaveh y col., 2011; Raffo y col., 2006; Toor y col., 2006**). La radiación diaria integral y, por lo tanto, la fotosíntesis potencial, varía notablemente a lo largo del año, es así que las intensidades de crecimiento de un cultivo desarrollado en invierno y verano son diferentes (**Peil y Galvez, 2005**). El tiempo necesario para que el fruto alcance el tamaño de cosecha puede ser afectado por el tiempo transcurrido desde el trasplante (como vimos en el capítulo I) y por las condiciones estacionales, como temperatura e intensidad de la luz solar (**Uzun, 2007**).

En la región de La Plata, durante un régimen anual de cultivo, los frutos de berenjena son recolectados a lo largo de tres estaciones con condiciones climáticas bien diferentes, comenzando la temporada de cosecha en primavera y culminando en otoño. Por ello, una cosecha hacia el otoño o temporada tardía podría repercutir en la madurez de los frutos, podría verse retrasada por la disminución de la duración del fotoperiodo y de la temperatura (**Caruso y col., 2017**). Podría también, afectar la calidad de los mismos respecto al inicio de la temporada de cosecha, no por el tiempo transcurrido desde el trasplante, sino más bien, por las condiciones climáticas presentes durante el crecimiento del fruto. Varios estudios han demostrado que muchas de las propiedades finales del fruto resultan de variaciones en la actividad de los polinizadores, viabilidad del polen, la receptividad del estigma, la fertilización de los óvulos, la eficiencia del crecimiento y la maduración, siendo estas variaciones influenciadas por las condiciones climáticas (**Abdul-Baki y Stommel, 1995; Bertin, 2004; Zhang y col., 2006**). Se conoce que en temporadas donde las temperaturas son muy bajas y los periodos de luz más cortos, la floración y fructificación se encuentran retrasadas generando algunas anomalías en el desarrollo del fruto, como un menor peso final y poco contenido de semillas (**Chen y Li, 1996; Kawasaki, 2015; Nothmann y Koller, 1975; Nothmann y col., 1978**).

El papel fundamental del entorno previo a la cosecha en la fisiología del producto, la composición y el comportamiento posterior a la cosecha se ha descrito adecuadamente para varias especies de árboles frutales, así como para algunas especies frutihortícolas anuales (**Hussein y col., 2018**). Es así que se ha estudiado la influencia de diversos factores ambientales (disponibilidad de luz, temperatura, carbono y agua) en el crecimiento, calidad y comportamiento poscosecha de mango (**Léchaudel y Joas, 2007**), como así también, cómo afectaron la fecha de cosecha, los patrones de crecimiento y el tamaño final en la cosecha de durazno (**Minas y col., 2018**).

El producto hortícola para el cual se pueden encontrar más estudios sobre modificaciones de calidad estacional es el tomate, adoptado como hortaliza modelo. En este sentido, se informó una tasa de crecimiento reducida y un retraso en el tiempo de maduración durante las temperaturas ambientales frías (**Adams y col., 2001**). El tomate de mediados de verano muestra los niveles más bajos de licopeno (**Raffo y col., 2006**). Hasta ahora, los cambios de calidad que ocurren a lo largo de un solo ciclo de producción debido a las variaciones en las condiciones climáticas se han vinculado con cambios en la disponibilidad de agua o la distribución de nutrientes (**Falagán y col., 2016; Restrepo-Díaz y col., 2008**).

A pesar de la gran cantidad de trabajos que describen los cambios que ocurren en las propiedades de los vegetales por variaciones climáticas, muy pocos han evaluado la base biológica de tal variabilidad en el metabolismo y los rasgos de calidad.

Las características anatómicas y factores estructurales del tejido como la presión de turgencia, la presencia de cutícula, la rigidez de la pared celular, el arreglo y empaquetamiento celular, entre otros, pueden ser influenciados por las variaciones climáticas estacionales, estas características contribuyen a las propiedades texturales del fruto que a su vez influyen sobre la aceptabilidad, la calidad y la capacidad de conservación de los mismos (**Waldron y col., 1997**). Si bien, en frutos de tomate, **Bertin (2004)** y **Segado y col. (2016)** informaron que las condiciones climáticas durante el crecimiento tuvieron un impacto significativo en la división y expansión celular, hasta la fecha, no se han realizado trabajos para evaluar la influencia de las condiciones climáticas sobre estas características en otras especies solanáceas como la berenjena. La composición química de los frutos determina su valor nutricional y sus propiedades organolépticas y bioactivas, pero esta puede verse influenciada por las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollen los frutos a lo largo de su temporada de cosecha (**Rouphael y col., 2012**). Está bien documentado que la cantidad y calidad de los fitoquímicos fenólicos presentes en los vegetales, no solo se encuentran influenciados por el cultivar, sino también por el medio ambiente y las condiciones de crecimiento (**Singh y col., 2009**). Se han encontrado diferencias en la calidad organoléptica y nutricional (contenido de azúcares, compuestos fenólicos, minerales y proteínas) de tomates que crecieron en diferentes temporadas (**Anza y col., 2006**). En tomate de mitad de temporada se observaron niveles más altos de antioxidantes fenólicos (**Marsic y col., 2018**), mientras que en los frutos de la temporada tardía se acumularon compuestos como cetonas y aldehídos que alteraron su sabor (**Liu y col., 2017**).

Sin embargo, la información sobre las variaciones estacionales en el contenido de compuestos fenólicos y azúcares de berenjena es limitada, y los trabajos existentes muestran resultados contrastantes. Por un lado, **Makrogianni y col. (2017)** no

encontraron tendencias estacionales claras en el contenido de compuestos fenólicos de berenjenas. Por el contrario, **García-Salas y col. (2014)** informaron que los antioxidantes se acumularon en niveles más bajos en frutos cosechados en verano. Mientras que, **San José y col. (2014)** y **Makrogianni y col. (2017)**, determinaron una mayor acumulación de azúcares solubles en los frutos cosechados en las estaciones más cálidas.

Por lo observado en el capítulo I, podría pensarse que hacia el final de la temporada de cosecha, la planta estaría más agotada, con diferente tasa de crecimiento y actividad metabólica, que combinada con una baja temperatura ambiente podría influir sobre la calidad del fruto, principalmente sobre su composición química, contenido de semillas y firmeza, estrechamente relacionadas estas características con su calidad nutricional y organoléptica.

En virtud de ello, en el presente capítulo el objetivo fue estudiar el efecto de la temporada de cosecha sobre la calidad, morfología celular y composición química de frutos de berenjena violeta en distintos estados de crecimiento.

II.2. MATERIALES Y MÉTODOS

II.2.1. Material vegetal

Se emplearon berenjenas violetas (*Solanum melongena* L.) cv. Monarca, provenientes de plantas injertadas a bisel sobre un pie de berenjena silvestre cv. Java producidas en invernaderos de La Plata (Buenos Aires, Argentina). El riego se realizó todos los días durante las estaciones de primavera y verano, y una vez por semana en el otoño. La fertilización consistió en la aplicación de 80 g de un fertilizante comercial con un N-P-K de 10-2-25 durante todo el ciclo productivo mediante riego por goteo. Se trabajó con las hileras ubicadas en la zona media del invernadero. Se estudiaron tres temporadas de cosecha consecutivas a lo largo del ciclo productivo de la berenjena: una temprana (a fin de la primavera), intermedia (a fin del verano) y tardía (a fin del otoño) (**Figura II.1**).

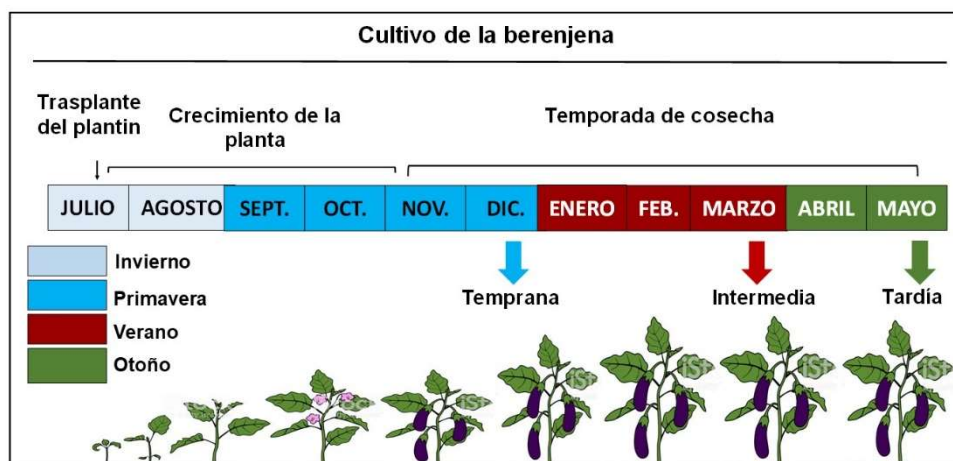


Figura II. 1. Señalización de las temporadas de cosecha estudiadas dentro del ciclo productivo de la berenjena: Temprana, Intermedia y Tardía.

Se realizó una curva de crecimiento de los frutos como se indicó en la **sección I.2.1**, para cada temporada estudiada (temprana, intermedia y tardía), donde alrededor de 180 frutos recién cuajados se marcaron con cintas de tela de colores y se midieron los días (Days After Fruit Set o DAFS) necesarios para alcanzar los distintos estados de crecimiento definidos por la longitud del fruto, desde 9 a 21 cm. Se definieron y cosecharon tres estados de crecimiento: baby o Estado 1 (E1: 9 cm), comercial habitual o Estado 2 (E2: 17 cm) y avanzado o Estado 3 (E3: 21 cm) para ser estudiados en las tres temporadas. El rango de temperatura ambiente fue de 12-23 °C, 13-25 °C y 6-15 °C en la cosecha temprana, intermedia y tardía, respectivamente. Treinta frutos de cada estado y temporada de cosecha fueron cosechados y transportados al laboratorio para

ser estudiados. El análisis de imágenes fue empleado en el presente trabajo para analizar la composición de semillas y microestructura del tejido.

II.2.2. Determinaciones analíticas

II.2.2.1. Peso y diámetro

Los frutos se pesaron en una balanza digital (Kern 572, Argentina) y se midió el diámetro en la zona ecuatorial con un calibre Vernier. Se analizaron 15 frutos por estado de crecimiento y temporada de cosecha. Los resultados se expresaron en Kg y m, respectivamente.

II.2.2.2. Respiración

Se midió la producción de CO₂ según se describió en la **sección I.2.3.2** con un sensor infrarrojo IR (Compu-Flow, Modelo 8650, Estados Unidos). Las medidas se realizaron por cuadruplicado para cada estado de crecimiento y temporada de cosecha. Los resultados se expresaron en mg CO₂/h kg peso fresco.

II.2.2.3. Color superficial

Se evaluó en la piel de los frutos empleando un colorímetro (Minolta CR-400, Japón) como se detalló en la **sección I.2.3.4**, obteniendo los parámetros *L** y *H*. Las medidas se realizaron por triplicado en 10 frutos pertenecientes a cada estado de crecimiento y temporada de cosecha.

II.2.2.4. Materia seca

La determinación de materia seca de muestras de 2 g, aproximadamente, de rodajas de la zona ecuatorial del fruto, se realizó por gravimetría, a través del método indirecto, como se indicó en la **sección I.2.3.6**. Se emplearon 15 frutos por cada estado de crecimiento y temporada de cosecha.

II.2.2.5. Resistencia a la compresión del fruto

Se evaluó en un texturómetro (TA.XT2, Scarsdale, NY, Estados Unidos) del mismo modo que en la **sección I.2.3.3**. Se analizaron 10 frutos de cada estado de crecimiento y temporada de cosecha, y tres mediciones por fruto. Los resultados se expresaron en N/mm.

II.2.2.6. Contenido de semillas

El contenido de semillas se determinó usando imágenes escaneadas (HP deskjet F4480, Argentina) de rodajas de la zona ecuatorial del fruto y procesadas con programa ImageJ 1.37 tal como se describió en la **sección I.2.3.5**. Se analizó tamaño de semilla en cm^2 y la cantidad de las mismas por rodaja. Se evaluaron 15 frutos por cada estado de crecimiento y temporada de cosecha.

II.2.2.7. Análisis micro-estructural por microscopía óptica

La microestructura de la berenjena fue evaluada mediante microscopía óptica sobre rodajas de la zona ecuatorial del fruto, la cual se dividió, a fines prácticos, en tres grandes secciones con tejidos celulares diferenciados: *externa*, dentro de la cual se encuentra la epidermis y el epicarpio (**Figura II.2.A**), *intermedia* (a partir de unos 8 mm, aproximadamente, en dirección de la piel hacia el centro), formada por el endocarpio más periférico (**Figura II.2.B**), y *central*, constituida por el endocarpio central (**Figura II.2.C**).

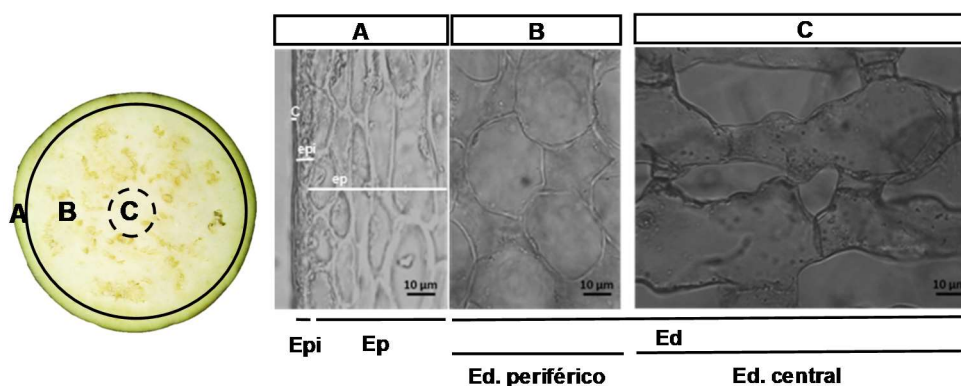


Figura II. 2. Secciones estudiadas de la rodaja de la zona ecuatorial de berenjena: externa (**A**), intermedia (**B**) y central (**C**). C: cutícula, Epi: epidermis, Ep: epicarpio, Ed: endocarpio.

II.2.2.7.1. Fijación

Se cortaron rodajas de la zona ecuatorial de diferentes frutos y fueron fijadas con FAA70 (formol: ácido acético glacial: etanol 70%) hasta su análisis. Se fijaron dos rodajas de 4 frutos de cada estado de crecimiento y temporada de cosecha.

II.2.2.7.2. Espesor de cutícula y anatomía del tejido epidérmico

Se cortaron secciones longitudinales a mano alzada de la sección externa (**Figura II.2.A**) que incluye a la piel (epidermis) de las rodajas fijadas. Para la detección de la cutícula se introdujeron los cortes por 15 min en Sudan IV y luego en etanol 70% por 1 min. Las secciones se montaron en un portaobjeto sobre gelatina-glicerina y se cubrieron con un cubreobjetos. El color rojo indica la presencia de componentes lipofílicos, en este caso la cutícula (**Ruzin, 1999**). Se usó un microscopio óptico (Leitz Sm Lux, Alemania), las imágenes se capturaron con una cámara (Moticam 1000, China) a una amplitud de 400X y se analizaron mediante el software Image Plus 2.0. Se observaron cinco cortes correspondientes a frutos independientes de cada estado de crecimiento y temporada de cosecha, se realizaron 10 mediciones por cada corte. Obteniendo 50 medidas en total de cada fruto. El espesor fue expresado en μm .

II.2.2.7.3. Anatomía del tejido endocárpico de la pulpa

Se realizaron cortes a mano alzada de las secciones intermedias (**Figura II.2.B**) y centrales (**Figura II.2.C**) de la pulpa de las rodajas fijadas. Dichos cortes se decoloraron, lavaron y montaron en un portaobjeto sobre un gel de glicerina con 80% de safranina (**Johansen, 1940**) y se cubrieron con un cubreobjetos. Se usó el mismo microscopio de luz, cámara y analizador de imágenes descritos en la sección anterior (**II.2.2.7.2**), y una magnificación de 100X.

II.2.2.7.4. Cuantificación de las células

Las imágenes capturadas anteriormente (**sección II.2.2.7.2 y II.2.2.7.3**) se emplearon para calcular el número de células en la epidermis, epicarpio, endocarpio periférico y endocarpio central por mm^2 utilizando el software ImageJ 1.37. Se observaron cinco cortes correspondientes a frutos independientes de cada estado de crecimiento y temporada de cosecha, y la cuantificación celular fue realizada por duplicado para cada uno de ellos, en distintas regiones del mismo. Obteniendo finalmente 10 mediciones de cada fruto.

II.2.2.8. Azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa

Se cuantificaron en los extractos etanólicos que se describen en la **sección II.2.2.10**, mediante HPLC (CA, Estados Unidos), de acuerdo a lo detallado en la **sección I.2.3.7**. Se midieron por duplicado para cada estado de crecimiento y temporada de cosecha. Se usó glucosa, fructosa y sacarosa (Sigma Aldrich, Missouri, Estados Unidos) como estándares, y los resultados se expresaron en g/kg p.s.

II.2.2.9. Contenido de antocianinas

Se extrajeron de 0,5 g de piel, previamente congelada y triturada en un molinillo, con metanol: HCl (99:1 v/v) y se cuantificaron espectrofotométricamente a 540 nm tal como se describió en la **sección I.2.3.9**. Las medidas fueron realizadas por duplicado para cada estado de crecimiento y temporada de cosecha. Los resultados se expresaron en equivalentes de delphinidin-3-glucósido en mg/Kg p.s (**Sadilova y col., 2006**).

II.2.2.10. Extracción etanólica de compuestos antioxidantes

Se realizaron como se detalló en la **sección I.2.3.10** y se emplearon para determinar el contenido de ácido clorogénico, fenoles totales y capacidad antioxidante. Se realizaron 2 extractos por cada estado de crecimiento y temporada de cosecha.

II.2.2.10.1. Contenido de ácido clorogénico

Se determinó espectrofotométricamente a 330 nm de acuerdo a **Luthria (2012)** como se detalló en la **sección I.2.3.10.1**. Las medidas se realizaron por duplicado. Se empleó ácido clorogénico como patrón para realizar la curva de calibración y los resultados se expresaron en mg /Kg p.s.

II.2.2.10.2. Contenido de fenoles totales

Se determinaron de acuerdo a **Zaro y col. (2014)** con modificaciones menores, del mismo modo que se describió en la **sección I.2.3.10.2**. Las medidas se hicieron por triplicado. Se empleó ácido clorogénico como estándar y los resultados se expresaron como mg/kg p.s.

II.2.2.10.3. Capacidad antioxidante

Se determinó según **Zaro y col. (2014)** con el radical estable ABTS^{•+} de acuerdo a lo descrito en la **sección I.2.3.10.3**. Las medidas se realizaron por triplicado. Se utilizó Trolox[®] como patrón y los resultados se expresaron como Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) en mg/kg p.s.

II.2.3. Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron de acuerdo a un diseño factorial. Los datos se analizaron por medio de un ANOVA con el software InfoStat (**Di Rienzo y col., 2011**) y las medias se compararon con la prueba de LSD de Fisher a un nivel de significancia $P < 0,05$.

II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

II.3.1. Curva de crecimiento, peso y diámetro de los frutos

La berenjena fue cosechada en tres etapas de crecimiento (**Figura II.1.A**): estado baby (E1, 9 cm de longitud), correspondiente a la madurez mínima a la que se pueden comercializar las berenjenas, estado comercial habitual (E2, 17 cm de longitud), y, finalmente, un estado más avanzado (E3, 21 cm de longitud), que, aunque es conveniente para maximizar los rendimientos, daría lugar, por otra parte, a que las frutas presenten un crecimiento y lignificación excesivos de las semillas y un sabor amargo (**Mohammed y Brecht, 2002**). La berenjena muestra una gran diversidad en términos de rendimiento agronómico, características fisiológicas y morfológicas, y calidad (**Daunay, 2008; Gisbert y col., 2011; Kaushik y col., 2018**). También se ha demostrado que la temporada de producción ejerce un gran impacto sobre las propiedades de las frutas y hortalizas en muchas especies (**Edelenbos y col., 2017; Leccese y col., 2012**). Para evaluar dichas modificaciones en berenjenas violetas, inicialmente se caracterizó el crecimiento de los frutos producidos a fines de la primavera en lo que denominamos cosecha temprana (diciembre, temperatura media del aire 22 °C y 69% HR), finales del verano o cosecha intermedia (marzo, temperatura media del aire 19 °C y 69% HR) y finales del otoño o cosecha tardía (mayo, temperatura media del aire 11 °C y 76% HR) (**Figura II.3.B**). El patrón de crecimiento de las berenjenas mostró un comportamiento sigmoide simple característico (**Figura II.3.C**). En las temporadas temprana e intermedia se observó una misma velocidad de crecimiento al inicio, para luego disminuir en la temporada intermedia de forma gradual conforme aumentaba el tamaño del fruto. Los frutos del E1 demoraron 10 DAFS para alcanzar su tamaño en ambas temporadas, mientras que en la temporada intermedia se requirieron 4 y 8 DAFS más que en la temporada temprana para que los frutos alcanzaran los tamaños E2 y E3 respectivamente (**Figura II.3.C**). Por otro lado, en la temporada tardía, la velocidad de crecimiento de los frutos fue mucho menor desde el inicio, necesitándose alrededor de 3 veces más tiempo que el requerido en las restantes temporadas para lograr los estados de crecimiento estudiados (E1, E2 y E3) (**Figura II.3.C**).

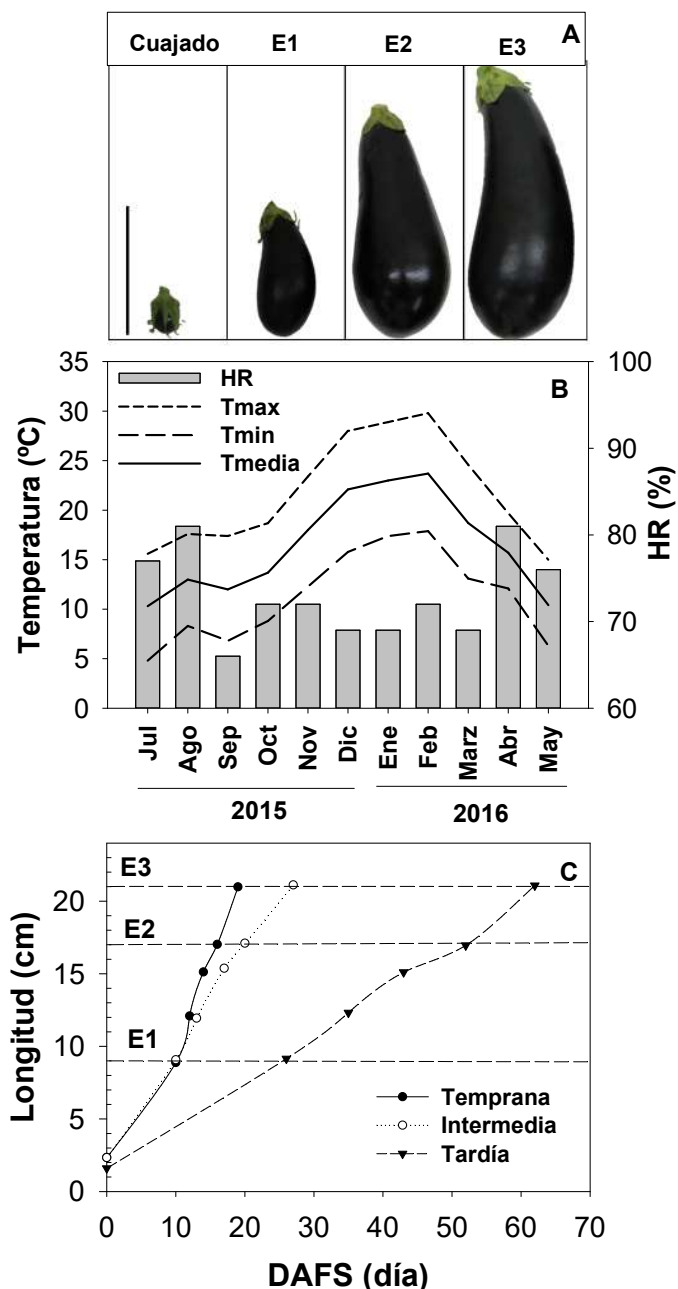


Figura II. 3. Apariencia de un fruto de berenjena recién cuajado, y de los estados de crecimiento empleados: baby o E1 (9 cm), comercial habitual o E2 (17 cm) y avanzado o E3 (21 cm) (A). La barra vertical corresponde a 10 cm. Registro de temperatura (máxima, mínima y media) y humedad relativa (HR) durante el ciclo productivo de la berenjena (B). Curvas de crecimiento longitudinal de la berenjena durante las temporadas estudiadas: temprana, intermedia y tardía (C). Las líneas punteadas (- - -) indican los tamaños de los estados de crecimiento. DAFS: Days After Fruit Set (días luego de la fructificación).

Cabe resaltar que, en las temporadas temprana e intermedia se requirió 16 y 20 días para alcanzar el tamaño comercial habitual de la berenjena (E2), mientras que en la temporada tardía demandó algo más de un mes (52 días). Esta notable diferencia presenta un alto impacto en el nivel de producción y rendimiento para el productor. Ante

esta situación, al momento de levantar el cultivo y dar por finalizada la temporada de cosecha, el productor tendrá ejemplares de berenjena de distinto tamaño aún en la planta. Es así que, si conoce los beneficios y capacidad de almacenamiento de estos frutos le redundará en poder ofrecerlos en el mercado, evitando así el descarte o pérdida de los mismos.

La menor velocidad de crecimiento en la temporada tardía puede asociarse a que la temperatura ambiente se encontró por debajo del límite mínimo en el que la planta de berenjena se desarrolla con normalidad (15-25 °C) (**Chen y Li, 1996**). En cambio, en las temporadas temprana e intermedia, la temperatura ambiente fue similar, y a ello puede deberse la menor diferencia encontrada en la velocidad de crecimiento entre ellas. A su vez, por lo observado en el capítulo I, podríamos atribuir la disminución en la velocidad de crecimiento con el aumento del tiempo transcurrido desde el trasplante conforme nos acercamos a la temporada tardía.

En concordancia, (**Leonardi y Giuffrida, 2009**) observaron que berenjenas obtenidas durante los meses de primavera-verano tuvieron una rápida tasa de crecimiento y alcanzaron rápidamente el tamaño máximo respecto de aquellos frutos recolectados en otoño-invierno.

Si bien los frutos se cosecharon por su longitud, en lo que respecta a su diámetro y peso, en la temporada intermedia se cosecharon frutos con un mayor tamaño general, seguido por la temporada temprana y finalmente la tardía (**Tabla II.1**). Este efecto fue aún más marcado en los estados E2 y E3 de crecimiento del fruto, donde los de temporada intermedia fueron 6-10% y 18-20% más grandes en diámetro y peso, respectivamente, en relación a los frutos de las demás temporadas.

Durante el ciclo productivo de berenjena existen grandes diferencias en términos de radiación solar y temperatura ambiente (**Leonardi y Giuffrida, 2009**), por lo que, la mayor intensidad de luz y las temperaturas más cálidas de las temporadas tempranas e intermedias contribuyeron a un mayor rendimiento y tamaño de los frutos, tal como ocurre en otros cultivos hortícolas como tomates, pepinos y calabacines respecto de las estaciones más frías (**El-Mageed y Semida, 2015**). En concordancia, **He y col. (1999)** informaron una reducción de más del 55% del peso de tomates crecidos en otoño-invierno (tardío) en comparación con el cultivo de primavera-verano (temprano). En este trabajo, las condiciones climáticas fueron similares durante las temporadas temprana e intermedia, por lo que la diferencia en el tamaño de fruto cosechado podría deberse al diferente tiempo de permanencia del mismo en la planta para los estados de crecimiento más avanzados.

Tabla II. 1. Diámetro y peso de los frutos cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía en los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Diámetro (cm)			Peso (g)		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Temprana	3,9 ^g	7,4 ^d	8,0 ^b	58,9 ^e	258,82 ^d	386,1 ^a
Intermedia	4,6 ^f	7,8 ^{bc}	8,5 ^a	71,3 ^e	304,9 ^c	388,2 ^a
Tardía	4,4 ^f	7,1 ^e	7,7 ^c	62,1 ^e	255,9 ^d	357,0 ^b
LSD		0,2			18,9	

II.3.2. Respiración, color superficial y materia seca

La tasa respiratoria de los vegetales a cosecha es influenciada por diversos factores tales como las condiciones de cultivo, el estado de desarrollo y el momento de cosecha (Fonseca y col., 2002; Zaro y col., 2014b). En el presente trabajo los frutos más pequeños o E1 mostraron una alta tasa respiratoria, que disminuyó progresivamente con el crecimiento observándose, un perfil no climatérico característico (Figura II.4).

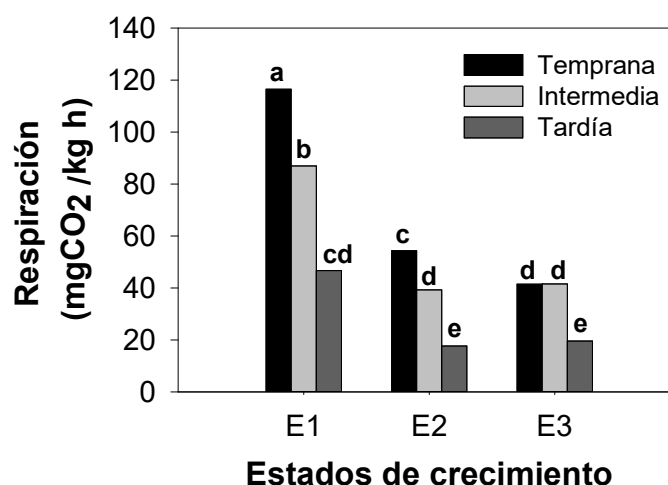


Figura II. 4. Respiración de los frutos de berenjena cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Asimismo, se observó una disminución significativa de la tasa respiratoria a medida que se avanzó en las temporadas de cosecha para todos los estados de desarrollo

estudiados. **Seefeldt y col. (2012)**, también hallaron que inflorescencias de brócoli cosechadas al inicio de la temporada de verano mostraron una mayor tasa respiratoria que aquellas recolectadas en forma más tardía, y lo relacionaron a una mayor actividad fotosintética y a una rápida tasa de crecimiento en los períodos de cosecha con clima cálido.

Como se observó en el capítulo I, el color de los frutos se define en los estados intermedios de crecimiento, siendo las berenjenas baby las que tuvieron un menor nivel de pigmentos respecto de frutos de mayor tamaño. En este trabajo, dependiendo de la temporada de cosecha, el color de los frutos también se definió en el estado comercial habitual o E2, o varió hasta el final del crecimiento o E3.

Conforme avanzó la temporada de cosecha, los frutos se volvieron más oscuros, representados por un menor valor del L^* (**Tabla II.2**). Mientras que en lo que respecta al valor de H, no se observaron diferencias significativas entre las temporadas temprana e intermedia, los valores se hallaron dentro del cuarto cuadrante en la tonalidad de los violetas, pero si se observó una disminución significativa en los valores obtenidos para la cosecha tardía, y que, si bien fueron valores muy bajos (pasando a formar parte del primer cuadrante) indicarían una tonalidad menos violeta y más rojiza (**Tabla II.2**).

El contenido de materia seca fue afectado por la temporada de cosecha. Salvo para el E1, los frutos cosechados en las temporadas temprana e intermedia presentaron un menor contenido de materia seca que los cosechados en la temporada tardía (**Tabla II.2**). En concordancia, **Tijkens y col. (2002)** determinaron que una mayor temperatura ambiente, en línea con un mayor consumo de asimilados (mayor tasa metabólica y velocidad de crecimiento), fueron de la mano con una disminución de la materia seca.

Tabla II. 2. Color superficial (L^* y H) y contenido de materia seca (MS) de los frutos de berenjena cosechados en la temporada temprana, intermedia y tardía de los de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	L^*			H			MS (%)		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Temprana	25,6 ^a	24,2 ^{cde}	24,5 ^{cd}	351,1 ^b	356,8 ^a	358,7 ^a	5,8 ^a	5,1 ^{cd}	4,6 ^e
Intermedia	25,2 ^b	24,1 ^{def}	23,6 ^g	350,2 ^b	357,7 ^a	357,5 ^a	5,3 ^{bc}	5,0 ^{cde}	5,3 ^{bc}
Tardía	24,6 ^c	23,9 ^{fg}	24,0 ^{afg}	5,9 ^c	5,1 ^c	3,5 ^d	4,8 ^{de}	5,6 ^{ab}	5,5 ^{ab}
LSD		0,4			1,9			0,4	

II.3.3. Contenido de semillas

Desde un punto de vista sensorial, como ya se mencionó anteriormente, las berenjenas deben presentar al momento de cosecha semillas pequeñas, poco desarrolladas y de color

blanquecino para una mayor aceptación. Visualmente se pudo decir que la temporada de cosecha afectó al contenido de semillas, por lo que las rodajas presentaron una apariencia interna bien diferente (**Figura II.5**).

Así como se observó en el capítulo I, el tamaño de semilla aumentó con el crecimiento del fruto, pero no sólo al pasar del fruto más pequeño, E1, a los más grandes, E2 y E3, sino que también se observaron diferencias entre estos dos últimos; mientras que, el número de las mismas se mantuvo constante (**Figura II.6.A y B**). Cabe destacar que, la diferencia en días de permanencia de los frutos en la planta para pasar del estado E2 al E3 fue mayor para este caso que lo observado en el capítulo anterior; es así que se observó un aumento del tamaño de semilla incluso hacia el estado E3. Previamente, se ha descrito que frutos con un tamaño avanzado, que se dejan permanecer en la planta por un prolongado período de tiempo, desarrollan semillas de gran tamaño y con una cubierta lignificada (**Gajewski y Arasimowicz, 2004**).

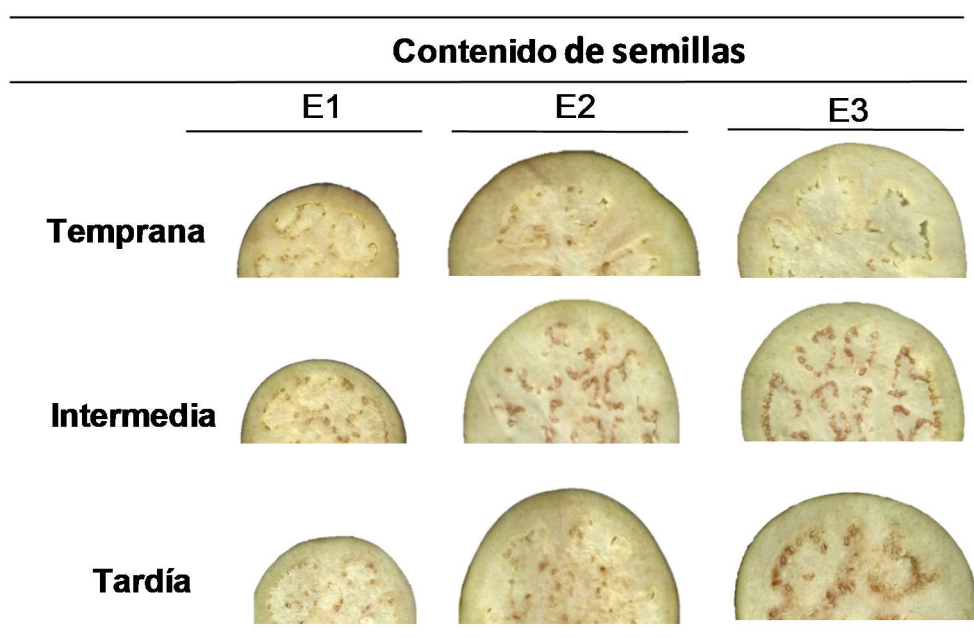


Figura II. 5. Contenido de semillas en rodajas de berenjenas cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3).

Interesantemente, si bien para todos los parámetros la mayor diferencia siempre fue observada para los frutos cosechados en la temporada intermedia, respecto a temprana y tardía, las semillas igualmente tuvieron una apariencia aceptable, al no estar excesivamente desarrolladas ni lignificadas (datos no mostrados). Mientras que, los cosechados en la temporada temprana, presentaron los valores más bajos, lo cual pudo correlacionarse con la apariencia interna de las rodajas, donde incluso, además de

menos semillas, se evidenciaron huecos de aire (**Figura II.5**); y los frutos cosechados en la temporada tardía presentaron un comportamiento intermedio.

El tamaño de semilla fue un 20% más grande en la temporada intermedia, respecto a temprana y tardía, no encontrándose diferencias entre estas últimas (**Figura II.6. A**). Por otro lado el número de semillas también fue mayor en la temporada intermedia, siendo entre un 50 y 70% menor en las cosechas tardía y temprana, respectivamente (**Figura II.6.B**).

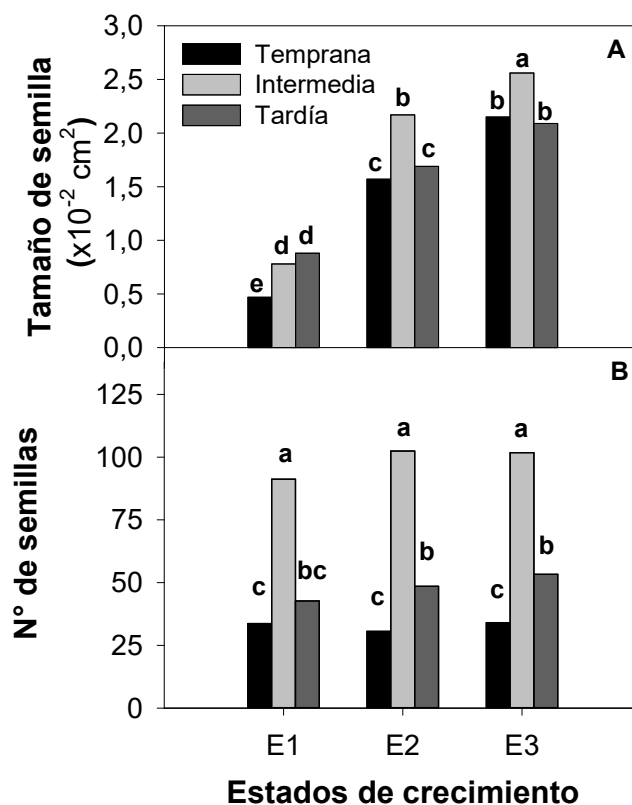


Figura II. 6. Tamaño de semilla medio (A) y número de semillas por rodaja (B) de los frutos de berenjena cosechados en la temporada temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Se ha demostrado que muchas características de la biología reproductiva de las plantas que afectan la formación de semillas (es decir, la dehiscencia de las anteras, la viabilidad del polen y el óvulo y la fertilización) se ven favorecidas a temperaturas en el rango de 18–26 °C (Kowalska, 2008; Lawande y Chavan, 1998). Es así que, en la temporada tardía, la baja temperatura ambiente jugó un papel muy importante en la reducción de la producción de semillas en el fruto. Mientras que, si bien en la temporada temprana e intermedia las condiciones climáticas fueron similares y dentro del rango mencionado

anteriormente, en la temporada temprana la prevalencia de temperaturas óptimas para la formación de semillas fue menor, y a su vez, pudo ocurrir una competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, donde la planta destina sus nutrientes predominantemente al crecimiento vegetativo y no a los frutos, explicándose así el menor número de semillas hallado en dicha temporada.

II.3.4. Microestructura del tejido epidérmico y endocárpico

En contraste con el buen número de estudios realizados en especies modelo como el tomate (**Bertin, 2004; Segado y col., 2016**), la información sobre la microestructura de otros miembros de la familia Solanáceas es muy escasa (**Puig y col., 2012**). La cutícula es una barrera importante para la deshidratación y la penetración de patógenos, por lo que se requiere desde el inicio, en la formación de los órganos, y a lo largo de la ontogenia del fruto (**Yeats y Rose, 2013**). A su vez la cutícula presenta una alta implicancia en la calidad del fruto y en su rendimiento poscosecha. Dependiendo de la especie vegetal, la zona de la planta y su edad o estado de desarrollo, el espesor de la cutícula varía entre 0,5 y 15 μm (**Lallana y col., 2006**).

En las temporadas temprana e intermedia el espesor de la cutícula aumentó con el crecimiento del fruto, pero no así en la tardía (**Figura II.7.A i-ix**), incluso en los frutos más grandes cosechados en la temporada temprana la cutícula penetró más en el apoplasto de las capas subepidérmicas (**Figura II.7.A ii-iii**).

El espesor de la cutícula osciló entre 1 y 4 μm , dependiendo del tamaño del fruto y la temporada de cosecha del mismo (**Figura II.7. B**). El espesor de la cutícula aumentó entre 3 y 2 veces en la temporada temprana e intermedia entre los frutos E1 y E2, respectivamente, para luego mantenerse constante hasta E3 (**Figura II.7.A i-vi, y II.7.B**). En la temporada tardía no se observaron cambios con el crecimiento del fruto (**Figura II.7.A vii-ix, y II.7.B**).

Algunos estudios han abordado la biosíntesis de la cutícula durante el desarrollo del fruto, principalmente desde una perspectiva morfológica o cuantitativa. Según los informes, la deposición de la cutícula cesa durante el desarrollo temprano de la fruta, antes del inicio del proceso de maduración y con frecuencia antes de que la fruta alcance el tamaño máximo, lo que da como resultado un espesor reducido de la cutícula en la fruta madura, y, en algunos casos, grietas debido al aumento de la tensión superficial por la expansión del fruto (**Lara y col., 2014**).

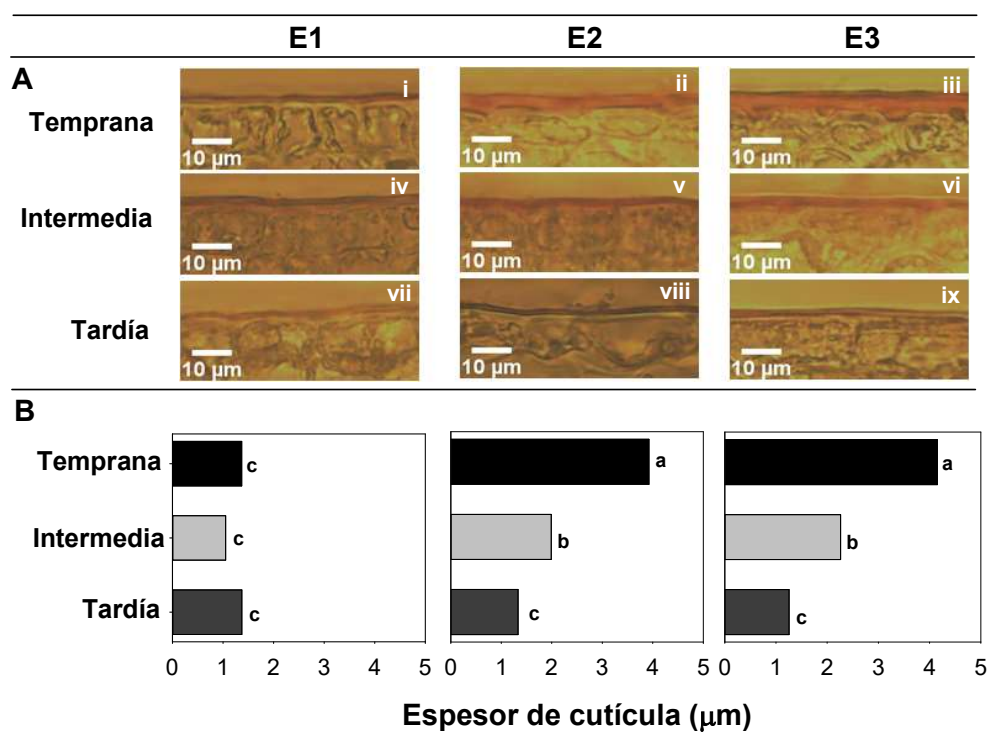


Figura II. 7. Imágenes de microscopía óptica de la cutícula (CU) y epidermis teñidas con Sudán IV (A), y espesor de la cutícula (B), de frutos de berenjena baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzada (E3) cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía. Magnificación 400X. Letras diferentes indican diferencias significativas basado en una prueba de Fisher a $P < 0,05$.

En tomate, **Segado y col. (2016)**, encontraron un aumento progresivo en el espesor de la cutícula con el crecimiento del fruto hasta los 25 días luego de la antesis, para luego disminuir durante las últimas etapas de desarrollo y maduración. Cabe destacar que las berenjenas en la temporada tardía permanecieron en la planta durante mucho más tiempo que en el resto, por lo que, en base a lo ocurrido en tomate, podría pensarse que no se observó un aumento en el espesor de la cutícula en este caso, porque el fruto se encontraba en la fase en la cual la misma ya había comenzado a disminuir. Aunque serían necesarias futuras determinaciones para afirmar dicha hipótesis.

En muchas plantas, se sabe que, como respuesta a un estrés abiótico como la sequía, se estimula la deposición de cera cuticular, pero aún no está claro si el ácido abscísico (ABA) está involucrado en dicho mecanismo (**Kosma y col., 2009**). Por lo que, la regulación hormonal de la biosíntesis de la cutícula durante la ontogenia del fruto es poco conocida. En un trabajo reciente, **Martin y col. (2017)**, mostraron que se requiere ABA para la biosíntesis de cutícula en hojas de tomate, pero en contraste, la cutícula de la fruta se vio menos afectada por el ABA, de hecho, en frutos deficientes en ABA la

cutícula era más gruesa. Independientemente de la regulación hormonal, se acepta que, las condiciones climáticas afectan profundamente a la biosíntesis y deposición de la cutina (**Baker y col., 1982**), y se ha reportado un mayor espesor de la cutícula durante las estaciones cálidas en otros cultivos (**Petit-Jiménez y col., 2007**). Además, se ha demostrado que las variaciones en la humedad relativa del aire, para un rango de temperatura dado, afectan tanto al espesor de la cutícula como a la deposición de cera (**Marschner, 1995**). En este capítulo, la humedad relativa media (HR) en la temporada tardía fue un 10% más alta que en las restantes, además, la temperatura media del aire disminuyó a medida que avanzó la temporada de producción (**Figura II.3. B**). En consecuencia, estos factores pudieron haber contribuido a restringir el engrosamiento de la cutícula en la temporada tardía. Sin embargo, resulta imposible asignar inequívocamente los cambios en el espesor de la cutícula a un solo factor, más ensayos serían necesarios para ello.

Por otro lado, la temporada de cosecha puede afectar a los procesos de división y expansión celular, es así que en la **tabla II.3** se muestra el número de células por unidad de área en las distintas secciones del tejido del fruto. Correlacionando a la mayor densidad de células por unidad de área con un menor tamaño de las mismas. Al igual que lo observado por **Segado y col. (2016)** en tomate, aquí el número de células epidérmicas por área disminuyó con el crecimiento del fruto en todas las temporadas (**Tabla II.3**). Por otro lado, el número de células epidérmicas también se vio afectado por la temporada de cosecha. Los frutos de la temporada temprana tuvieron un mayor número de células epidérmicas por mm² que los de la tardía, mientras que con la intermedia no se observaron diferencias significativas (**Tabla II.3**).

Tabla II. 3. Número de células por mm² en la epidermis, parénquima del epicarpio, endocarpio periférico y central de berenjena baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzada (E3) cosechadas en la estación temprana, intermedia y tardía. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias basadas en una prueba de Fisher en P < 0,05.

	Epidermis (células/ mm ²)			Epicarpio (células/ mm ²)			Endocarpio (células/ mm ²)					
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	Periférico			Central		
							E1	E2	E3	E1	E2	E3
Temprana	6171 ^a	3561 ^c	3421 ^c	5291 ^b	3312 ^c	3136 ^{cd}	102 ^a	31 ^c	35 ^c	96 ^a	47 ^c	46 ^c
Intermedia	6568 ^a	3467 ^c	3255 ^c	5773 ^a	2994 ^{de}	2770 ^e	108 ^a	33 ^c	33 ^c	79 ^b	39 ^{cd}	38 ^{cd}
Tardía	4450 ^b	2704 ^d	2087 ^e	3306 ^{cd}	2359 ^f	2107 ^f	76 ^b	26 ^c	28 ^c	76 ^b	36 ^d	35 ^d
LSD	522			330			12			7		

El parénquima del epicarpio consistió en 2 a 4 capas de células alargadas subepidérmicas muy compactas, que aumentaron de tamaño con el crecimiento del fruto

(Figura II.8 i-ix). Dicho aumento pudo evidenciarse por la disminución observada en el número de células por mm^2 del epicarpio (Tabla II.3). Los frutos cosechados en la temporada tardía presentaron el menor número de células por mm^2 en dicha sección (Tabla II.3), y, por ende, el mayor tamaño de las mismas (Figura II.8 vii-ix).

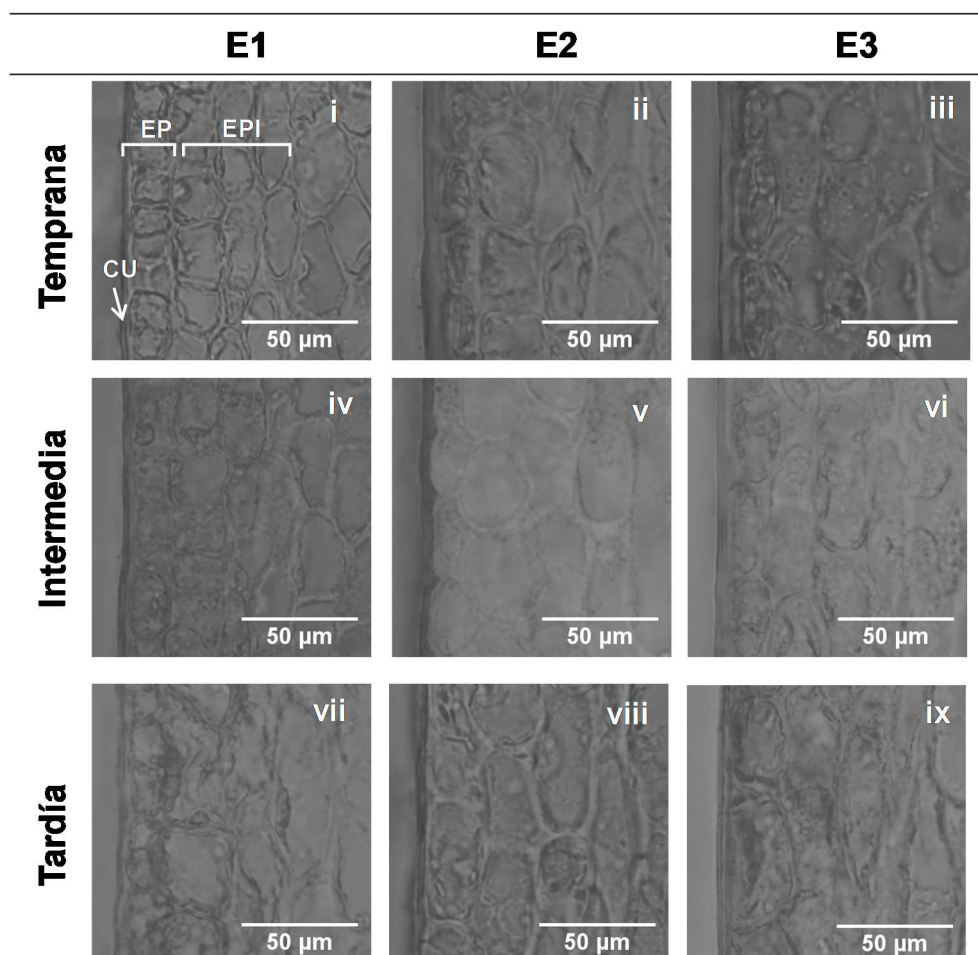


Figura II. 8. Imágenes de microscopía óptica en escala de grises que muestran las células epidérmicas y del epicarpio de berenjena baby o E1 (i, iv, vii), comercial habitual o E2 (ii, v, viii) y avanzada o E3 (iii, vi, ix) cosechadas en la temporada temprana (i, ii, iii), intermedia (iv, v, vi) y tardía (vii, viii, ix). Magnificación 400 X. Cutícula (CU), epidermis (EP), epicarpio (EPI).

El endocarpio periférico, que incluye capas de células ovoides ubicadas entre el epicarpio y el centro de la fruta (Wuyts y col., 2010), mostró una apariencia esponjosa y un mayor tamaño (Figura II.9 i-ix) que aquellas de la epidermis y epicarpio. Asimismo, Puig y col. (2012), mostraron que el tamaño medio de las células tendió a aumentar hacia el centro del fruto. Los frutos del tamaño E1 cosechados en la temporada temprana e intermedia mostraron un mayor número de células por unidad de área que

aquellos de la temporada tardía (**Tabla II.3**), para luego, en el tamaño E2 y E3 del fruto, no observarse diferencias significativas.

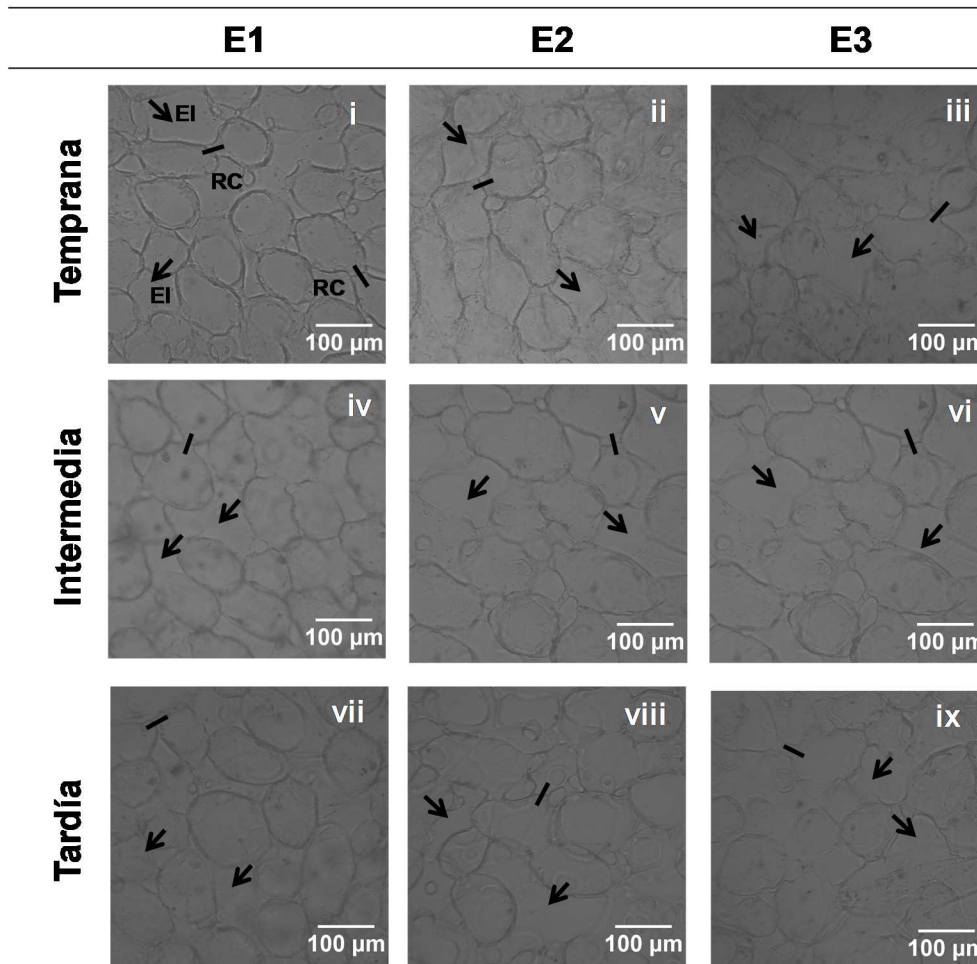


Figura II. 9. Imágenes de microscopía óptica en escala de grises que muestran el endocarpio periférico de berenjena baby o E1 (**i, iv, vii**), comercial habitual o E2 (**ii, v, viii**) y avanzada o E3 (**iii,vi, ix**) cosechadas en las temporadas temprana (**i, ii, iii**), intermedia (**iv, v, vi**) y tardía (**vii, viii, ix**). Magnificación 100X. Ramificación celular (RC), espacios intercelulares (EI).

El endocarpio central se caracterizó por presentar células ramificadas que dejaron espacios intercelulares más grandes, a su vez, el tamaño celular medio del endocarpio central aumentó entre los frutos del tamaño E1 y E2, pero se mantuvo sin cambios posteriormente a pesar del aumento continuo en el tamaño general del fruto (**Figura II.10 i-ix**). Esto indicó que el crecimiento del fruto después de E2 se debió, al menos en parte, a la expansión de los espacios intercelulares. La modificación de los espacios intercelulares también puede indicar cambios en la adhesión entre las células vecinas y probablemente en su laminilla media (**Carpita y col., 2001**). A su vez, se observó una pérdida de la organización celular en la temporada tardía (**Figura II.10 vii-ix**).

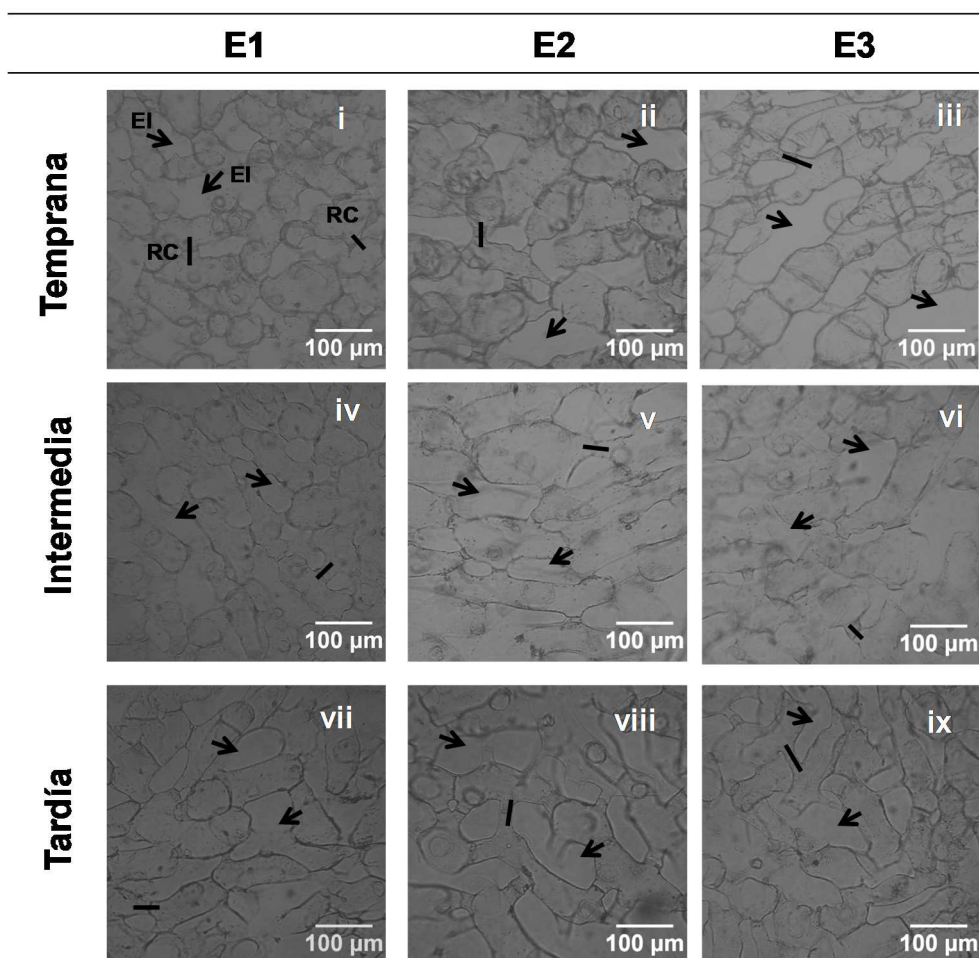


Figura II. 10. Imágenes de microscopía óptica en escala de grises del endocarpio central de berenjena baby o E1 (i, iv, vii), comercial habitual o intermedia (iv, v, vi) y tardía (vii, viii, ix). Magnificación 100X. Ramificación celular (RC), espacios intercelulares (EI).

En concordancia con lo que se encontró en otras secciones celulares, el fruto cosechado en la temporada temprana, mostró el mayor número de células por unidad de área, relacionado con células más pequeñas (Tabla II.3 y Figural.10 ii-iii). Bertin (2004) informó de las correlaciones negativas entre el tamaño de la célula y el número de las mismas para el cultivo de tomate bajo diferentes regímenes de temperatura, hallando también células más pequeñas en el cultivo de frutos con un período más corto. Sobre esta base, los autores postularon que las células de pericarpio de un fruto podrían considerarse como una población de sumideros que compiten entre sí. El mecanismo fisiológico por el cual se produce esta autorregulación no se comprende completamente. En resumen, los resultados muestran que, para un mismo tamaño de fruto, aquellos cosechados en la temporada temprana tienden a presentar un mayor número de células más pequeñas y un empaquetamiento más compacto que las berenjenas tardías. Estos

resultados sugieren que, al comienzo de la temporada de cosecha la división celular es predominante en las berenjenas, mientras que al final de la misma, la expansión es más frecuente. Se ha demostrado que la temperatura tiene un gran impacto tanto en la pared celular como en la división celular (Bertin, 2004) y probablemente sea el factor más determinante de los cambios observados. Sin embargo, vale la pena considerar que el cambio en el crecimiento vegetativo durante la temporada también puede afectar en gran medida la relación entre el sumidero y la fuente de toda la planta y es probable que contribuya a afectar el predominio de la división y expansión celular.

II.3.5. Resistencia a la compresión

En el capítulo I se observó que la firmeza de los frutos disminuyó con el aumento de tamaño de los mismos, e incluso aumentó para aquellos provenientes de plantas de 8 meses en los tamaños más avanzados, debido a una posible lignificación del tejido. Aquí, la tendencia observada con el crecimiento del fruto dependió de la temporada de cosecha evaluada. Los frutos partieron de un nivel de firmeza semejante, para luego diferenciarse en los tamaños más grandes, aumentando en la temporada tardía (Figura II.11).

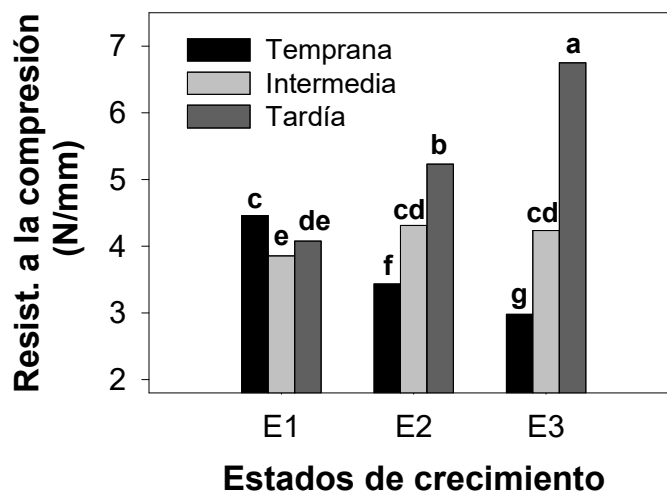


Figura II. 11. Resistencia a la compresión de los frutos de berenjena cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía, de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Es así que en la temporada temprana los frutos se ablandaron con el crecimiento en hasta un 33%, mientras que en la intermedia y tardía se endurecieron en un 13 y 75%, respectivamente (Figura II.11).

Las propiedades mecánicas del fruto dependen de varios factores, así como se mencionó en el capítulo I, podría suponerse un depósito de material de pared celular lignocelulósica dentro de la piel (**Carpita y McCann, 2000**). Las capas superficiales externas del fruto, incluidas la cutícula, el tejido epidérmico y el subepidérmico, constituyen la piel y representan las estructuras principales que confieren resistencia mecánica al fruto. Los factores mecánicos, principalmente la firmeza del tejido, tienen la mayor influencia en la textura de la fruta; siendo los cambios de firmeza del fruto durante la maduración el resultado de la acción cooperativa de muchas actividades diferentes. Algunos estudios sugieren que la composición de la cutícula y su arquitectura pueden desempeñar un papel clave en los cambios de firmeza (**Lara y col., 2014**).

En este caso se encontró una relación inversa entre el espesor de la cutícula y la firmeza del fruto, y una relación directa con la pérdida de turgencia de las células epidérmicas. La pérdida de turgencia y de integridad del pericarpio y endocarpio, y mayor contenido de materia seca de los frutos cosechados en la temporada tardía podría también estar contribuyendo a la mayor firmeza del fruto. La textura se correlacionó con la materia seca de los frutos de forma positiva ($r=0,71$). También, podría deberse a que el fruto estuvo expuesto a temperaturas menores a la transición de fase de la cutícula, esto es entre un estado rígido a móvil (**Eckl y Gruler, 1980**).

II.3.6. Composición de los frutos: azúcares solubles y antioxidantes

En concordancia con lo determinado en el capítulo I, la glucosa y fructosa fueron los azúcares predominantes en berenjena, entre 41-53% y 43-48%, respectivamente; seguido por la sacarosa, la cual en esta oportunidad se halló en un porcentaje más alto, entre un 7-14% dependiendo de la temporada y el tamaño de cosecha del fruto, en similitud con los resultados de **Rodriguez y col. (1999)** y **Boo y col. (2010)** el contenido de azúcares no varió con el crecimiento del fruto (**Tabla II.4**).

Se observó una mayor acumulación de azúcares totales en la temporada tardía, siendo dicho incremento, en relación con la temporada temprana de 15% para el E1 y del 24% para el estado E2, respectivamente. Este aumento fue debido principalmente a un aumento en el contenido de fructosa y de sacarosa; mientras que, la glucosa no se vio afectada por la temporada de cosecha (**Tabla II.4**). Dicho comportamiento podría explicarse por la menor actividad metabólica y alta permanencia de los frutos en planta hacia el final de temporada que se correlaciona además con el mayor contenido de materia seca de los mismos. En contraposición, **San José y col. (2014)** y **Makrogianni y col. (2017)**, determinaron una mayor acumulación de azúcares solubles en los frutos cosechados en las estaciones más cálidas. Las condiciones climáticas durante el

crecimiento de los vegetales afectan el ritmo de desarrollo de la planta y la velocidad de consumo de los hidratos de carbono para la respiración (**Abney y Russo, 1997; Seefeldt y col., 2012**).

Las variaciones inducidas por la temperatura en la tasa de crecimiento del fruto podrían causar diferencias sustanciales en el período disponible para que cada fruto importe fotoasimilados (**Araki y col., 2000**), contribuyendo a especular que cuanto más tiempo los frutos permanezcan en la planta (temporada tardía), mayor será su acumulación de azúcares.

Tabla II. 4. Contenido de azúcares solubles totales, glucosa, fructosa y sacarosa de berenjena cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Temprana	Intermedia	Tardía
Azúcares totales (g/ kg p.s)	E1	444 ^{cd}	531 ^{ab}	522 ^{ab}
	E2	432 ^d	498 ^{bc}	566 ^a
	E3	492 ^{bc}	471 ^{bcd}	516 ^{ab}
	LSD		57	
Glucosa (g /kg p.s)	E1	213 ^b	230 ^{ab}	240 ^{ab}
	E2	230 ^{ab}	235 ^{ab}	230 ^{ab}
	E3	256 ^a	229 ^{ab}	213 ^b
	LSD		32	
Fructosa (g/ kg p.s)	E1	198 ^c	256 ^a	250 ^a
	E2	205 ^{cb}	223 ^{abc}	241 ^a
	E3	227 ^{abc}	221 ^{abc}	223 ^{abc}
	LSD		38	
Sacarosa (g/ kg p.s)	E1	33 ^d	50 ^{bc}	62 ^{ab}
	E2	30 ^d	40 ^{cd}	62 ^{ab}
	E3	35 ^d	49 ^{bc}	70 ^a
	LSD		16	

En el capítulo I, se comprobó una disminución en la capacidad antioxidante, contenido de fenoles totales y ácido clorogénico, y un aumento de las antocianinas con el crecimiento del fruto; lo cual se observó nuevamente en este caso. Sin embargo, anteriormente, no se encontraron diferencias en el contenido de antioxidantes en frutos de plantas de 3 u 8 meses y cosechados en la misma temporada, y que se extrapolaría a temporada intermedia en este capítulo de la tesis. Aquí sí la temporada de cosecha afectó de manera significativa a los antioxidantes tanto en la piel como en la pulpa de los frutos.

En la piel, los frutos cosechados en las tres temporadas tuvieron una disminución en los niveles de TEAC conforme crecía el fruto desde E1 a E2. Pero luego permanecieron constantes hasta E3 en temporadas temprana e intermedia, y en contraposición volvieron a aumentar en temporada tardía. A su vez, los frutos cosechados en la temporada intermedia mostraron, los valores de capacidad antioxidante (TEAC) más altos, seguidos por los de temporada tardía y temprana entre un 29-50% más para los frutos E1; mientras que, para los frutos del estado E3, la capacidad antioxidante en la temporada tardía se equiparó con la intermedia (**Figura II.12 A**). Dicho comportamiento se correlacionó con lo determinado para el contenido de fenoles totales (FT), con la diferencia que para los frutos del estado E3 de la temporada tardía se hallaron valores incluso superiores a la temporada intermedia (**Figura II.12.A**). De acuerdo con resultados anteriores en berenjena (**Gürbüz y col., 2018; Niño-Medina y col., 2017**), los valores de TEAC en la piel mostraron una alta correlación con los fenoles totales ($r=0,978$). El comportamiento observado en el contenido de ácido clorogénico y las antocianinas dan un indicio, de que, si bien ambos contribuyen al conjunto de compuestos fenólicos de la piel, las antocianinas presentaron una importancia sustancial (**Figura II.12 C y D**). El ACG prácticamente no presentó diferencias entre las temporadas para los frutos E1 y E2, mientras que, este fue mayor en la temporada tardía para el tamaño E3 de fruto. Las antocianinas fueron mayores en la piel de los frutos de la temporada intermedia, en correlación con los FT. Ambas tendencias combinadas darían como resultado la similitud de las estaciones intermedia y tardía en el contenido de FT y TEAC de E3.

La mayor acumulación de antioxidantes en la piel de los frutos cosechados en la temporada intermedia, principalmente de antocianinas, podría estar relacionado con una medida de protección por parte del fruto, contra la radiación ultravioleta o frente al estrés por las altas temperaturas de dicha temporada (**Bautista y col., 2016; Payyavula y col., 2012**). Se sabe que la radiación (particularmente en la región UV) estimula la síntesis de antocianinas (**Pedreschi y Lurie, 2015**), lo que depende no sólo de la intensidad sino del tiempo de exposición, factores que se encuentran potenciados en la temporada intermedia. Este comportamiento ha sido observado en otros productos como uvas y papas, que acumularon mayor contenido de antocianinas en su piel cuando crecieron con mayor tiempo de exposición solar que aquellas expuestas a un menor régimen de luz (**Guan y col., 2016; Payyavula y col., 2012**).

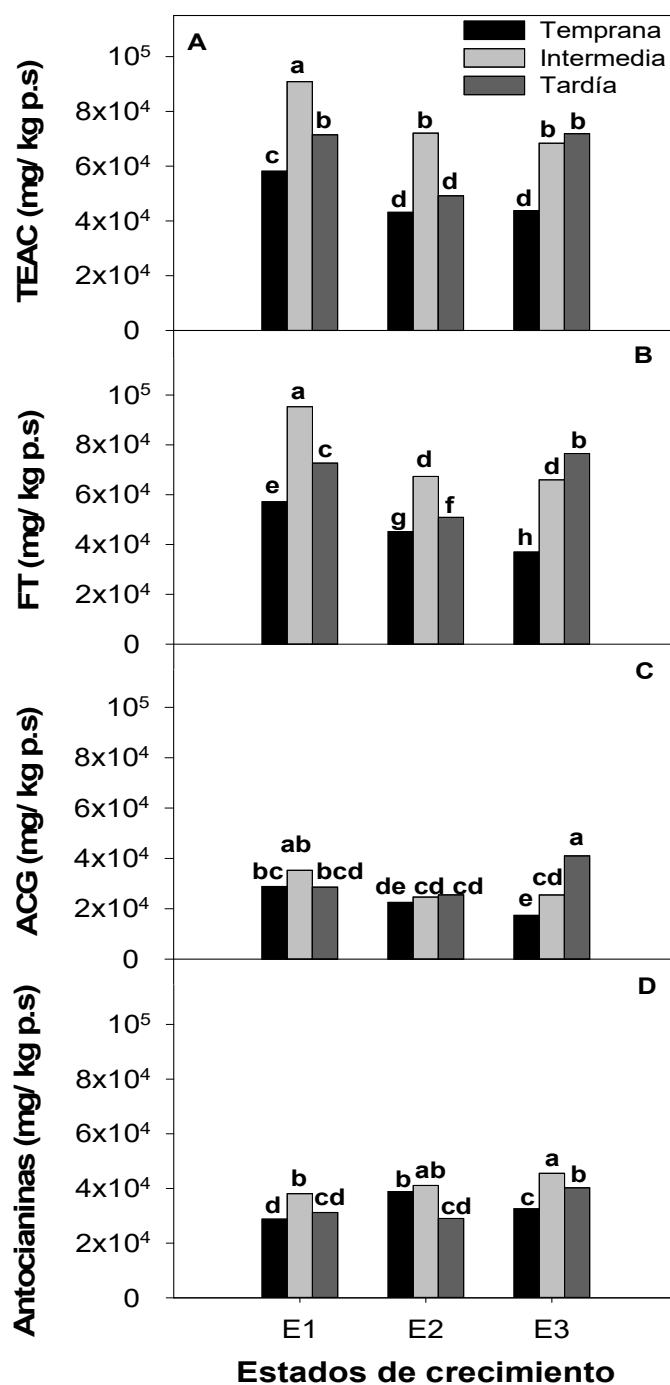


Figura II. 12. Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) (A), Fenoles Totales (FT) (B), Ácido Clorogénico (ACG) (C) y Antocianinas (D) de la piel de berenjena cosechada en las temporadas temprana, intermedia y tardía, de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

También, se ha demostrado que la temperatura y la humedad relativa afectan la biosíntesis de compuestos secundarios de las plantas, parámetros que muestran diferencias a través de las temporadas de cosecha estudiadas (Figura II.3.B). Sin

embargo, los efectos son altamente variables dependiendo del cultivo considerado. En lechugas pigmentadas (**Marin y col., 2015**), frutillas (**Wang y Zheng, 2001**) y grosella negra (**Zhu y col., 2016**) las antocianinas aumentaron con la temperatura, en similitud a lo hallado aquí. En otros casos, como en la granada, se ha demostrado que las bajas temperaturas son las que ejercen un impacto positivo en la acumulación de antocianinas (**Borochoy-Neori y col., 2011**).

El contenido de antioxidantes fue mucho mayor en la piel que en la pulpa, al igual que lo observado en el capítulo I, siendo el valor de TEAC en la piel entre 2-5 veces mayor dependiendo del tamaño de fruto y temporada de cosecha.

El comportamiento observado en la pulpa fue algo diferente al de la piel, en este caso, los frutos cosechados en las tres temporadas tuvieron una disminución en los niveles de TEAC conforme crecía el fruto desde E1 a E3. A su vez, los frutos de la temporada tardía mostraron los mayores valores de TEAC respecto de la intermedia y en mayor medida de la temprana. Finalmente, con el crecimiento del fruto se observó una mayor capacidad antioxidante en los frutos cosechados en la temporada tardía, alcanzando valores de TEAC de hasta un 100% y 25% más altos que en las temporadas temprana e intermedia, respectivamente (**Figura II.13 A**). Nuevamente una buena correlación se encontró con el contenido de fenoles totales ($r=0,933$), y estos con el contenido de ACG de la pulpa ($r=0,957$) (**Figura II.13 B y C**). En contraste, **García-Salas y col. (2014)**, encontraron una disminución de los compuestos fenólicos desde la primavera hasta el verano en el tejido del fruto entero de berenjena, aunque las temperaturas de crecimiento de los cultivos fueron más altas que en este trabajo. En la temporada tardía, al presentar un período de crecimiento de los frutos más prolongado la biosíntesis fenólica podría permanecer activa durante más tiempo. A su vez, la acumulación de ACG podría estar relacionada con su función como precursor de lignina para la protección de semillas y el refuerzo de la pared celular (**Concellón y col., 2012; Zaro y col., 2014b**).

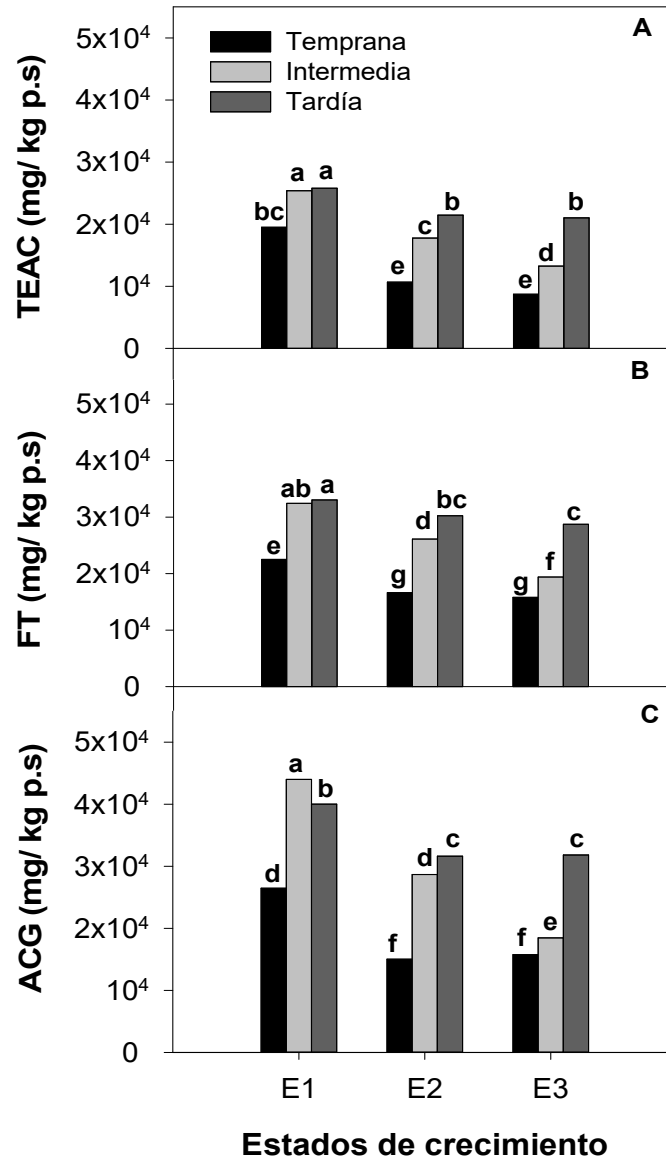


Figura II. 13. Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) (A), Fenoles Totales (FT) (B) y Ácido Clorogénico (ACG) (C) de la pulpa de berenjena cosechada en las temporadas temprana, intermedia y tardía de los tres estados de crecimiento estudiados: baby (E1), comercial habitual (E2) y avanzado (E3). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

II.4. CONCLUSIONES PARCIALES

- Con el avance de la temporada de cosecha, la velocidad de crecimiento de los frutos en la planta disminuyó, requiriendo en la temporada tardía alrededor de 3 veces el tiempo de la temprana e intermedia para alcanzar un mismo tamaño de fruto.
- Los frutos de la temporada temprana presentaron la tasa respiratoria más alta y tuvieron el menor contenido de semillas. En cambio, los de la temporada tardía presentaron la menor tasa respiratoria y tamaño integral de fruto (diámetro y peso), un color más claro y una tonalidad más rojiza, y una mayor firmeza que se correlacionó de forma positiva con su mayor contenido de materia seca. Mientras que, los frutos de la temporada intermedia se caracterizaron por presentar el mayor tamaño integral, un color violeta más oscuro, y el mayor contenido de semillas, pero las mismas fueron de un tamaño aceptable.
- Los frutos cosechados en la temporada tardía presentaron el menor espesor de cutícula y número de células por unidad de área en todos los tejidos analizados, indicando un mayor tamaño de célula, a su vez se observó una pérdida de la organización celular. Mientras que, los cosechados en la temporada temprana presentaron el mayor espesor de cutícula y un número de células mayor y similar a los de temporada intermedia. Estos resultados indicaron que prevaleció la expansión celular en temporada tardía, mientras que fue más importante la división celular en temporada temprana e intermedia
- Los azúcares solubles se acumularon durante la temporada tardía debido a un incremento principalmente en la fructosa y sacarosa. Los antioxidantes variaron en gran medida según la temporada de cosecha, estado de crecimiento y el tejido considerado (piel o pulpa). Los niveles más altos de antioxidantes se observaron en la temporada intermedia para el caso de la piel, y en la tardía para la pulpa. Los frutos más pequeños o E1 presentaron en todas las estaciones entre 2-5 veces mayores contenidos y capacidad antioxidante que los respectivos frutos más grandes, E2 y E3.

La temporada de cosecha afectó la calidad fisiológica y morfológica de los frutos de berenjena violeta, por lo que podemos decir que las condiciones climáticas a cosecha representarían un rol fundamental.

Así, los de temporada intermedia (final del verano) crecieron más rápido, generando frutos firmes y de mayor tamaño y peso, con muy buena calidad.

Los frutos de temporada tardía, estuvieron expuestos en cultivo a bajas temperaturas y una irradiación solar disminuida, lo que generó un crecimiento más lento y con una calidad reducida, aunque exhibieron un alto contenido de azúcares y compuestos

fenólicos. Es así que su comercialización puede ser potenciada desde el punto de vista de su calidad nutricional por parte de los productores, ya sea para su consumo directo en fresco o procesado.

Capítulo III:

“Efecto de la temporada de cosecha sobre el comportamiento poscosecha y sensibilidad al daño por frío de frutos de berenjena violeta en dos estados de crecimiento, baby y comercial habitual”

III.1. INTRODUCCIÓN

La calidad y vida útil de los vegetales frescos son muy dependientes de las condiciones ambientales a las que estén sometidos durante la poscosecha. Con el fin de extender el período de vida poscosecha, se recomienda el almacenamiento a bajas temperaturas, en general, para frutos sensibles al frío como la berenjena, se indica su almacenamiento poscosecha a temperaturas de 10-12 °C, y una humedad relativa >90% para reducir la deshidratación (**Cantwell y Suslow, 1997**).

En estas condiciones de almacenamiento, la vida útil generalmente no excede de 14 a 21 días (**Cantwell y Suslow, 1997**), pero sin embargo este comportamiento puede variar según el genotipo (**Zaro y col., 2014b**) y las condiciones a las que el fruto fue sometido durante la precosecha.

Las condiciones previas a la cosecha de los frutos también afectan las respuestas posteriores a la cosecha (**Hussein y col., 2018**). Por ejemplo, las condiciones ambientales en la precosecha pueden alterar algunas fisiopatías inducidas por las condiciones de almacenamiento a bajas temperaturas (**Fischer, 2000**).

Aunque algunos trabajos han informado que la temporada de cosecha puede modificar la susceptibilidad del fruto a los daños por frío, los resultados son variables dependiendo de la especie considerada. **Woolf y Ferguson (2000)** informaron que las exposiciones previas a la cosecha a altas temperaturas pueden mejorar la tolerancia del fruto a las lesiones por frío, mientras que en manzana una acumulación de temperaturas bajas previas a la cosecha se relacionó con una mayor tolerancia al daño por frío (**Bramlage, 1992**), mientras que las altas temperaturas de finales de la temporada resultaron en una alta incidencia de daño por frío.

Como se mencionó anteriormente, la berenjena es sensible al frío y su cosecha finaliza cuando comienzan las bajas temperaturas ambientales. A su vez, el daño por frío es acumulativo y puede iniciarse en el campo antes de la cosecha hacia finales de la temporada; lo que podría repercutir posteriormente en el comportamiento poscosecha de los frutos.

Si bien la berenjena puede ser consumida a lo largo de todo su crecimiento, los frutos más comúnmente encontrados en el mercado actualmente son aquellos denominados baby y los frutos de berenjena de tamaño habitual. Los frutos baby son cosechados en etapas iniciales de crecimiento y, que, en el presente trabajo de tesis, se definieron como aquellos frutos de 9 cm de longitud o E1; los frutos de tamaño comercial habitual se definieron como aquellos frutos de ~17 cm de longitud o E2.

Se sabe que el estado de madurez en la cosecha tiene una gran influencia en la respuesta del fruto al almacenamiento posterior (**Kader, 1995**). En este sentido,

Concellon y col. (2007) y **Zaro y col. (2014b)** estudiaron el almacenamiento de los frutos baby y comercial habitual, evaluando su sensibilidad al daño por frío y en condiciones óptimas de almacenamiento, pero en una sola temporada de cosecha. **Zaro y col. (2014b)** hallaron que las berenjenas baby mostraban una mayor tolerancia al daño por frío respecto de los frutos de tamaño comercial habitual. Este comportamiento difiere de lo hallado para otras Solanáceas como tomate y pimiento, donde los frutos más pequeños o inmaduros son menos tolerantes al daño por frío respecto de los frutos más grandes o maduros (**Lim y col., 2009; Qian y col., 2013; Yahia y Brecht, 2012**). Así, por ejemplo, la temperatura óptima de almacenamiento de los tomates verde-maduro es 10-12 °C, mientras que la de tomates maduros desciende a 7-8 °C. Esto afecta notablemente la logística del manejo poscosecha de estos productos y que también sería de interés conocer para berenjena. Por lo observado en el capítulo II, la temporada de cosecha afectó a la calidad del fruto en cuanto a las características fisiológicas y morfológicas, por lo que seguramente represente un efecto sobre la respuesta poscosecha de los frutos.

En otros frutos como la palta, la tasa de ablandamiento posterior a la cosecha se asoció con las características estacionales (temperatura mínima, media y máxima, humedad relativa, radiación solar, y días estacionales acumulados) y calidad del fruto (firmeza, materia seca) al momento de cosecha (**Rivera y col., 2017**). En lechuga y en frutilla también se ha determinado que la temporada de crecimiento afectó su comportamiento en la poscosecha (**Cayo y col., 2016; Tudela y col., 2017**).

Fallik y col. (1995) estudiaron la diferente respuesta poscosecha y susceptibilidad al daño por frío de berenjenas solamente en el tamaño comercial, cosechadas en invierno y primavera, y almacenadas en bolsas de polietileno sin perforar. Sin embargo, no existen estudios más recientes, donde se evalúe la influencia de la temporada de cosecha en el comportamiento poscosecha empleando frutos de berenjena de diferentes tamaños.

Es así que, el objetivo de este capítulo fue analizar el efecto de la temporada de cosecha sobre el comportamiento poscosecha y sensibilidad al daño por frío de frutos de berenjena violeta en dos estados de crecimiento, baby y comercial habitual.

III.2. MATERIALES Y MÉTODOS

III.2.1. Material vegetal

Se emplearon los mismos frutos de berenjena detallados en la **sección II.2.1** del tamaño baby o E1 y comercial habitual o E2 cosechados en las tres temporadas: temprana, intermedia y tardía. Luego de cosechados los frutos, fueron transportados inmediatamente al laboratorio, se clasificaron por tamaño y se descartaron aquellos con defectos. Se lavaron con agua clorada (100 mg/L NaClO; pH 6,5), se secaron al aire, se envasaron en bandejas plásticas (de a 5 frutos para el tamaño E1 y de a 2 para E2) cubiertas con film de PVC perforado y almacenados a 10 y 0 °C (90%HR) durante 0, 7 y 14 días, siendo luego transferidas a 20 °C durante 1 día (0, 7+1, 14+1). En cada temporada de cosecha (temprana, intermedia y tardía), se almacenaron 60 frutos a cada temperatura y para cada estado de crecimiento (E1, E2). A cada día de almacenamiento se les determinó el índice de deterioro a 10 °C (ID) o el índice de daño por frío a 0 °C (IDF), la pérdida de peso, resistencia a la compresión y luminosidad de la pulpa.

III.2.2. Determinaciones analíticas

III.2.2.1. Índice de deterioro (ID) y de daño por frío (IDF)

Las frutas almacenadas tanto a temperaturas óptima (10 °C) como de daño por frío (0 °C) se evaluaron visualmente según (**Concellón y col., 2004**) tal como se describió en la **sección I.2.3.11** utilizando una escala de clasificación del 1 al 5 según el nivel de daño. Se evaluaron 20 frutos por cada día de almacenamiento, estado de crecimiento y temporada de cosecha. A temperatura de 10 °C, el índice de deterioro (ID) se basó en los síntomas de deterioro: deshidratación de la superficie, pérdida de brillo, deterioro y crecimiento de hongos. A temperatura de 0 °C, el índice de daño por frío (IDF) se basó en los síntomas de daño por frío: pérdida de brillo, pitting superficial y / o escaldaduras.

III.2.2.2. Pérdida de peso

Los frutos se pesaron al inicio y durante el almacenamiento y los cálculos se realizaron como se indicó en la **sección I.2.3.12**. Se evaluaron 20 frutos en cada día de almacenamiento, estado de crecimiento y temporada de cosecha. El resultado se expresó como porcentaje.

III.2.2.3. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue evaluada mediante un test de ruptura empleando un texturómetro (TA, XT2, Stable Micro Systems Texture Technologies, Scarsdale, NY, Estados Unidos) como se detalló en la **sección I.2.3.3**. Se emplearon 10 frutos para cada día de almacenamiento, estado de crecimiento y temporada de cosecha. Se registró la fuerza requerida vs la distancia recorrida, calculando la resistencia a la compresión como la pendiente al inicio de la gráfica. Los resultados se expresaron como N/mm.

III.2.2.4. Luminosidad de la pulpa

Se cortaron tres rodajas de 5 mm de espesor, de la zona ecuatorial del fruto, y las mismas fueron medidas inmediatamente empleando un colorímetro (Minolta, Model CR-400, Osaka, Japón). Se midieron 10 frutos por cada día de almacenamiento, estado de crecimiento y temporada de cosecha. Los resultados se expresaron como luminosidad de la pulpa mediante el parámetro L^* .

III.2.3. Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron de acuerdo a un diseño factorial. Los datos se analizaron por medio de un ANOVA con el software InfoStat (**Di Rienzo y col., 2011**) y las medias se compararon con la prueba de LSD de Fisher a un nivel de significancia $P < 0,05$.

III.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.3.1. Comportamiento poscosecha de berenjena a 10 °C

Se debe resaltar que, a diferencia del ensayo de almacenamiento realizado en el capítulo I, para cada día de muestreo del almacenamiento a 10 °C, se adicionó un día de almacenamiento a 20 °C con la finalidad de simular una situación comercial y en la que se pueden potenciar los daños.

III.3.1.1. Apariencia externa de los frutos

La deshidratación fue el principal deterioro externo de las berenjenas observado en ambos estados de crecimiento en frutos almacenados a la temperatura recomendada (10 °C), (Figura III.1).

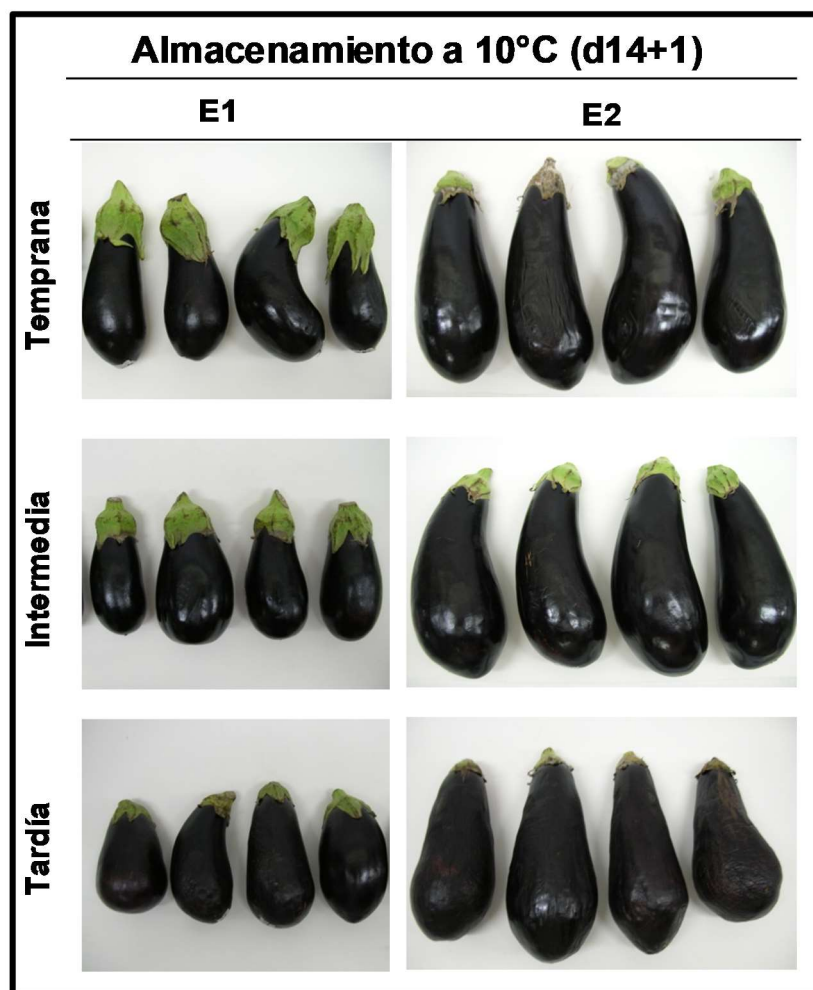


Figura III. 1. Apariencia externa de los frutos de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechados en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenados 14 días 10 °C más un día a 20 °C (14+1).

El deterioro del fruto aumentó a medida que avanzó el almacenamiento independientemente de la temporada de cosecha y del tamaño del fruto (**Figura III.2**). Las berenjenas E1 de las tres temporadas alcanzaron los 14+1 días mostrando un deterioro importante (ID~3) que las posicionó en el límite de consumo. Mientras que, las berenjenas E2 se comportaron de manera diferencial con la temporada de cosecha. Las berenjenas cosechadas en la temporada intermedia alcanzaron el menor índice de deterioro tanto a los 7+1 días como a los 14+1 días, siendo los únicos frutos consumibles al final del almacenamiento. De esta manera, los frutos E2 de temporada intermedia vieron extendida en una semana su vida útil poscosecha. Mientras que, los frutos E2 de temporada temprana y tardía se dañaron en mayor medida, superando el límite de consumible a los 14+1 días.

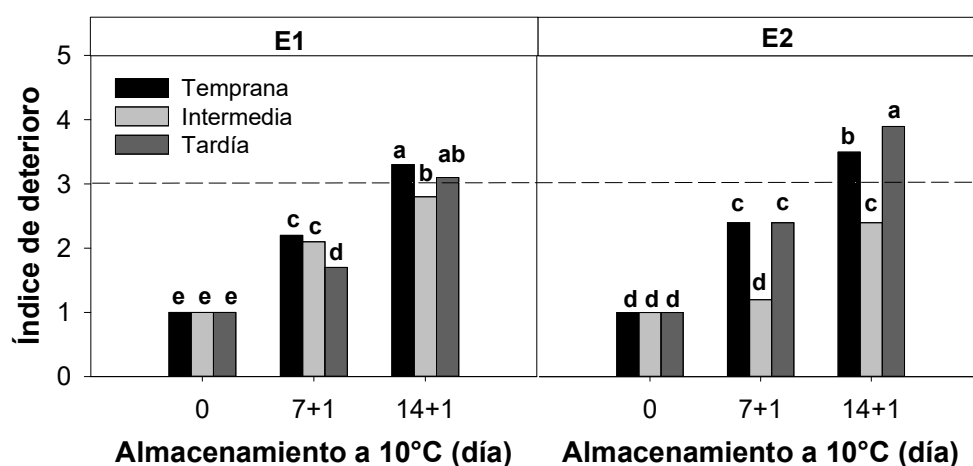


Figura III. 2. Índice de deterioro de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 10 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). La línea punteada (- - -) indica el límite apto para consumo. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

III.3.1.2. Pérdida de peso y ablandamiento

En berenjena, los síntomas de daño se inician con una pérdida excesiva de agua seguida de una pérdida de brillo, un arrugamiento de la piel, ablandamiento del fruto y pardeamiento del cáliz (**Passam y Karapanos, 2008**). En el presente capítulo estos síntomas fueron evidenciados visualmente (**Figura III.1**), de manera más marcada en los frutos cosechados en la temporada temprana y tardía en ambos estados de crecimiento.

El ablandamiento de los frutos puede ser censado mediante la determinación de pérdida de peso y de la firmeza de los mismos a lo largo del almacenamiento. En todos los casos se observó un aumento en la pérdida de peso en relación con una disminución de la firmeza de los frutos, esto indicaría una deshidratación y ablandamiento progresivo de los mismos (**Figura III.3.A y B**).

En correlación con el índice de daño, la pérdida de peso también fue menor en los frutos de temporada intermedia. En todos los casos aquellos cosechados en la temporadas tempranas y tardías presentaron hacia el final del almacenamiento valores significativos de pérdida de peso, entre un 7-10%, mientras que para los frutos de la temporada intermedia fueron cercanos a un 4-6% (**Figura III.3.A**). Interesantemente, a pesar del menor daño externo observado visualmente para los frutos E1, presentaron valores de pérdida de peso mayores que los frutos E2 (**Figura III.3.A**). En concordancia, (**Zaro y col., 2014b**), encontraron una mayor pérdida de peso en los frutos de las etapas más tempranas del desarrollo, para dos variedades de berenjena. Es de mencionar que los frutos baby también han mostrado mayores niveles de respiración que los frutos de mayor tamaño (**Figura I.8, Figura II.4**), lo que contribuiría a la mayor deshidratación. A su vez, la pérdida de peso es inversamente proporcional al tamaño del fruto y, por lo tanto, a la relación superficie/volumen. Según **Díaz-Pérez (1998)**, el 60% de la transpiración de la fruta de berenjena ocurre a través del cáliz. Por lo tanto, es posible encontrar una mayor pérdida de agua en los frutos más pequeños, donde tanto la relación superficie/volumen, como la proporción de cáliz es mayor en estos frutos que en aquellos frutos más grandes.

La pérdida de firmeza en el final del almacenamiento fue de aproximadamente 60, 50 y 40% para las temporadas temprana, intermedia y tardía en el E1 y de 70, 50 y 60% para las temporadas temprana, intermedia y tardía en el E2 (**Figura III.3.B**).

Si bien la pérdida de peso fue significativamente menor para los frutos en ambas etapas de crecimiento en la temporada intermedia, la pérdida de firmeza no fue tan diferente, siendo los frutos de las temporadas intermedia y tardía los más firmes hacia el final del almacenamiento. Cuando se analizaron estos frutos en el capítulo anterior, se observó que presentaban una mayor firmeza que aquellos de temporada temprana, y que su mayor contenido de materia seca se debió, probablemente, a lignificación del tejido. Es por ello que, probablemente, los frutos de temporada tardía se deshidrataron, pero siguieron siendo más firmes. En manzana, existen diversos estudios en donde relacionan la mayor firmeza de los frutos a cosecha con una menor pérdida de la misma durante el almacenamiento. A esto se lo relaciona con el contenido de minerales (**Johnston y col., 2002**) y mayor materia seca inicial de los frutos (**Saei y col., 2011**).

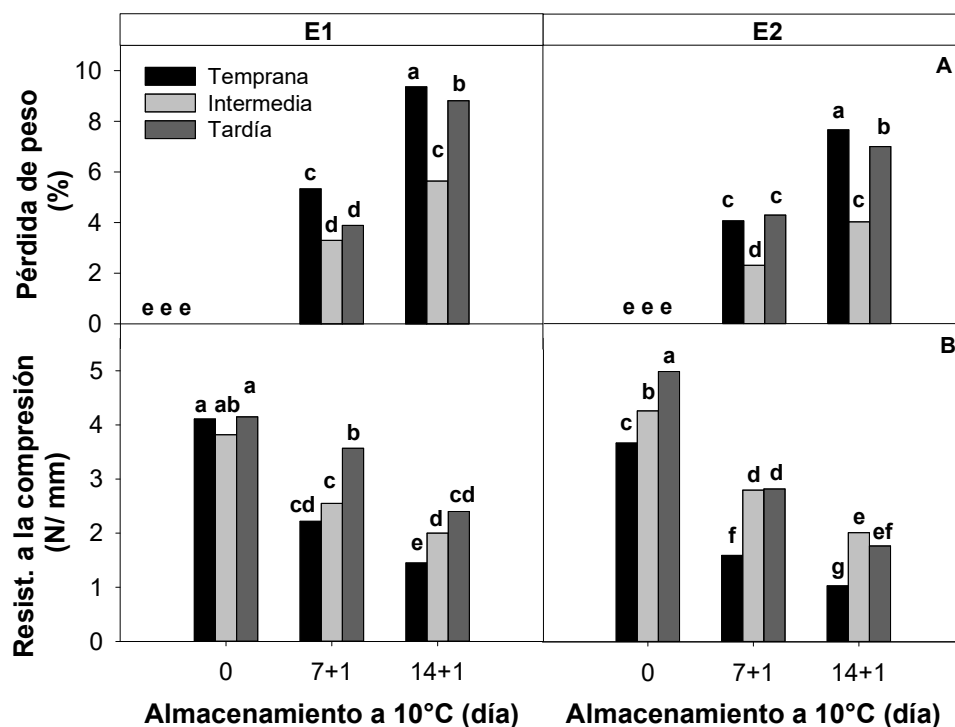


Figura III. 3. Pérdida de peso (A) y resistencia a la compresión (B) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 10 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

III.3.1.3. Apariencia del tejido interno

Ya se mencionó que, como parámetro de calidad en berenjena, la pulpa y las semillas deben presentar un color blanquecino uniforme. **Concellón y col. (2012)** asociaron al parámetro de color L^* como un buen indicador de un posible daño interno en berenjena. Se pudo observar que la temporada de cosecha no afectó la apariencia interna de las rodajas de las berenjenas en E1 y E2 almacenadas a 10°C, incluso en el día 14+1 al final del almacenamiento (**Figura III.4.A**). Esto mismo se correlacionó con que no se observaron modificaciones importantes en la luminosidad de la pulpa debido a las diferentes temporadas de cosecha de frutos en E1 y E2 a lo largo del almacenamiento (**Figura III.4.B**). Estos resultados nos indicarían que sólo el ablandamiento integral de las berenjenas sería el deterioro observado en los frutos almacenadas a 10 °C, y que el color o pardeamiento de la pulpa de los mismos no se vio afectado.

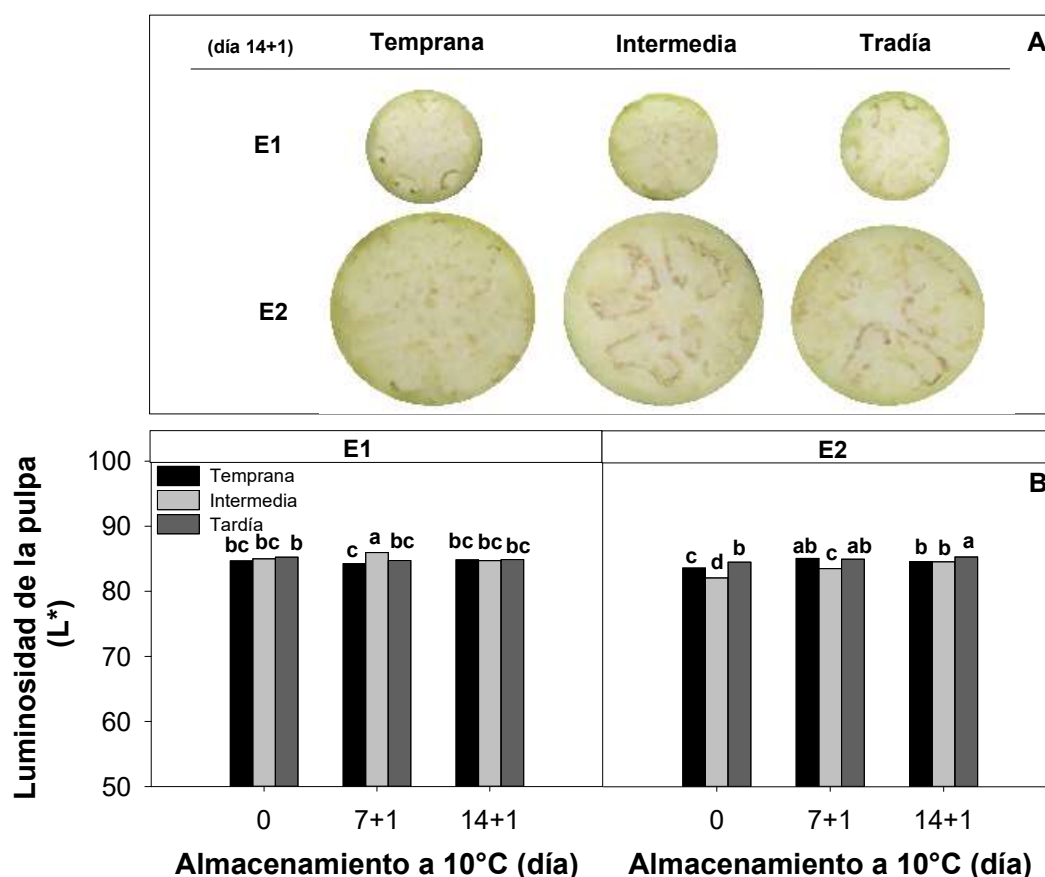


Figura III. 4. Apariencia interna de las rodajas (A), y luminosidad de la pulpa (B) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 10 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

III.3.2. Efectos de la estación de cosecha sobre el daño por frío de berenjena

Si bien el almacenamiento de berenjena a 0 °C no es recomendable para mantener su calidad, debido a que es sensible al daño por frío, el mismo se usó para segregar claramente las diferencias estacionales en la susceptibilidad a las lesiones por frío de los frutos en las distintas temporadas de cosecha. A su vez, en cada día de muestreo se adicionó un día a 20 °C para simular una condición comercial que en general potencia los daños.

III.3.2.1. Síntomas externos de daño por frío

Los principales síntomas de daño por frío a las tres temporadas de cosecha a nivel superficial fueron el pitting y las escaldaduras de la piel (**Figura III.5**). Se observó una clara diferencia en la evolución de los síntomas con la temporada de cosecha. La mayor

tolerancia al daño por frío se vio en los frutos de la temporada intermedia, que presentaron menores síntomas que los de las temporadas temprana y tardía; e incluso los de tamaño E1 fueron más tolerantes que los de tamaño E2.

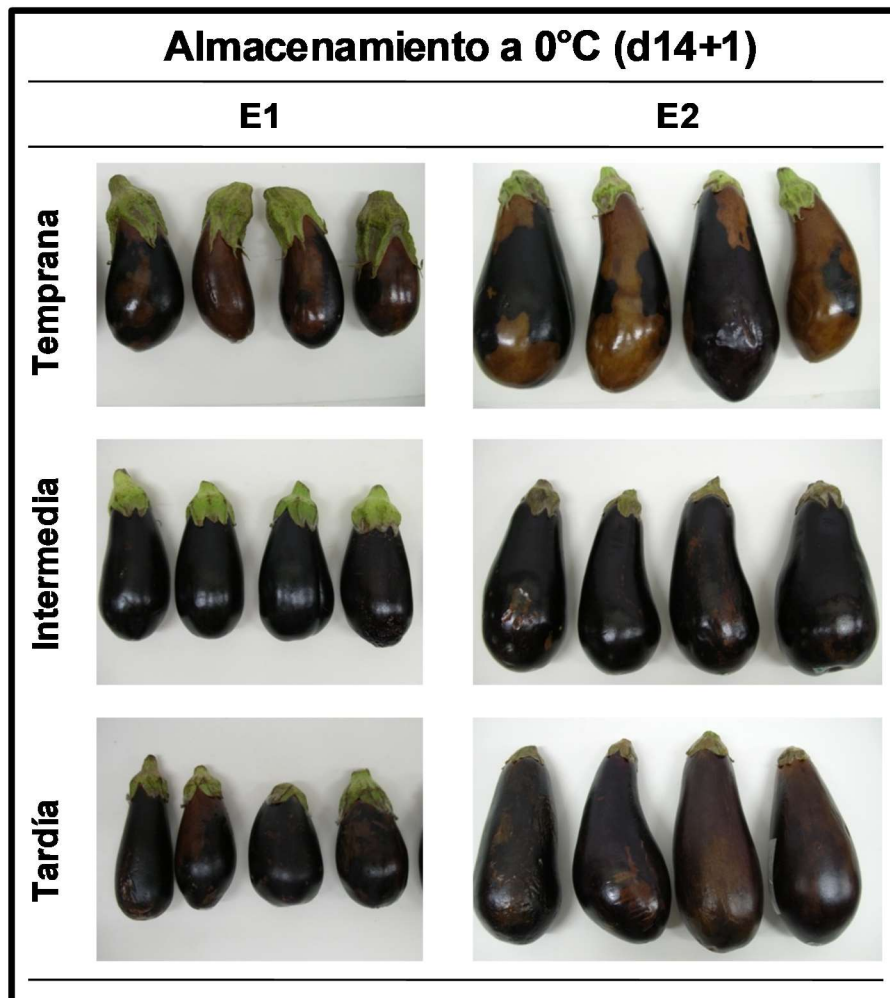


Figura III. 5. Apariencia externa de los frutos de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas 14 días 0 °C más un día a 20 °C (14+1).

La apariencia de los frutos fue claramente reflejada en los valores de los índices de daño por frío (**Figura III.6**).

Se observó un comportamiento diferencial para los distintos estados de crecimiento. Para el caso de los frutos E1, se observó una variación en el índice de daño externo con las temporadas recién al día 14+1, mientras que en los frutos E2, dicha tendencia e índices similares, se observaron ya al día 7+1 (**Figura III.6**). Esto demostró que los frutos más pequeños presentaron una mayor tolerancia al daño por frío en todas las temporadas de cosecha. A diferencia del almacenamiento a 10 °C, aquí el efecto de la

temporada fue mucho más marcado. El nivel de daño en los frutos de la temporada temprana y tardía al final del almacenamiento fue muy intenso para ambos tamaños, E1 y E2, superó al límite de lo considerado como apto para consumo. Sin embargo, los frutos E1 y E2 de la temporada intermedia, incluso al final del almacenamiento, presentaron una mejor apariencia, que serían incluso, aún aptos para consumo. Es así que, si ambos tamaños de berenjena son cosechados en temporada intermedia y almacenados a 0 °C, se extendería en una semana su vida útil poscosecha que si fueran cosechados en la temporada temprana o tardía.

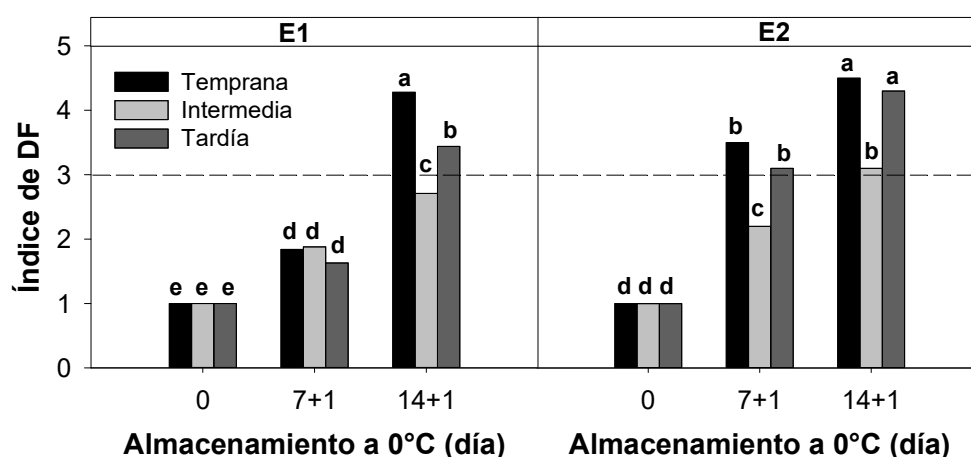


Figura III. 6. Índice de daño por frío (DF) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). La línea punteada (- - -) indica el límite apto para consumo. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Los resultados hallados aquí concuerdan con lo reportado por **Zaro y col. (2014)**, quienes también encontraron que los frutos baby, E1, eran más tolerantes al daño por frío que las berenjenas del tamaño comercial habitual, E2. Como se mencionó, este resultado es contrario al encontrado para otras especies sensibles al daño por frío, como el pimiento, pepino, tomate y calabacín (**Lim y col., 2009; Qian y col., 2013; Valenzuela y col., 2017; Yahia y Brecht, 2012**), que son menos tolerantes a las lesiones por frío en el estado inmaduro. A su vez, **Darré (2019)**, almacenó berenjena violeta a otra temperatura de daño tal como 5 °C, y también halló que los frutos baby eran más tolerantes al daño por frío que los respectivos frutos de mayor tamaño. Esto mostraría que este comportamiento diferente de la berenjena violeta baby se mantiene a diversas temperaturas menores a 10 °C, que causan daño por frío, y no sólo valores extremos (0 °C) como el usado en el presente trabajo. Sumando este resultado a los hallados aquí,

es de destacar entonces que, de almacenar las berenjenas a temperaturas menores de 10 °C, los frutos baby o E1 mantendrían la mayor tolerancia al daño por frío en todas las temporadas de cosecha, siendo en la temporada intermedia en donde esta diferencia sería más notoria. En virtud de ello, la berenjena baby se podría almacenar a temperaturas menores a la recomendada de 10 °C en caso de ser necesario.

III.3.2.2. Pérdida de peso y ablandamiento

La actividad metabólica en su conjunto se ve reducida ante temperaturas más bajas, por lo que también la deshidratación se ve disminuida. Para un estado de crecimiento dado, la pérdida de peso de los frutos a 0 °C fue menor que a 10 °C, siendo que a 0 °C los valores fueron siempre menores del 4% (**Figura III.3.A** y **Figura III.7.A**). Los frutos cosechados en la temporada tardía presentaron la mayor pérdida de peso, al final del almacenamiento alcanzaron un 70% más de pérdida de peso que los frutos de temporada temprana e intermedia, donde fue similar, para ambos tamaños de crecimiento (**Figura III.7.A**).

El almacenamiento a tan baja temperatura 0 °C, ha disminuido seguramente el nivel de respiración a tal punto que tal vez no existieron diferencias entre frutos de distinto tamaño, E1 y E2. Por otro lado, si bien en la berenjena la mayor transferencia de vapor de agua se ha registrado por el cáliz (**Díaz-Perez, 1998**), también podría estar involucrada su cutícula. Esta mayor pérdida de peso anticipada observada en la temporada tardía para los frutos E2, ya al día 7+1, podría estar relacionada con el menor espesor de cutícula de los mismos (**capítulo II, sección II.3.4**); mientras que en los frutos E1 no se había encontrado diferencia en el espesor.

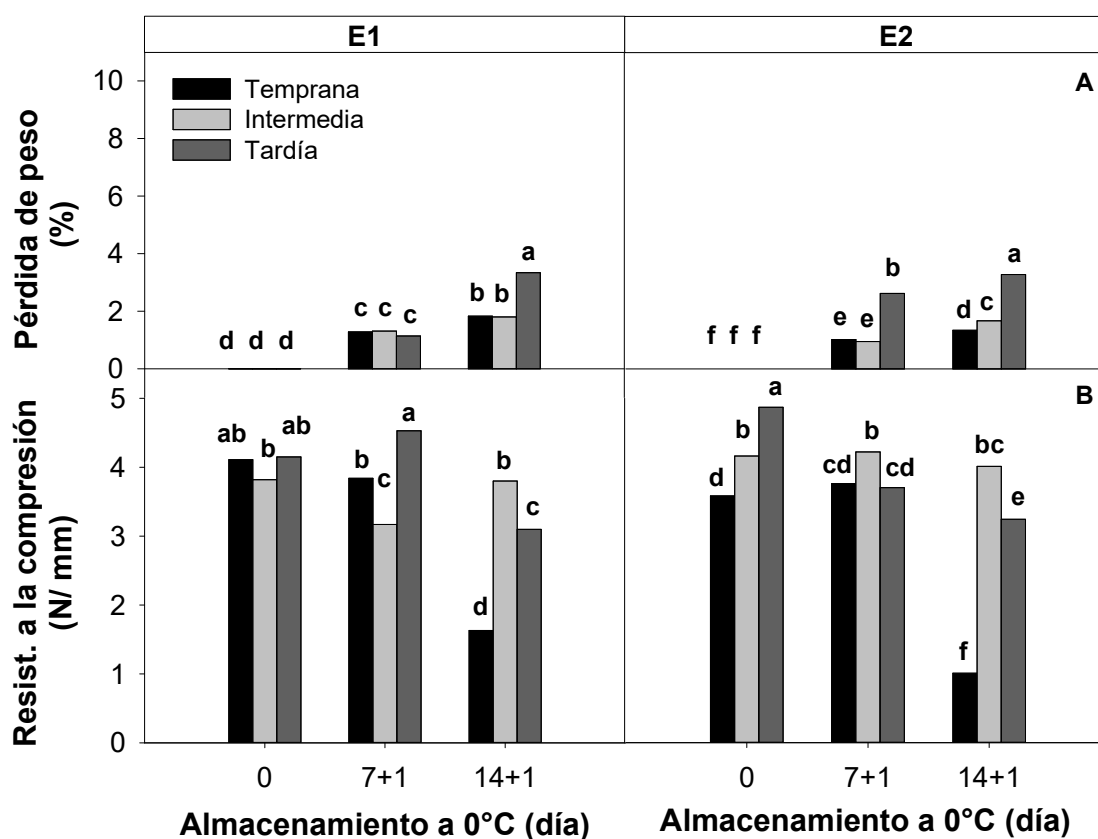


Figura III. 7. Pérdida de peso (A) y resistencia a la compresión (B) de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Por otro lado, en este caso la pérdida de firmeza de los frutos se encontraría relacionada con el daño externo, aparición de escaldaduras superficiales, más que con una deshidratación de los mismos como en el caso del almacenamiento a 10 °C, debido a los bajos valores hallados de pérdida de peso. Es así que, en relación con el índice de daño y aparición de escaldaduras superficiales, la mayor pérdida de firmeza se dio en los frutos cosechados en la temporada temprana y tardía; mientras que no varió en temporada intermedia dada la ausencia, prácticamente, de escaldaduras. Para los frutos del tamaño E1, la firmeza disminuyó al final del almacenamiento, aproximadamente, un 50, 0 y 30% en la temporada temprana, intermedia y tardía, respectivamente; mientras que en los frutos E2 la disminución fue de 80, 0 y 30%, respectivamente (**Figura III.7.B**). La mayor pérdida de firmeza en la temporada temprana respecto a la tardía se debió al tipo de escaldaduras presentes en el fruto en dichas temporadas (**Figura III.5**).

III.3.2.3. Síntomas de daño por frío en el tejido interno

Como síntomas de daño por frío interno se observó el pardeamiento de las semillas y de la pulpa, y la temporada de cosecha influyó en los mismos.

En los frutos cosechados en la temporada intermedia la aparición de los síntomas de daño por frío internos se vio retrasada respecto al resto de las temporadas, siendo aún más marcado este retraso en los frutos E1 (**Figura III.8**). Estas relaciones concordaron con lo observado a nivel superficial en estos frutos. Así, se confirmó que los frutos E1 fueron más resistentes al daño por frío que los E2, tanto a nivel externo como interno. En todos los casos se observó primero un pardeamiento de la semilla y luego de la pulpa.

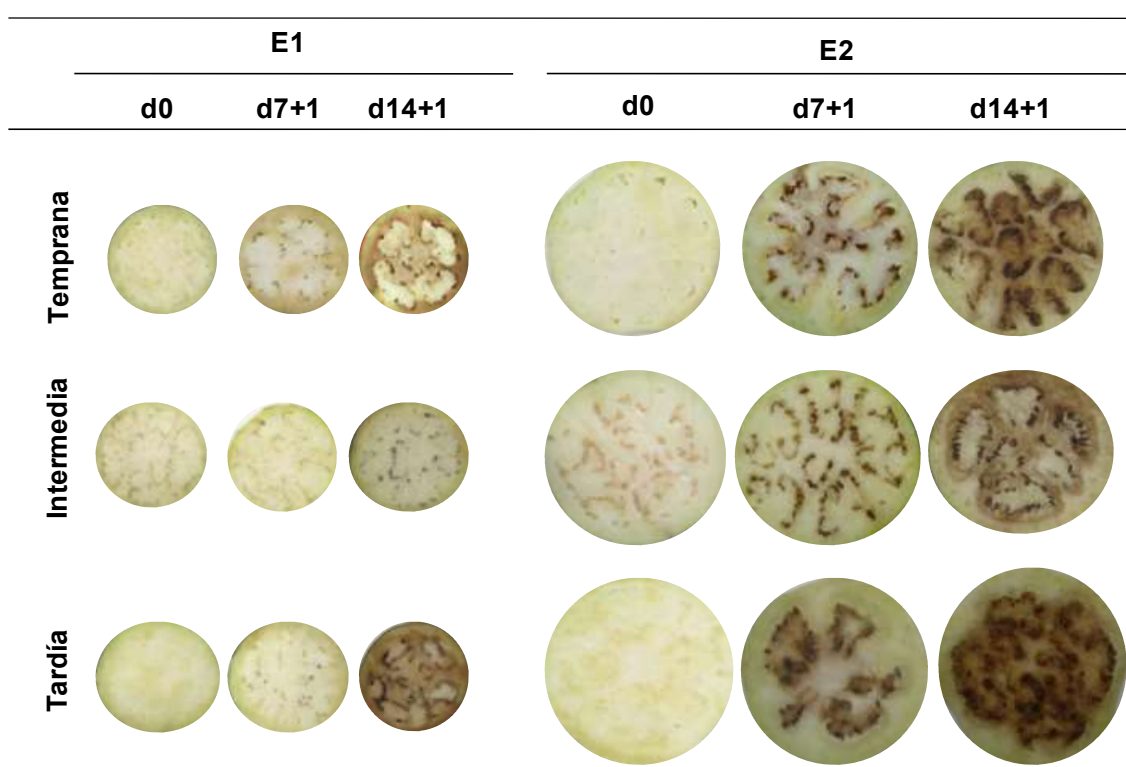


Figura III. 8. Apariencia interna de las rodajas de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía, y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Dicho daño se cuantificó mediante la determinación de la luminosidad, L^* (**Figura III.9**). Los frutos E1 no se pardearon al día 7+1y por tanto el valor de L^* se mantuvo constante. Mientras que, la mayor disminución en el valor del L^* se observó al final del almacenamiento en la temporada tardía que fue de aproximadamente el 25%; mientras que los frutos cosechados en la temporada temprana e intermedia llegaron a una

disminución de la luminosidad de 13% y 6%, respectivamente. (**Figura III.9**). Por otro lado, para los frutos del E2, la disminución del L^* fue más gradual, se observaron diferencia en los valores respecto a la temporada de cosecha de forma más anticipada que en los frutos E1, en concordancia con lo observado a nivel superficial. Es de destacar que los frutos E2 presentaron semillas más grandes y su pardeamiento fue más incipiente (**Figura III.8**). Interesantemente, hacia el final del almacenamiento no se encontraron grandes diferencias en la disminución del L^* con la temporada de cosecha, entre un 24-26%, pero si cabe destacar que al día 7+1 los frutos de la temporada tardía ya presentaron una disminución de alrededor de un 10%, respecto a un 6% para los de temprana e intermedia, indicando un daño anticipado de los frutos de temporada tardía (**Figura III.9**). Esto también se correlacionó con lo observado visualmente para el daño interno.

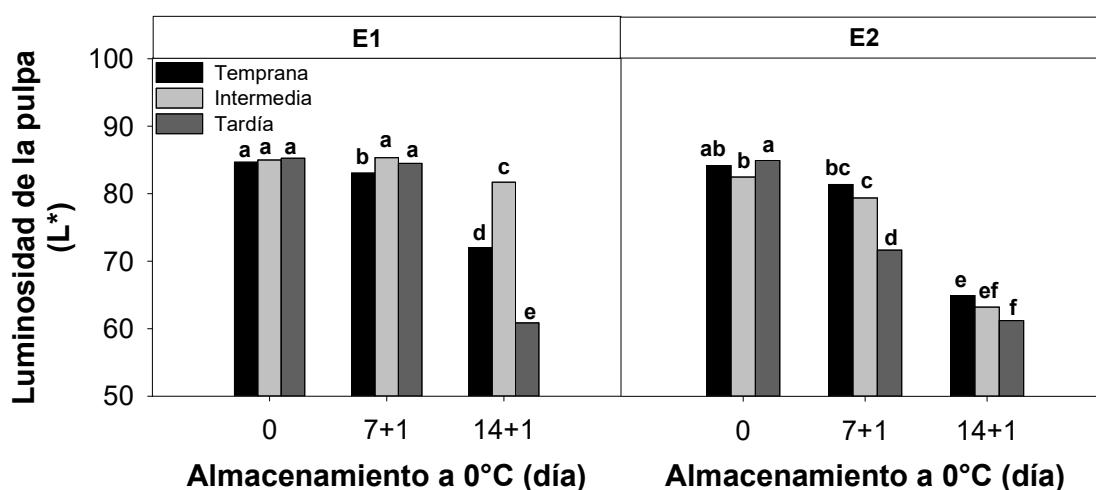


Figura III. 9. Luminosidad de la pulpa de berenjena baby (E1) y comercial habitual (E2) cosechadas en las temporadas temprana, intermedia y tardía y almacenadas durante 0, 7 y 14 días a 0 °C más un día adicional a 20 °C (0, 7+1 y 14+1). Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

El mayor daño por frío, tanto externo como interno, observado para los frutos de la temporada tardía podrían ser los responsables de la mayor pérdida de peso de los mismos.

Por otro lado, se sabe que el daño por frío comienza induciendo la producción de especies reactivas al oxígeno (ROS) y un estrés oxidativo adicional (**Concellon y col., 2007; Chen y Yang, 2013**). Los compuestos fenólicos, incluidos el ácido clorogénico y las antocianinas presentes en la berenjena, son bien conocidos como secuestradores de radicales libres (**Gürbüz y col., 2018**). Podría pensarse que los niveles más altos de

estos compuestos hallados en el capítulo II en la piel y pulpa de los frutos cosechados en la temporada intermedia, principalmente en el E1, podrían relacionarse con su mayor tolerancia al daño por frío superficial y en la pulpa de los mismos. A su vez, los compuestos fenólicos también son sustratos de las enzimas polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POX), pero debe suceder la ruptura de la integridad celular para que el pardeamiento progrese (**Concellon y col., 2007**). En virtud de ello, los frutos de temporada intermedia presentarían una mayor integridad celular a diferencia de aquellos frutos de temporada tardía. Previamente en el capítulo II, se observó que los frutos de temporada tardía mostraban una desorganización celular importante. Esto podría conducir también a alteraciones en la fluidez de sus membranas y con ello una mayor susceptibilidad al daño por frío. Este aspecto debería ser estudiado en mayor profundidad. Finalmente, la exposición a bajas temperaturas previa a la cosecha en frutos sensibles al daño por frío tales como palta, banana, cítricos, mango, melones y tomate, ha aumentado la susceptibilidad al desarrollo de daño por frío durante el almacenamiento en la postcosecha (**Kader, 2013; Wang y Wallace, 2004**). En la temporada tardía se registraron temperaturas mínimas inferiores a los 10°C (**capítulo II, Figura II.3.B**), por lo que, en este sentido, una explicación posible del daño precoz de la pulpa de estos frutos durante el almacenamiento poscosecha a 0 °C es que podría deberse a un cierto nivel de daño por frío sufrido en el campo, previo a la cosecha, y al sumarse al daño en la poscosecha termina adelantando los síntomas visibles.

Otros aspectos tales como modificaciones en los niveles de poliaminas y solutos compatibles como la prolina también han sido relacionados con alteraciones en la respuesta frente al daño por frío (**Cao y col., 2016; Verbruggen y Hermans, 2008**). El carácter catiónico de las poliaminas actuaría estabilizando las membranas celulares y así retrasarían su degradación y el consecuente avance de los síntomas de daño por frío. Asimismo, una mayor relación de ácidos grasos insaturados/saturados mejora la tolerancia a este tipo de daño (**Wang, 1994**). Es por ello, que frente a la notoria diferencia de comportamiento entre berenjenas de tamaño E1 y E2 es necesario seguir avanzando con mayores estudios que permitan una más amplia interpretación de los mismos.

III. CONCLUSIONES PARCIALES

- A 10 °C, si bien los frutos presentaron una calidad tal que eran consumibles, los frutos de ambos tamaños cosechados en la temporada temprana y tardía se deterioraron más, debido a una mayor deshidratación. A su vez, en la temporada temprana los frutos mostraron una pérdida de firmeza más rápida.
- A 0 °C, temperatura de daño por frío, los frutos de la temporada temprana y tardía también fueron los que presentaron la menor calidad poscosecha, debido principalmente a la mayor susceptibilidad a la aparición de pardeamiento interno y escaldaduras superficiales. Es de destacar que los frutos pequeños, o E1, fueron más tolerantes al daño por frío que los más grandes, o E2 en todas las temporadas analizadas.
- Independientemente de los mecanismos involucrados, los resultados observados en las variaciones de la calidad de los frutos durante el almacenamiento muestran claramente diferencias entre las berenjenas de los extremos de la temporada de cosecha (temprana y tardía) con respecto a la intermedia. Así, las berenjenas cosechadas en la temporada intermedia tienden a almacenarse mejor tanto a la temperatura recomendada (10 °C) como en las condiciones de daño por frío (0 °C), y que alargan una semana la vida útil de las berenjenas de tamaño comercial.

La temporada de cosecha no solo presentó efectos sobre la calidad integral del fruto a cosecha, sino también tuvo efectos importantes en las respuestas de los frutos al almacenamiento poscosecha. Los frutos cosechados en la temporada intermedia presentaron el mejor comportamiento poscosecha a 10 °C y la menor sensibilidad al daño por frío. A su vez, en todos los casos, los frutos baby o E1 presentaron la mayor tolerancia al daño por frío. Esta información es de gran utilidad para los productores a la hora de comercializar la berenjena en diferentes tamaños de crecimiento, si bien la temperatura recomendada es de 10 °C, pero para frutos baby podría considerarse un almacenamiento a menor temperatura en caso de ser necesario.

Capítulo IV:

“Elaboración de berenjena deshidratada en polvo y
selección del reemplazo adecuado para la
formulación de un pan”

IV.1. INTRODUCCIÓN

Las frutas y verduras son componentes importantes de una dieta saludable y su consumo diario en cantidades adecuadas (400 g por día) pueden prevenir el desarrollo de enfermedades crónicas importantes como la enfermedad cardiovascular y ciertos tipos de cáncer, entre otros beneficios para la salud (**Loke y col., 2016; Temple y Gladwin, 2003; Willett, 1994**). En particular la berenjena, es una fuente rica en fibras y antioxidantes de naturaleza fenólica, y presenta propiedades benéficas para la salud como ya se mencionó en otras oportunidades, por lo que potenciar su consumo es de gran interés.

Las Guías Alimentarias para la Población Argentina, elaboradas por el Ministerio de Salud de la Nación (MSAL) en el 2016, recomiendan un consumo diario de 5 porciones de frutas y verduras variadas en tipo y color (una porción equivale a medio plato de verduras o una fruta chica); sin incluir a las hortalizas feculentas (papa, batata, mandioca y choclo), que deben consumirse con moderación. Sin embargo, el consumo actual en la Argentina se encuentra muy por debajo de esta meta. Según la Encuesta Nacional de Factores de Riesgo 2019, solo el 6% de la población adulta cumple dicha recomendación por otro lado, según la Encuesta Mundial de Salud Escolar realizada en 2012 por el Ministerio de Salud de la Nación, de la población adolescente de entre 13 y 15 años, sólo el 18% cumple con la recomendación. A su vez, la Organización Mundial de la Salud, declaró que incrementando el consumo de frutas y verduras de manera suficiente, podrían salvarse 1,7 millones de vidas (**Hobbs y col., 2014**).

En contrapartida, en todo el mundo, la cantidad de frutas y hortalizas producidas es mucho mayor que la comercializada, por lo tanto, en la etapa posterior a la cosecha, las pérdidas son de hasta un 50% de la producción primaria total. Es así que, se descartan toneladas de vegetales frescos debido al incumplimiento de los parámetros de calidad comercial del producto (forma, tamaño, color, deterioro) (**Gustauson y col., 2012**) en las distintas etapas entre su cosecha y el correspondiente consumo. La berenjena no queda exenta de dicha problemática. Por ello, una alternativa para la disminución de pérdidas y aprovechamiento de las mismas, es procesarla, y ofrecerla como un subproducto con el consecuente agregado de valor al fruto fresco e incremento de su consumo. La industria alimentaria puede emplear estos subproductos como ingredientes funcionales en diversos alimentos, incluyendo los productos de panadería (**Boubaker y col., 2016; Nour y col., 2015**), hecho que ha presentado un gran auge en los últimos tiempos.

El procesamiento de vegetales para su posterior incorporación en una matriz alimentaria puede inducir cambios en las propiedades fisicoquímicas de los mismos

(**Muthukumarappan y col., 2018**). Uno de los procesos de valor agregado más utilizado es el secado, como se mencionó en la introducción **sección 2.1.1**; el mismo permite aumentar la vida útil del producto disminuyendo la actividad acuosa, microbiológica y enzimática, y las reacciones fisicoquímicas durante el almacenamiento (**Russo y col., 2013**). Sin embargo, debe seleccionarse correctamente la técnica de secado según el objetivo buscado. Por ejemplo, se sabe que el uso de aire caliente o vacío reduce el valor nutricional de los vegetales (**Gümüşay y col., 2015**) y el detrimento es mayor conforme se emplean mayores temperaturas (**Uthumporn y col., 2016; Uthumporn y col., 2015**). Esto presenta una gran relevancia en productos como la berenjena, donde el empleo de altas temperaturas llevaría a una descomposición de sus compuestos antioxidantes de naturaleza fenólica (**Larrauri y col., 1997; Shahidi y Ambigaipalan, 2015**). Así, **Hung y Duy (2012)**, observaron una disminución del 89% en el contenido de los fenoles totales de berenjena secada por aire caliente respecto a las liofilizadas. Asimismo, en un trabajo previo, (**Zaro y col., 2015a**), hallaron que los procesos de secado con aire caliente a 50 o 70 °C provocaron una disminución respectiva del 86 y 98% del ácido clorogénico, y del 79 y 91% de la capacidad antioxidante. Del mismo modo, el secado solar y por vacío provocaron drásticos descensos de los compuestos bioactivos de berenjena. Mientras que, en el mismo estudio, se halló que la liofilización mantuvo notablemente la integridad de dichos compuestos. **Keinänen y Julkunen-Tiitto (1996)** informaron, además, que la liofilización podría incrementar la eficiencia de extracción de compuestos fenólicos. Es así que la liofilización es una técnica recomendada a la hora de querer preservar los compuestos antioxidantes de naturaleza fenólica al evitar su alteración por exposición al calor.

Dentro de los productos panificados, el pan resulta ser una matriz muy interesante para estudiar la incorporación de un ingrediente funcional, debido a que es un alimento básico. Argentina, es uno de los países latinoamericanos donde más importancia se le da al pan dentro de la dieta habitual. En el 2010 se estimó un consumo per cápita de 71 kg por año (**Lezcano, 2011**), por lo que incorporar berenjena en polvo a dicho producto, podría ser una forma de incrementar el consumo de este vegetal en un amplio espectro de edades de la población. Debe recordarse que, como se mencionó en la introducción general, la ausencia de gluten y almidón en berenjena, conlleva a ser complementada necesariamente con harina de trigo, pero no en cualquier proporción. Las proteínas gliadinas y gluteninas presentes en la harina de trigo, son las responsables de la formación de la red de gluten y consecuentemente de la calidad panadera del producto final (**Correa, 2012**). Es por esto que las mismas deben encontrarse presentes en la masa en una proporción adecuada para lograr el correcto desarrollo de la red viscoelástica (**Belton, 2003**). En virtud de ello, se debe tener presente que la adición de

berenjena en polvo seguramente afectará las propiedades reológicas y de cocción de la formulación panadera. Se conoce, por ejemplo, que panes ricos en fibra, como sería el caso de panes con agregado de berenjena, se caracterizan por presentar un volumen reducido y una miga compactada en comparación con el pan tradicional (**Miś y col., 2012**). Es así que los métodos reológicos juegan un papel fundamental en la resolución efectiva de esos problemas para hallar el reemplazo y las condiciones óptimas para la formulación.

Podemos encontrar algunos trabajos en donde elaboran panes enriquecidos con ciertas hortalizas, pero principalmente su formulación se encuentra basada en la calidad y aceptación sensorial de los mismos. En este sentido, **Hobbs y col. (2014)** evaluaron la aceptación por parte de consumidores de panes con tomate, remolacha y pimienta agregados en forma de puré y/o cubos. Por otro lado, **Ranawana y col. (2016)** describen que un nivel de reemplazo del 10% de la harina de trigo por zanahoria, tomate, brócoli y remolacha liofilizadas fue el mayor nivel de reemplazo que no afectó las propiedades del pan, siendo seleccionado por sus atributos sensoriales. **Mastromatteo y col. (2012 a,b)** definieron primero el nivel de reemplazo de harina de trigo por pimienta amarilla en polvo en base a los atributos sensoriales, para luego optimizar las propiedades de la masa y calidad panadera del pan. También, **Frutos y col. (2008)** analizaron la calidad panadera y sensorial con distintos porcentajes de reemplazo de harina de trigo por alcaucil en polvo. Sin embargo, son escasos los trabajos en donde se estudie el efecto sobre el comportamiento reológico de la masa. En este sentido, **Wang y col. (2002a)** estudiaron la adición de diferentes vegetales en polvo a un pan y su efecto sobre el comportamiento reológico de la masa, pero emplearon un único porcentaje de reemplazo lo que no les permitió llegar a una condición óptima. Como así también, un factor en común en dichos trabajos, es que no estudiaron las propiedades de hidratación, tales como la capacidad de retención de solventes y la absorción de agua farinográfica, de los vegetales en polvo empleados en cada caso, lo cual es la base para entender el comportamiento reológico posterior de las masas.

Para el caso de la berenjena, los estudios hallados en donde se adicione a productos panificados son escasos. Así se han evaluado distintos porcentajes de reemplazo y su efecto en la calidad de galletitas (**Perez y Germani, 2007; Uthumporn y col., 2015**). Mientras que, en panes los estudios son descriptivos, y se basan en una única formulación y su efecto sobre la aceptabilidad y calidad sensorial (**Mastromatteo y col., 2012a; Muresan y col., 2012**). En ellos, no se analiza el efecto de distintos niveles de reemplazos sobre las propiedades reológicas de la masa ni sobre la calidad panadera.

Por lo tanto, el objetivo de este capítulo fue elaborar un polvo a partir de berenjena deshidratada y caracterizarlo. Adicionarlo a un pan y estudiar el nivel de reemplazo adecuado y las propiedades reológicas de la masa, para optimizar su elaboración.

IV. 2. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.2.1. Material de partida

La harina de trigo empleada fue del tipo 0000 y provista por Molino Campodónico Ltda. (La Plata, Argentina). Durante el período del trabajo de tesis, la harina fue fraccionada en recipientes plásticos con cierre hermético (5 kg) y conservada en cámara a 0 °C. Por otro lado, para la elaboración de berenjena en polvo, ~10 kg de berenjenas violetas (*Solanum melongena* L.) de un tamaño comercial (17 cm de longitud) fueron adquiridas de un cultivo de la zona de La Plata, Argentina, y procesadas inmediatamente. A su vez para las formulaciones se empleó: sal fina de mesa (Dos Anclas), levadura en polvo (Levex), extracto de malta (Fleibor) y margarina clásica (Dánica).

IV.2.2. Métodos

IV.2.2.1. Elaboración de berenjena en polvo

Las berenjenas fueron lavadas, secadas y se les retiró el cáliz. Luego se cortaron en rodajas, congelaron en nitrógeno líquido y se secaron por 48 h en un liofilizador (RIFICOR, Argentina) a una presión de 1,6 mmHg y una temperatura de la placa de condensación de -50 °C. Finalmente, se trituraron en un molinillo (Peabody, PE-MC9100, China) para obtener el polvo. Posteriormente, se tamizó en una malla de 500 µm en la que se retuvieron las partículas más grandes. Finalmente, el producto de berenjena en polvo obtenido presentó un color de base dado por la pulpa del tejido y pequeñas secciones de piel que se visualizaron a simple vista, y en conjunto con una granulometría menor o igual a 500 µm. Asimismo, una parte de los frutos cortados en rodajas y congelados, se almacenaron en -80 °C sin ser liofilizados para su posterior análisis del contenido de antioxidantes.

IV.2.2.1.1. Composición porcentual

Se determinaron el contenido de humedad, lípidos, proteínas, cenizas, azúcares solubles, fibra dietaria total, fibra dietaria insoluble y soluble por diferencia.

IV.2.2.1.1.1. Humedad

La determinación de humedad se realizó por gravimetría, de la misma manera que se describió la determinación de materia seca en la sección **I.2.3.6**. Las muestras de berenjena en polvo (0,1 g) y de harina de trigo (1 g) se secaron en estufa (DHACEL HD 22) a 105 °C hasta peso constante. El ensayo se realizó por triplicado. El porcentaje de

humedad se calculó por diferencia de peso medido antes y después del calentamiento de la muestra de acuerdo a la ecuación:

$$H(\% p. h) = \frac{(m - ms)}{m} \times 100$$

Donde:

m = masa inicial de muestra (antes del secado) en base húmeda

ms = masa de muestra después del secado

El resultado se expresó como g/100 g peso húmedo (% p.h).

IV.2.2.1.1.2. Lípidos

La determinación de lípidos en las muestras de berenjena en polvo y harina de trigo se realizó según la técnica AOAC 963.15 con leves modificaciones. El método consiste en una extracción semicontinua, empleando el Soxhlet, de los lípidos de la muestra mediante un solvente orgánico, en este caso éter de petróleo de punto de ebullición entre 35-60 °C, Para ello, la muestra previamente secada y pesada (2 g de berenjena en polvo y 5 g de harina de trigo) se colocó dentro de un cartucho de papel de filtro y dentro del tubo extractor del equipo. Se conectó un balón, previamente pesado, y por la parte superior del tubo extractor se adicionó un volumen tal de éter de petróleo hasta completar una sifonada y media del tubo extractor, la extracción se llevó a cabo durante 3 h (tiempo en el que ocurrieron al menos 7 ciclos de llenado y sifonado del tubo extractor). Finalmente, se evaporó todo el solvente del balón mediante rotavapor (Büchi R-124, Labortechnik AG, Flawil, Suiza) (40 °C, 40 rpm, 180-200 mmHg, 20 min), se secó en estufa (DHACEL HD 22) y se pesó el residuo (extracto etéreo). Las determinaciones se realizaron por triplicado. El porcentaje de lípidos se calculó como:

$$\text{Lípidos}(\%p.s) = \frac{(m_1 - m_0)}{m} \times 100$$

Donde:

m₁ = masa del balón con extracto etéreo luego de evaporado el solvente (g)

m₀ = masa del balón vacío (g)

m = masa de la muestra en base seca (g)

El resultado se expresó como g/100 g peso seco (% p.s)

IV.2.2.1.1.3. Proteínas

La determinación del contenido de proteínas se realizó por el método de Kjeldahl de acuerdo a la AOAC 920-152. En este método se determina el contenido de nitrógeno

total. La digestión de la materia orgánica de 1 g de berenjena en polvo y de harina de trigo, previamente desgrasadas (muestra remanente luego de la determinación de lípidos), se realizó con H₂SO₄ concentrado, en presencia de la mezcla catalizadora K₂SO₄ anhidro y Cu₂SO₄·5H₂O en relación 10:1 en un digestor (BÜCHI K-435, Suiza). Una vez finalizada esta etapa se procedió a la liberación del amonio formado como amoniaco, empleando NaOH 32% p/v en un equipo semiautomático (BÜCHI K-350, Suiza), y se destiló sobre 50 mL de H₃BO₃ 4% p/v en presencia de indicador de Mortimer. Se valoró directamente el borato de amonio formado utilizando HCl 0,09979 N. Se realizó un blanco para evaluar la posible presencia de compuestos nitrogenados en los reactivos empleados. Se determinó por duplicado. El porcentaje de nitrógeno se calculó como:

$$Proteína(\% p.s) = (V_{HCl} - V_b) \times N_a \times 0,014 \times F \times \left(\frac{100}{m}\right)$$

Donde:

V_{HCl}= volumen de HCl gastado para titular la muestra (mL)

V_b= volumen de HCl gastado para titular el blanco (mL)

N_a= normalidad del HCl usado para titular

0,014= peso del miliequivalente de N (g)

F= factor de conversión de nitrógeno a proteína (en este caso se utilizó 6,25)

m = masa de muestra en base seca (g)

El resultado se expresó como % p.s.

IV.2.2.1.1.4. Cenizas

Se determinó el contenido de cenizas empleando el método directo según AOAC 900.2 basado en la oxidación completa de la materia orgánica, quedando las cenizas como residuo. Se pesaron 0,2 g de berenjena en polvo y 1 g de harina de trigo, por separado, en una cápsula de porcelana previamente calcinada y pesada. Las muestras se carbonizaron con mechero en triángulo de pipa y luego se calcinaron a 550 °C en una mufla (INDEF Mod. 331, Hornos Eléctricos S.A., Argentina) hasta obtención de residuo blanquecino y peso constante. La determinación se realizó por duplicado. El contenido de cenizas se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$Cenizas(\% p.s) = (m_a - m_b) \times \left(\frac{100}{m}\right)$$

Donde:

m_a = masa de cápsula + muestra calcinada (g)

m_b = masa de cápsula vacía (g)

m = masa de muestra en base seca (g)

El resultado se expresó como % p.s.

IV.2.2.1.1.5. Azúcares solubles: glucosa, fructosa y sacarosa

Para la extracción y determinación de los azúcares solubles por HPLC se realizó la técnica descrita por **Eliasson y Gudmundsson (2006)** con modificaciones. Para ello, se colocaron en tubos Falcon de plástico con tapa a rosca 1 g de muestra (berenjena en polvo y harina de trigo, de forma separada) y 13 mL de H₂O calidad miliQ, se agitó durante 10 min. Luego se adicionó 1 mL de solución Carrez I (3,6 g K₄[Fe(CN)₆].3H₂O / 100 mL H₂O) y 1 mL de solución de Carrez II (7,2 g ZnSO₄.7H₂O); se agitó en un agitador magnético con placa calefactora (Barnstead Thermolyne Cimarec, Estados Unidos) durante 30 min a 70 °C y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Luego, se le agregaron 10 mL de acetonitrilo y se centrifugó la muestra 10 min a 1900 × g (Sorvall SR 5B). El sobrenadante se filtró con membranas de 0,45 µm (OSMONICS INC.) y fue empleado para determinar azúcares solubles por HPLC (Hewlett-Packard, CA, Estados Unidos) equipado con un detector de índice de refracción (Water, IR 2114). La separación isocrática de los azúcares fue realizada a un flujo de 1,2 mL/min a través de una columna Hypersil Gold Amino (4,6 x 250 mm, 5 µm; columna Bridge, Estados Unidos). Una solución de acetonitrilo-agua (75:25) fue utilizada como fase móvil. El tiempo de corrida fue de 15 min, registrándose los siguientes tiempos de retención: 4,6, 5,4, y 7,3 min para fructosa, glucosa y sacarosa, respectivamente. Las medidas se hicieron por duplicado. Glucosa, fructosa y sacarosa (Sigma Aldrich, Missouri, Estados Unidos) fueron usados como estándares y los resultados se expresaron en %p.s.

IV.2.2.1.1.6. Fibra dietaria total

Se determinó el contenido de fibra dietaria total (FDT) de la muestra según AOAC 985.29, utilizando el método enzimo-gravimétrico. A la muestra de 1 g de berenjena en polvo y de harina de trigo por separado, se le adicionó buffer fosfato (NaH₂PO₄, Na₂HPO₄, 1N, pH=6), luego fue tratada con 50 µL de α-amilasa termoestable (3000 U/mL) a 100 °C por 30 min para hidrolizar el almidón. Posteriormente, se ajustó el pH a 7,5±0,1 con NaOH (1N), se adicionó 100 µL de proteasa (50 mg/mL) para eliminar las proteínas y se incubó a 60 °C durante 30 min. Luego el pH se ajustó en 4,5±0,2 con HCl (1N), se agregó 200 µL de amiloglucosidasa (3300 U/mL) para terminar de hidrolizar almidón y, nuevamente, se incubó a 60 °C durante 30 min. Posteriormente, se precipitó la fibra dietaria (FD) por adición de 280 mL etanol 95% v/v y se reposó durante 1 h. Transcurrido ese tiempo la FD fue filtrada y lavada en pasos sucesivos con etanol 78%,

etanol 95% y acetona pura. Posteriormente fue secada a 105 °C en estufa (DHACEL HD 22) y pesada. La extracción se efectuó por duplicado. A uno de los residuos de FD se le determinó el contenido de cenizas incinerando la muestra a 550 °C, y al otro se le determinó contenido de proteínas remanente por el método de Kjeldahl. La FDT se determinó como el peso de la fibra dietaria filtrada (FD%) al que se le descontó el contenido de proteínas (P%) y cenizas (C%):

$$FD\% = (M_1 - M_0) \times \frac{100}{m}$$

$$P\% = V_{HCl} \times N_{HCl} \times P_{meq} \times Fx \left(\frac{100}{M_1 - M_0} \right)$$

$$C\% = \left(\frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \right) \times 100$$

$$FDT\% = FD\% - (P\% - C\%)$$

Donde:

M_1 = masa del filtro con celite junto con el residuo de fibra dietaria (g)

M_0 = masa del filtro con celite (g)

m = masa de muestra de harina en base seca (g)

M_2 = masa del filtro con celite junto a las cenizas (g)

V_{HCl} = volumen de HCl gastados en la titulación de la muestra (mL)

El resultado se expresó como % p.s.

IV.2.2.1.1.7. Fibra dietaria insoluble y soluble

Para determinar la fibra dietaria insoluble (FDI) se utilizó la misma técnica que para la realización de fibra dietaria total (**sección IV.2.2.1.1.6**), con la diferencia que no se precipita la fibra soluble con etanol al 95% lo que hace que no quede retenida en los filtros y no se cuantifique en la pesada. La fibra dietaria soluble (FDS) se determinó por diferencia de la fibra dietaria total (FDT) y la insoluble (FDI).

IV.2.2.1.2. Isotermas de adsorción

Esta metodología no mide directamente la actividad acuosa de las muestras; lo que hace es generar, por medio de soluciones salinas saturadas, una atmósfera de humedad relativa constante en un espacio cerrado (o actividad de agua constante) del aire que está por sobre la solución, lo que “fuerza” a la muestra a variar su masa, en nuestro

caso absorbiendo agua, hasta lograr el equilibrio y lograr la misma actividad de agua que el medio circundante. El parámetro que se determina es el contenido de humedad de la muestra en dicho equilibrio. Las isotermas de adsorción de agua a 10, 20 y 40 °C se determinaron mediante el método **Rahman (2009)** con leves modificaciones. Las temperaturas se seleccionaron en el rango desde la refrigeración hasta el almacenamiento en condiciones ambientales. Se prepararon nueve soluciones salinas saturadas (suspensiones), que generaron atmósferas constantes de a_w , para el equilibrio de la muestra siguiendo el método AOAC 978.18 (**AOAC, 1998**). Los valores de a_w correspondientes a cada temperatura se encuentran en la **Tabla IV.1 (Quintero Ruiz, 2015)**.

Tabla IV. 1. Actividad acuosa de las soluciones saturadas de sal utilizadas a distintas temperaturas.

Soluciones de sal	Temperatura (°C)		
	10 °C	20 °C	40 °C
NaOH	0,096	0,089	0,063
LiCl	0,113	0,113	0,112
KC ₂ H ₃ O ₂	0,245	0,234	0,208
MgCl ₂	0,340	0,330	0,320
K ₂ CO ₃	0,431	0,432	0,433
Mg(NO ₃) ₂	0,574	0,544	0,484
NaNO ₂	0,654	0,654	0,614
NaCl	0,760	0,754	0,747
KCl	0,879	0,867	0,843

Dichas soluciones se colocaron en el fondo de los frascos de vidrio sellados de 200 mL, que también contenían un soporte plástico para colocar la muestra. Se colocaron 0,2 g de berenjena en polvo, previamente secada en estufa de vacío (Yiheng, Cina) a 70 °C y 50 mmHg, en cajas de Petri de vidrio sobre los soportes plásticos, y luego los frascos se cerraron (**Figura IV.1**). Para los sistemas con a_w mayor que 0,75 se introdujo un Eppendorf conteniendo 1 mL de tolueno, con el objetivo de evitar el crecimiento de microorganismos en la muestra (**Rahman, 2009**). Por cada condición de a_w se prepararon triplicados, es decir tres frascos para cada sal. La temperatura de los sistemas se controló, ubicando los frascos en cuartos de temperatura controlada a 10 y 20 °C y en una estufa de convección natural a 40 °C. Durante el tiempo de ensayo los frascos se abrieron periódicamente para pesar las muestras, y se consideró que el equilibrio se había alcanzado cuando la variación en la humedad de las muestras era

menor a 0,003 kg de agua/kg de materia seca, que es el error aceptado para las determinaciones de humedad en estufa (**Lomauro y col., 1985**).



Figura IV. 1. Frascos preparados para las isotermas.

Para ajustar los datos experimentales se emplearon 5 modelos habitualmente utilizados en alimentos: GAB (**Hossain y col., 2001**), Halsey (**Kaya y Kahyaoglu, 2005**), Oswin (**Kaya y Kahyaoglu, 2005; Kaymak-Ertekin y Gedik, 2004**), Iglesias-Chirife (**Hossain y col., 2001**) y Leiva Díaz (**Leiva Díaz y col., 2009**) (**Tabla IV.2**).

Tabla IV. 2. Modelos empleados para las isotermas.

Modelos	Ecuaciones
GAB	$W = \left(\frac{W_M C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)} \right)$
Halsey	$He = \left(\frac{-A}{\ln(a_w)} \right)^{1/B}$
Oswin	$He = \left(\frac{D}{\left(\left(\frac{1}{a_w} \right) - 1 \right)^F} \right)$
Iglesias-Chirife	$He = A_1 * \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right) + B_1$
LeivaDíaz	$He = C_1 \exp(C_2 a_w^{C_3})$

He: contenido de humedad de equilibrio (kg agua/ kg materia seca). A, B, D, F, A₁, B₁, C₁, C₂, C₃, k, W_M: constantes. a_w: actividad acuosa.

La bondad de ajuste de los modelos fue evaluada en términos del coeficiente de determinación r² y del error cuadrático medio E_{CM} calculados como se detalla a continuación:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_e - H_c)^2}{\sum_{i=1}^n (H_e - H_{em})^2}$$

$$E_{CM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_e - H_c)^2}{n_p - p}}$$

Donde:

H_e , H_c y H_{em} = contenidos de humedad experimentales, calculados y experimental medio, respectivamente

N_p = número de puntos experimentales

p = el número de parámetros ajustados.

Todos los parámetros de las ecuaciones fueron obtenidos mediante la técnica de regresión no lineal utilizando el programa OriginPro 9® de OriginLab® como así también la evaluación del error cuadrático medio.

IV.2.2.1.3. Contenido de antioxidantes

La capacidad antioxidante, el contenido de fenoles totales, el ácido clorogénico y de antocianinas totales fueron determinados en muestras de berenjena fresca y en polvo, y de harina de trigo. A su vez, muestras de berenjena en polvo (0,1 g) se almacenaron a 0, 30 y 40 °C por 45 días y se les determinó la capacidad antioxidante al inicio y al final del almacenamiento para determinar el % de retención de la misma.

-Capacidad antioxidante, fenoles totales y ácido clorogénico: para realizar los extractos las muestras de fruto fresco (1 g), previamente congelada en N₂ líquido y triturada, de berenjena en polvo (0,1 g) y de harina de trigo (0,5 g), se homogeneizaron con 5 mL de metanol al 70% y se sonicaron (BRANSON 2510) durante 20 min. La suspensión se centrifugó a 13.000 x g durante 15 min a 3 °C (Thermo Scientific Sorval ST 16R). El sobrenadante se recogió y el precipitado se volvió a extraer en condiciones similares. Las extracciones se realizaron por duplicado. Posteriormente, el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante se determinaron según **Zaro y col. (2014)**, con leves modificaciones, empleando el radical estable ABTS^{•+} y el reactivo de Folin-Ciocalteu, según lo detallado en las **secciones I.2.3.10.3y I.2.3.10.2**, respectivamente.

El contenido de ACG se determinó espectrofotométricamente a 330 nm de acuerdo a **Luthria (2012)** con leves modificaciones según lo detallado en la **sección I.2.3.10.1**. Las mediciones se hicieron por triplicado, y los resultados se expresaron en mg/kg p.s.

-Contenido de antocianinas: la extracción y cuantificación de antocianinas se realizó de forma similar a lo descrito en la **sección I.2.3.9**, para ello, 1 g de fruto de berenjena (previamente congelado en N₂ líquido y triturado), 0,1 g de berenjena en polvo y 0,1 g de harina de trigo se extrajeron con metanol:HCl (99:1 v/v) tantas veces como fue necesario. Las suspensiones se centrifugaron a 5500 rpm durante 15 min a 3 °C (centrífuga Thermo Scientific Sorval ST 16R). El extracto se realizó por duplicado. El contenido de antocianinas se determinó espectrofotométricamente a 540 nm (en un espectrofotómetro UV-Mini Modelo 1240, Shimadzu Corporation, Japón) por duplicado. Los resultados se expresaron en mg/ kg p.s empleando el coeficiente de extinción molar de delfinidina-3-glucósido según **Sadilova y col. (2006)**.

IV.2.2.1.4. Capacidad de retención de solventes

La capacidad de retención de solvente (CRS) se determinó de acuerdo al método AACCS56-11.02 (2000). Se estudió la harina de trigo, de ahora en más llamada control, y los porcentajes de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo que se emplearon posteriormente para la elaboración de los panes: 5, 7,5 y 10% (en base a la harina total). Las muestras (1 g) se suspendieron con 5 g de agua, y soluciones acuosas de sacarosa al 50%, carbonato de sodio al 5% y ácido láctico al 5%. Las muestras se mezclaron con cada solvente, se hidrataron durante 20 min y se centrifugaron a 1000 ×g durante 15 min (Centrífuga Rolco, CM 2036.4). Se descartó el sobrenadante y se pesó cada precipitado obtenido (gel). Los ensayos se realizaron por triplicado.

La CRS se calculó empleando la siguiente ecuación para cada muestra y solvente empleado:

$$CRS(\%) = \left[\left(\frac{P_g}{P_h} \right) \times \left(\frac{86}{100 - H\%} \right) - 1 \right] \times 100$$

Siendo:

P_g= peso del gel obtenido (g)

P_h= peso de la muestra (g)

H%= humedad de la muestra

IV.2.2.2. Parámetros de optimización de masa-pan

Las pruebas predictivas para determinar las condiciones óptimas de elaboración de la masa son de gran importancia. Es necesario la realización del farinograma para calcular el tiempo de desarrollo (amasado) y la cantidad de agua a agregar; como así también, las curvas de fermentación para establecer el tiempo de fermentación requerido.

IV.2.2.2.1. Ensayo farinográfico

Se realizaron curvas farinográficas para el control, y para las mezclas con reemplazo parcial de harina de trigo por berenjena en polvo de 5, 7,5 y 10% en base a la harina total, en todos los casos con agregado de cloruro de sodio en una proporción de 2 g cada 100 g de harina total.

Los ensayos fueron llevados a cabo en un farinógrafo de Brabender (Brabender, Duigsburg, Alemania) con amasadora de 300 g de acuerdo al método IRAM 15885:2000. Este equipo mide la fuerza realizada por las paletas durante el mezclado a velocidad constante y la absorción de agua necesaria para alcanzar la consistencia deseada.

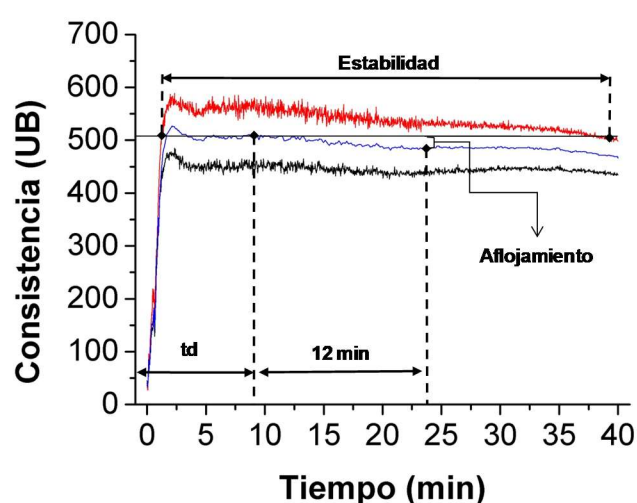


Figura IV. 2. Farinograma típico y obtención de los parámetros de una masa elaborada con harina de trigo y sal. Adaptado de **Salinas (2013)**.

A partir de los farinogramas se calcularon los siguientes parámetros (**Figura IV.2**):

-Absorción de agua: volumen de agua que se debe agregar para obtener una masa con consistencia máxima de 500 UB.

-Tiempo de desarrollo (td): tiempo necesario para alcanzar la consistencia máxima.

-Estabilidad: tiempo que transcurre desde que la parte superior de la curva supera los 500 UB hasta que cae por debajo de los 500 UB.

-Aflojamiento: diferencia de consistencia entre el punto de consistencia máxima y el punto alcanzado 12 min después.

IV.2.2.2. Curvas de fermentación

Se realizaron las curvas de fermentación para las masas control y aquellas con un reemplazo parcial de harina de trigo por berenjena en polvo en un nivel de 5, 7,5 y 10% (g de berenjena en polvo / 100 g de harina total) con el objeto de evaluar el comportamiento de las masas frente al leudado y determinar el tiempo óptimo de fermentación. Las masas consistieron en: harina de trigo y polvo de berenjena en el nivel de reemplazo correspondiente para cada formulación, NaCl (2 g / 100 g de harina total), levadura seca (2,5 g / 100 g de harina total), extracto de malta (2 g / 100 g de harina total) y margarina (8 g / 100g de harina total). La cantidad de agua añadida se seleccionó del ensayo farinográfico para el control y cada nivel de reemplazo.

Piezas de 50 g de masa se colocaron en probetas graduadas de 500 mL provistas de un émbolo móvil (**Figura IV.3**). Las mismas se colocaron en una cámara fermentadora a 30 °C (Brito Hnos, Argentina) y se midió el incremento del volumen de la masa en función del tiempo, cada 5 min durante la primera hora y luego cada 20 min hasta que el volumen de la masa comenzó a descender, lo cual demandó 4h totales. Se realizaron 3 masas para el control y cada nivel de reemplazo, y las mediciones se hicieron por triplicado para cada una de ellas.

Los datos se graficaron con el software OriginPro 8 (OriginLab Corporation, Estados Unidos) y las curvas se ajustaron mediante el modelo de Chapman. La selección de dicho modelo fue empírica, presentó mejor ajuste para las muestras analizadas:

$$V = V_{max}[1 - \exp(-bt)]^c$$

Donde:

V= incremento de volumen.

t = tiempo.

V_{max} = corresponde al incremento de volumen máximo alcanzado.

b y c = constantes.

El tiempo de fermentación (t_f) se definió como el tiempo requerido para alcanzar 3/4 del V_{max} , dado que durante el inicio de la cocción la masa continúa fermentando hasta establecerse su estructura.



Figura IV. 3. Probeta con ébolo empleada en la fermentación.

IV.2.2.3. Elaboración de los panes

La formulación empleada para cada una de las masas fue la detallada en la sección anterior (**sección IV.2.2.2**). En principio, se mezcló la harina de trigo, o mezcla de harina de trigo y berenjena en polvo, y la sal durante 1 min a 50 rpm en una amasadora planetaria (Kenwood, Treviso, Italia), luego se agregó la levadura seca, el extracto de malta, la margarina y el agua, y se mezcló durante 1 min más, a 50 rpm. Finalmente, se amasó a 90 rpm durante el tiempo restante para alcanzar el desarrollo de la masa (completando el tiempo de desarrollo requerido para cada caso). La cantidad de agua y el tiempo de desarrollo se determinaron mediante el ensayo farinográfico descrito en la **sección IV.2.2.1**. La masa obtenida se separó en piezas de 50 g, las cuales se dejaron reposar durante 15 min a temperatura ambiente cubiertas con una película de polietileno para evitar la deshidratación. Luego, se formaron los bollos manualmente y se colocaron en la fermentadora (Brito Hnos., Los Polvorines, Argentina) a 30 °C durante el tiempo de fermentación óptimo para cada formulación determinado de acuerdo a como se describió en la **sección IV.2.2.2**. Finalmente, la cocción de las piezas de masa fermentada se llevó a cabo en un horno eléctrico (White-Westinghouse W-CG18) durante 20 min a 200 °C, obteniendo panes completamente horneados.

IV.2.2.3.1. Calidad panadera

Los panes obtenidos como se detalla en la **sección IV.2.2.3** se dejaron enfriar a temperatura ambiente, y se les determinó su calidad panadera a través de diferentes ensayos: volumen específico, análisis de perfil de textura, color de corteza y miga, humedad y alveolado de la miga.

IV.2.2.3.1.1. Volumen específico del pan

El volumen específico de los panes se determinó con el método de desplazamiento de semillas de colza, utilizando una probeta graduada para registrar el cambio en el

-**Elasticidad**: es el grado en que un material sometido a una deformación retorna a su condición original luego de ser retirada la fuerza deformante. Es adimensional.

$$Elasticidad = D2/D1$$

-**Masticabilidad**: fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta, se expresa en N.

$$Masticabilidad (N) = F \times Cohesividad \times Elasticidad$$

IV.2.2.3.1.3. Color de corteza y miga

Se evaluó el color de la corteza y miga de los panes empleando un colorímetro (Minolta CR-400, Japón) del mismo modo que se describió en la **sección I.2.3.4**, se definieron las coordenadas L^* , a^* y b^* . Las medidas se realizaron por duplicado en diferentes zonas de 10 panes para cada formulación.

IV.2.2.3.1.4. Humedad de la miga

La humedad de muestras de miga (1,5 g) se determinó gravimétricamente tal como se describe en la **sección IV.2.2.1.3**. Se midieron diez panes de cada formulación. Los resultados se expresaron como % p.h.

IV.2.2.3.1.5. Área ocupada por alveolos

Se escanearon rodajas tangenciales de la parte media de los panes (Epson Stylus Tx115) y se analizaron mediante el software ImageJ 1.37 (National Institutes of Health, Bethesda, EE. UU.). Para ello, se recortó la parte central de las imágenes (**Figura IV.5.A**), se convirtieron a una escala de grises (**Figura IV.5.B**), luego, dentro de los filtros proporcionados por el software, se seleccionó el que permitió la mayor diferenciación entre los alveolos y la miga (Threshold) (**Figura IV.5.C**) para binarizar a la imagen (**Figura IV.5.D**) en zonas blancas (miga) y negras (alveolos). Se determinó el área ocupada por alveolos en %. Para estas mediciones, se fijó un límite inferior para el tamaño del alvéolo en $0,1 \text{ mm}^2$. Se analizaron al menos 10 rebanadas de panes distintos para cada formulación.

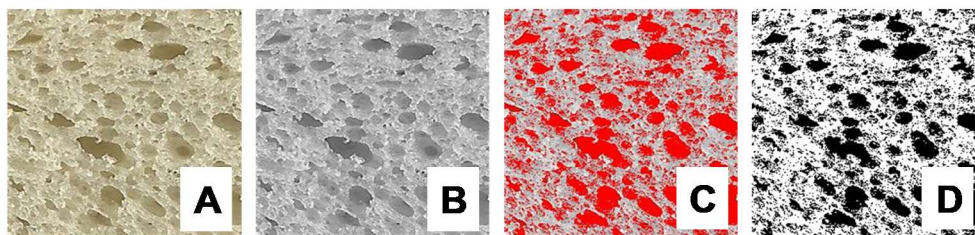


Figura IV. 5. Secuencia en el procesamiento de las imágenes de la miga: selección de la zona central de la imagen (A), escala de grises (B), aplicación del filtro adecuado (C) y binarización (D), mediante el empleo del software ImageJ 1.37.

IV.2.2.3.2. Análisis sensorial: ordenamiento por preferencia

El objetivo de este análisis fue que los evaluadores ordenen las tres formulaciones estudiadas con reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo (5, 7,5 y 10%) de izquierda a derecha, desde la que “*gusta más*” a la que “*gusta menos*”, para seleccionar el nivel de reemplazo con mayor aceptación, por ese mismo motivo no se agregó la formulación control, no se pretendía que la comparen con las de berenjena. Para ello, panes obtenidos como se detalló en la **sección IV.2.2.3**, una vez fríos, se cortaron en cuartos, y a cada evaluador se le entregó una bandeja con las tres muestras ordenadas en forma aleatoria.

Cada una de las bandejas contaba con tres números de tres dígitos elegidos al azar, cada uno correspondía a una muestra, y para cada bandeja el orden de las muestras cambiaba ya que se realizó una aleatorización. A cada evaluador conjuntamente con la bandeja se le entregó una planilla, un vaso de agua y un caramelo (**Figura IV.6**). Para la prueba se utilizaron 40 panelistas no entrenados (escala laboratorio).

Una vez obtenidos los resultados se calcularon las sumas de los ordenamientos para cada muestra y se evaluó estadísticamente con la ayuda del test de Friedman. Este test determina si las sumas de los ordenamientos totales para cada muestra difieren significativamente:

$$F = \frac{12}{Nk(k+1)}(R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_n^2) - 3N(k+1)$$

Donde:

N = número de evaluadores

k = número de muestras

R₁, R₂ = sumatoria de los ordenamientos de las muestras

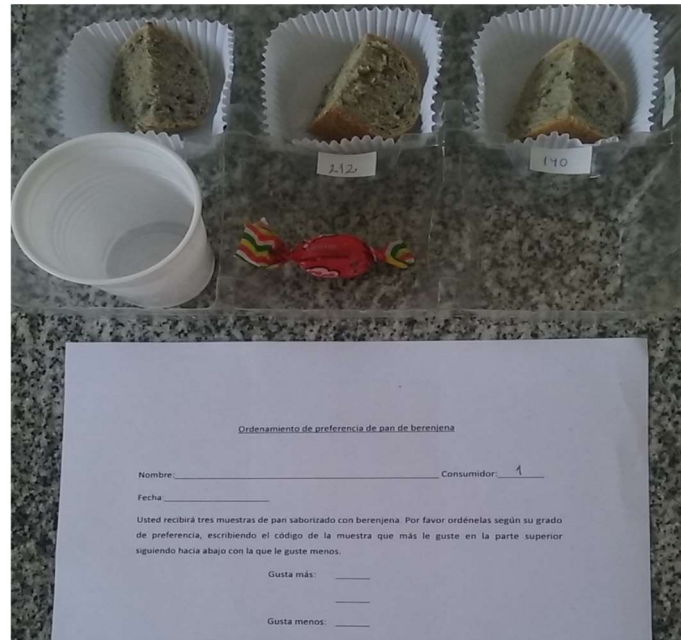


Figura IV. 6. Presentación de las muestras y planilla para el análisis sensorial.

Si el valor de F es mayor a los valores tabulados para determinados valores de N y k, hay diferencias significativas, y se realiza un ensayo de múltiple comparación con lo que se calculan las diferencias de todos los pares de muestras utilizando:

$$|M_u - M_v| \geq Z_{\alpha} \sqrt{\frac{Nk(k+1)}{6}}$$

Donde:

$|M_u - M_v|$ = Diferencia de los valores absolutos de los puntajes

Z = para una significancia de 0,05 es de 1,96

N = número de evaluadores

k = número de muestras.

IV.2.3. Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron de acuerdo a un diseño factorial. Los datos se analizaron por medio de un ANOVA con el software InfoStat (Di Rienzo y col., 2011) y las medias se compararon con la prueba de LSD de Fisher a un nivel de significancia $P < 0,05$.

IV.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.3.1. Caracterización de la berenjena polvo

La berenjena fue secada mediante liofilización para obtener el polvo debido a que el objetivo principal de nuestro trabajo fue mantener la calidad integral (tanto organoléptica como nutricional) del fruto fresco. Como se detalló en la introducción, mediante la liofilización se logra retener un alto porcentaje de los compuestos antioxidantes de naturaleza fenólica, de gran abundancia en berenjena y lábiles frente a las altas temperaturas.

Para caracterizar a la berenjena en polvo determinamos su composición y contenido de antioxidantes, la humedad de seguridad microbiológica mediante la realización de isotermas de adsorción de agua, y la capacidad de retención de solventes que nos permitió sumar información sobre el comportamiento de los componentes de la berenjena en polvo.

IV.3.1.1. Composición porcentual

Resulta importante conocer los componentes del material de partida en la elaboración de un producto, debido a que se encontrará relacionado con las propiedades físico-químicas observadas luego. Por ello, la composición de la berenjena en polvo, que se empleó como material de partida en la posterior elaboración de la masa y el pan, se detalla en la **Tabla IV.3**. Asimismo, se compara con los valores hallados para la harina de trigo que se usará como control.

La composición del fruto fresco de berenjena reportada por la USDA (2013), tal como se detalló en la introducción general (**Tabla 2**), es la siguiente: 92,3% humedad, 12,73% proteínas, 2,34% lípidos y 75,3% hidratos de carbono, de los cuales 38,96% corresponden a fibra dietaria total y 45,84% a azúcares totales; estos valores no fueron muy diferentes a los obtenidos para la harina de berenjena. En lo que respecta a la proporción de fibra insoluble y soluble, tampoco encontramos grandes diferencias, dado a que en la introducción mencionamos un valor de alrededor del 80% para fibras insolubles y un 20% de solubles respecto a las totales para el fruto fresco, y aquí para la harina es 77 y 23%, respectivamente (**Tabla IV.3**).

A su vez, cabe destacarse que los azúcares mayoritarios encontrados en la berenjena en polvo fueron glucosa, fructosa y sacarosa, en una relación respecto al contenido de azúcar total de 52, 45 y 3%, respectivamente; esto concuerda con lo determinado en los capítulos I y II para el fruto fresco del mismo tamaño comercial (**Tabla I.2 y II.4**), donde allí las proporciones fueron: entre 41-54% para glucosa, 43-48% para fructosa y 2-11%

para sacarosa, dependiendo del tiempo transcurrido desde el trasplante y de la temporada de cosecha.

Tabla IV. 3. Composición porcentual de la harina de berenjena y trigo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Berenjena en polvo	Harina de trigo
Humedad (% p.h)	15,98±0, 52^a	13,61±0,13^b
Proteínas (% p.s)	12,94±0, 21^a	13,20±0,03^a
Lípidos (% p.s)	1,79±0, 34^a	1,53±0,06^a
Cenizas (% p.s)	8,55±0, 83^a	0,84±0,03^b
Hidratos de Carbono Totales*	76,72	84,43
Azúcares solubles totales (% p.s)	38,06±7, 66^a	0,43±0,00^b
<i>Glucosa (% p/p)</i>	19,79±4, 32 ^a	0,00±0,00 ^b
<i>Fructosa (% p/p)</i>	17,11±3, 41 ^a	0,00±0,00 ^b
<i>Sacarosa (% p/p)</i>	1,16±0,07 ^a	0,43±0,00 ^b
Fibra dietaria total (% p.s)	47,68±1, 21^a	6,13±0,25^b
<i>Fibra Insoluble (% p/p)</i>	36,93±3, 96 ^a	5,13±0,37 ^b
<i>Fibra soluble (% p/p) **</i>	10,76	1,00
Otros*** (% p.s)	~0	77,87

Valores promedio ± DS. %p.h= g/100 g peso húmedo, %p.s=g/100g peso seco, *Hidratos de Carbono Totales=100-%Proteínas-%Lípidos-%cenizas, **Fibra soluble= fibra dietaria total- fibra insoluble, ***Otros=Hidratos de Carbono-azúcares solubles totales -fibra dietaria total

Los valores de proteínas, lípidos, cenizas, fibra dietaria total, fibra insoluble y fibra soluble de la berenjena en polvo están en concordancia con otros autores que reportan, para berenjena secada por aire caliente a diferentes temperaturas, y elaborada a partir de frutos de diferentes variedades, valores de entre: 13-16% de proteínas, 1-5% de lípidos, 5-8%de cenizas, 33-48% de fibra dietaria total,25-39% de fibra insoluble y 6-12% de fibra soluble (**Padalino y col., 2013; Perez y Germani, 2004; Scorsatto y col., 2017; Uthumporn y col., 2016**). Así, en general se muestra que un 74-79% corresponde a fibra insoluble y 22-26% a solubles respecto al contenido de la FDT, los cuales concuerdan con los determinados en el presente trabajo.

Al comparar la berenjena en polvo con la harina de trigo (**Tabla IV.3**), si bien vimos que el porcentaje de proteína fue similar, se debe resaltar el hecho de que la berenjena no

posee gluten, por lo que por sí sola no forma la red viscoelástica necesaria para la masa. El contenido de hidratos de carbono es algo menor en la berenjena en polvo respecto de la harina de trigo (76,72 vs 84,43% p.s.); sin embargo, el tipo de hidratos es notablemente diferente entre ambas. Es así que, en la berenjena en polvo se vieron representados principalmente por los azúcares solubles y fibra, mientras que en la harina de trigo lo constituyen principalmente otros tipos de hidratos de carbono, como lo es el almidón. La berenjena en polvo presentó ~88 veces más azúcares solubles y ~7 veces más fibra dietaria total, siendo distribuida en ~7 y ~11 veces superior en fibra insoluble y soluble, respectivamente (**Tabla IV.3**).

En base a los resultados hallados, podemos decir que se logró obtener un producto de berenjena en polvo con una composición similar al fruto fresco y con un 81% menos de agua; y que a su vez contuvo más azúcares solubles y fibra dietaria total que la harina de trigo.

IV.3.1.2. Contenido de antioxidantes

Los compuestos antioxidantes de naturaleza fenólica constituyen uno de los principales aportes nutricionales que el tejido de berenjena aporta a sus productos derivados, como es en este caso a la berenjena en polvo y, posteriormente, los panes. **Hung y Duy (2012)**, reportaron una disminución considerable (89%) en el contenido de los fenoles totales de berenjena secada por aire caliente respecto a las liofilizadas, dejando en evidencia la naturaleza termolábil de los compuestos fenólicos. Así, este aspecto requiere atención, ya que, indefectiblemente, su contenido disminuirá durante el proceso de panificado. Es por ello que el foco en la elaboración de la berenjena en polvo se centró en lograr retener el mayor porcentaje posible de compuestos fenólicos respecto del fruto fresco. Es así que se decidió emplear la liofilización como tecnología de deshidratación a baja temperatura del fruto fresco para obtener la berenjena en polvo. Mediante el proceso de liofilización de las rodajas de berenjena sin pelar se redujo sólo un 10% la capacidad antioxidante y un 4% el contenido de compuestos fenólicos respecto del fruto fresco (**Figura IV.7.A y B**). Sin embargo, el contenido de ácido clorogénico y las antocianinas no se vieron afectados (**Figura IV.7.C**). Por ello, las pequeñas variaciones en la capacidad antioxidante y en los fenoles totales se deberían a otros compuestos presentes en menor porcentaje respecto del ácido clorogénico y antocianinas. En contraposición, luego de la liofilización sólo de la pulpa de frutos de berenjenas violetas, **Zaro (2014)** halló pérdidas de hasta un 50% en la capacidad antioxidante y contenido de ácido clorogénico. Estas diferencias pueden deberse a que en el presente trabajo se empleó la rodaja completa (piel y pulpa), y, tal vez, los

compuestos fenólicos de la piel se hayan conservado mejor gracias a un efecto sinérgico de protección.

Al comparar el aporte de antioxidantes de la berenjena en polvo respecto al de la harina de trigo, se puede observar que la primera posee ~33 veces más capacidad antioxidante (**Figura IV.7.A**), siendo atribuido principalmente al contenido de compuestos fenólicos que supera en ~20 veces al respectivo de la harina de trigo (**Figura IV.7.B**). Asimismo, la berenjena en polvo estaría sumando un aporte neto de antioxidantes tales como el ácido clorogénico y las antocianinas, dada la ausencia de los mismos en la harina de trigo (**Figura IV.7.C y D**).

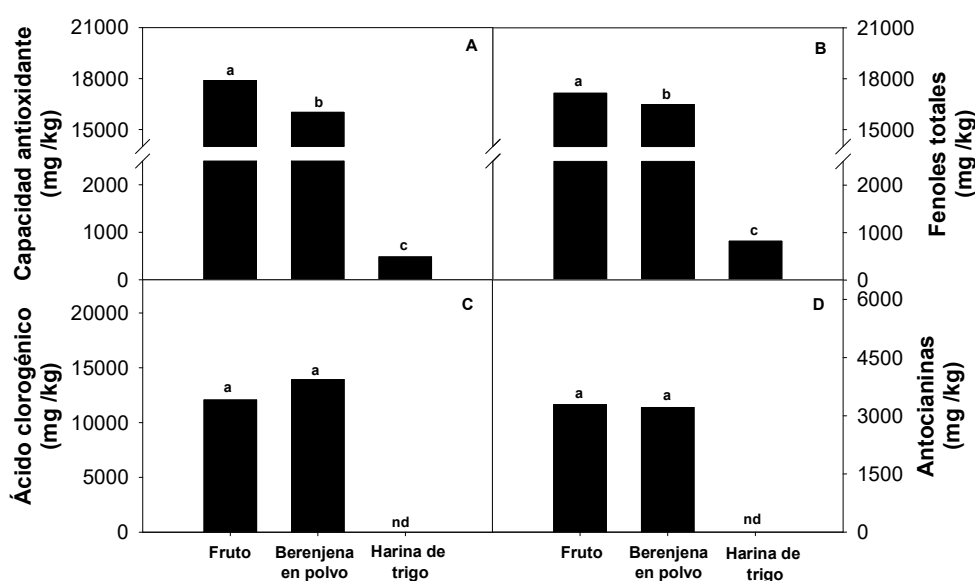


Figura IV. 7. Capacidad antioxidante (**A**), fenoles totales (**B**), contenido de ácido clorogénico (**C**) y antocianinas (**D**) del fruto fresco, de la berenjena en polvo obtenida por liofilización y posterior molienda y de la harina de trigo. nd: no detectado. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Es también importante analizar la estabilidad de los antioxidantes durante el almacenamiento de la berenjena en polvo. Así, se eligieron valores de temperatura extrema que podrían darse en temporadas de verano y con ambientes cerrados (30-40 °C), y por otro lado una temperatura de refrigeración (0 °C). Luego del almacenamiento por 45 días a 30-40 °C, se observó una retención de entre un 84-93% de la capacidad antioxidante, mientras que, a 0 °C no se vio afectada y se retuvo el 100% de la capacidad antioxidante inicial de la berenjena en polvo (**Tabla IV.4**). Es por ello que, una vez obtenida la berenjena en polvo fue almacenada en un recipiente herméticamente cerrado, para evitar que se humedezca, y a 0 °C para preservar sus antioxidantes.

Tabla IV. 4. Retención de la capacidad antioxidante medida con ABTS**de berenjena en polvo luego de 45 días de almacenamiento a 0, 30 y 40 °C. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Berenjena en polvo almacenada 45 días		
	0 °C	30 °C	40 °C
Retención de TEAC (%)	103 ^a	84 ^c	93 ^b

IV.3.1.3. Isotermas de adsorción

Por otro lado, además de la composición de la harina, es de interés determinar su estabilidad microbiana, dado a que se debe trabajar con un alimento seguro y a su vez que no pierda su calidad nutricional.

En cuanto a la estabilidad microbiana, sabemos que la variable de estudio es la actividad acuosa (a_w). Valores menores a $a_w = 0,7$, desde el punto de vista microbiológico, determinan un contenido “seguro” de humedad y con ello, una mayor vida útil. Estos valores están bien determinados para varios productos alimenticios (**Chirife y María del Buera, 1994**) y son utilizados a su vez para establecer el punto final de secado, lo que determina el tiempo asociado a dicho proceso.

En el presente trabajo, se realizaron isotermas de adsorción a tres temperaturas distintas (10,30 y 40 °C), que relacionan el contenido de humedad en el equilibrio (kg agua/ kg materia seca) a una temperatura constante con la actividad acuosa del producto a un rango de humedades determinado (**Rangel-Marrón y col., 2010**). En la **Tabla IV.5** se detallan los parámetros de ajuste obtenidos para cada modelo y temperatura evaluada. Dichos parámetros son valores de ajuste a los diferentes modelos. Para seleccionar el más adecuado se debe prestar atención a los valores del coeficiente de determinación (r^2), que debe ser lo más cercano a 1 posible, y del error cuadrático medio (E_{CM}), el cual debería ser lo más bajo posible. De allí, podemos observar que dicha combinación se registró, a las tres temperaturas, para el modelo de Leiva Díaz, por lo que podemos decir que fue el modelo con mejor ajuste para las isotermas de adsorción de la harina de berenjena a las tres temperaturas estudiadas. Contrariamente, el modelo que peor se ajustó fue el de GAB a las tres temperaturas estudiadas.

Tabla IV. 5. Parámetros obtenidos para los modelos GAB, Halsey, Oswin, Iglesias-Chirife y Leiva Díaz aplicados a los datos experimentales de isotermas de adsorción de la berenjena en polvo almacenada a 10,20 y 40 °C.

Modelo	Parámetro	10 °C	20 °C	40 °C
GAB	W_M	3,2030±3,053	1,205±0,479	3,462±3,048
	C	0,700±0,000	0,700±0,000	0,700±0,000
	k	0,197±0,155	0,424±0,107	0,191±0,142
	r^2	0,818	0,852	0,828
	E_{CM}	5,190	5,823	5,275
Halsey	A	0,052±0,004	0,059±0,002	0,061±0,002
	B	0,558±0,019	0,592±0,009	0,588±0,012
	r^2	0,976	0,995	0,991
	E_{CM}	1,874	1,034	1,239
Oswin	D	0,246±0,006	0,245±0,006	0,253±0,006
	F	0,422±0,020	0,457±0,018	0,432±0,018
	r^2	0,959	0,970	0,963
	E_{CM}	2,477	2,605	2,460
Iglesias-Chirife	A_I	0,071±0,005	0,074±0,002	0,083±0,003
	B_I	0,147±0,010	0,141±0,005	0,135±0,006
	r^2	0,917	0,983	0,970
	E_{CM}	3,499	1,982	2,213
Leiva Díaz	C1	0,127±0,004	0,135±0,003	0,125±0,002
	C2	1,901±0,034	1,995±0,024	1,949±0,017
	C3	1,736±0,090	2,069±0,074	1,670±0,045
	r^2	0,993	0,997	0,998
	E_{CM}	1,019	0,867	0,540

Valores promedio \pm DS.

En la **Figura IV.8** se grafican las isotermas de adsorción de agua obtenidas para los puntos experimentales de la harina de berenjena de acuerdo al modelo de Leiva Díaz para las tres temperaturas ensayadas. Presentan una tendencia de crecimiento exponencial de la humedad en función del a_w , características de los productos con elevado contenido de azúcar. Se observa una superposición de las mismas a valores de $a_w < 0,4$ y una ligera separación a valores mayores, de modo que presentaron un comportamiento similar a las temperaturas ensayadas, que le permitirán mostrar valores de humedad de seguridad semejantes. Es así que, a partir de las curvas respectivas se determinó la humedad de seguridad (correspondiente a un a_w de 0,7) que resultó ser de: 0,354, 0,350 y 0,366 a 10, 20 y 40 °C, respectivamente; o bien en promedio fue de $0,357 \pm 0,009$ en el rango de 10 a 40 °C.

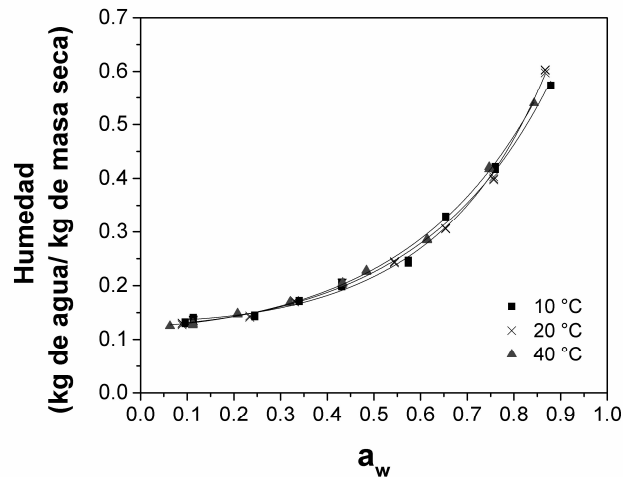


Figura IV. 8. Isotermas de adsorción de la harina de berenjena a 10, 20 y 40 °C, graficadas según el modelo de Leiva Díaz cuyos parámetros se detallan en la Tabla IV.5.

El valor de humedad de la harina (**Tabla IV.3**) fue de 15,98% (kg de agua / 100 kg peso húmedo) o bien, para transformarlo a las unidades del gráfico de la isoterma, de 0,19 kg agua/ kg materia seca. Este valor se encontró por debajo de la humedad de seguridad ($0,357 \pm 0,009$) para el rango de 10-40 °C. Dada la superposición de las curvas de 10 y 20 °C a valores de a_w cercanos a 0,7, podría pensarse en un comportamiento similar a 0 °C (temperatura de almacenamiento recomendada previamente, **sección IV.3.1.2**), obteniendo un valor de humedad de seguridad semejante. Cabe destacar que no se realizó la isoterma de adsorción a 0 °C dada la extensa duración que implicaría su ejecución y a la complejidad metodológica acoplada.

Los resultados de esta sección muestran que la berenjena en polvo se considera un alimento microbiológicamente seguro incluso al almacenarse a 40 °C en condiciones adecuadas (recipiente hermético para evitar que se humedezca). Sin embargo, teniendo presente los resultados previos perdería cerca de un 10% de antioxidantes en estas condiciones, por lo que se recomienda su almacenamiento a menor temperatura para que la berenjena en polvo se encuentre potenciada a nivel nutricional.

Finalmente, los resultados hasta aquí presentados nos permiten concluir que mediante la liofilización se obtuvo una berenjena en polvo con características nutricionales (alto nivel de fibras y antioxidantes) similares al fruto fresco y superiores a la harina de trigo, que se logró reducir la humedad del producto hasta un valor microbiológicamente seguro y se recomendó su almacenamiento a 0 °C para preservar de forma adecuada su potencial antioxidante.

IV.3.1.4. Hidratación de la berenjena en polvo

La capacidad de hidratación está relacionada con la composición. Como fue mencionado en la introducción, el polvo de berenjena al no presentar gluten ni almidón, debe complementarse con un porcentual de harina de trigo, y, por cuestiones de impedimento tecnológico y de calidad del producto obtenido, dicho nivel de reemplazo no debe ser excesivo. Es así que, en esta oportunidad seleccionamos tres niveles de reemplazo: 5-7,5 y 10% (gr de harina de berenjena/ 100 g de harina total). De ahora en más al reemplazo de 0% lo llamaremos control. Si bien se buscó obtener un producto con el mayor aporte posible de fibras y antioxidantes por parte de la berenjena, se empleó como límite superior a 10% dado a que con reemplazos superiores se obtuvo una masa pegajosa en ensayos preliminares, generando panes con una miga demasiado compacta y un sabor muy intenso (datos no mostrados).

Cuatro solventes diferentes fueron analizados: agua y soluciones de sacarosa 50%, ácido láctico 5% y carbonato 5%, donde cada uno puede ser relacionado a factores diferentes. La capacidad de retención de agua se relaciona con la capacidad de los grupos hidrofílicos de los distintos componentes de la harina de absorber agua de forma espontánea. La capacidad de retención de ácido láctico puede relacionarse con la formación de la red de glutenina y la concentración de gluten de la harina, mientras que, la de carbonato se relaciona con el contenido de almidón dañado (AACC, 2000). Un aumento en la capacidad de retención de todos los solventes fue observado al incrementar el reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo (**Tabla IV.6**). Se llegaron a obtener valores de hasta un 100% mayor para el agua, carbonato y sacarosa, y un 70% más para el ácido láctico, en el nivel de reemplazo de 10% respecto a 0% o control.

La harina de trigo presenta un 6,1% de fibra dietaria total frente un 47,68% de la berenjena en polvo; y a su vez la ausencia de almidón y gluten en la berenjena nos llevaron a pensar que en este caso el aumento en todas las propiedades de hidratación se debe al aumento progresivo de la fibra en la mezcla. Estas propiedades de las fibras están relacionadas con su estructura molecular, formada por cadenas de polisacáridos, dando como resultado una matriz porosa que puede retener grandes cantidades de agua a través de enlaces de puente de hidrógeno (**Figuerola y col., 2005**). En concordancia, **Perez y Germani (2004)** observaron un incremento en la absorción de agua conforme se aumentó el nivel de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo, lo cual atribuyeron al mayor contenido de fibra de la mezcla con mayor proporción de berenjena.

Tabla IV. 6. Capacidad de retención de solventes: agua, carbonato 5%, sacarosa 50% y ácido láctico 5% para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Solventes	Reemplazos con berenjena en polvo			
	Control	5%	7,5%	10%
Agua	59,9±1,1 ^c	103,7±3,4 ^b	107,5±1,9 ^b	122,2±0,3 ^a
Carbonato 5%	84,9±1,2 ^d	134,8±0,8 ^c	153,1±0,9 ^b	170,7±0,8 ^a
Sacarosa 50%	83,0±1,6 ^d	120,2±0,3 ^c	144,5±0,9 ^b	167,8±5,7 ^a
Ac. Láctico 5%	73,7±1,7 ^d	107,2±2,3 ^c	116,3±6,7 ^b	125,3±1,6 ^a

Valores promedio ± DS.

IV.3.2. Optimización de masa-pan

Las propiedades reológicas de las masas son de gran importancia para poder desarrollar productos con la calidad deseada. En las masas de trigo, el gluten tiene una importancia fundamental puesto que le confiere propiedades elásticas y de extensibilidad a la misma que permiten su maquinadomanipulación y la posterior expansión durante la fermentación y horneado para dar lugar a la miga. Es por ello que resulta importante caracterizar el comportamiento reológico de las masas al incorporar nuevos ingredientes en las formulaciones y poder realizar los cambios necesarios para poder facilitar el procesamiento y la obtención de productos de buena calidad. Para determinar los parámetros de optimización en la elaboración de la masa y luego el pan con los distintos niveles de reemplazo se realizaron los ensayos farinográficos y las curvas de fermentación.

IV.3.2.1. Ensayo farinográfico

En la **Figura IV.9** se pueden observar las curvas farinográficas (Unidades Brabender o UB vs tiempo) obtenidas para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo de 5, 7,5 y 10%.

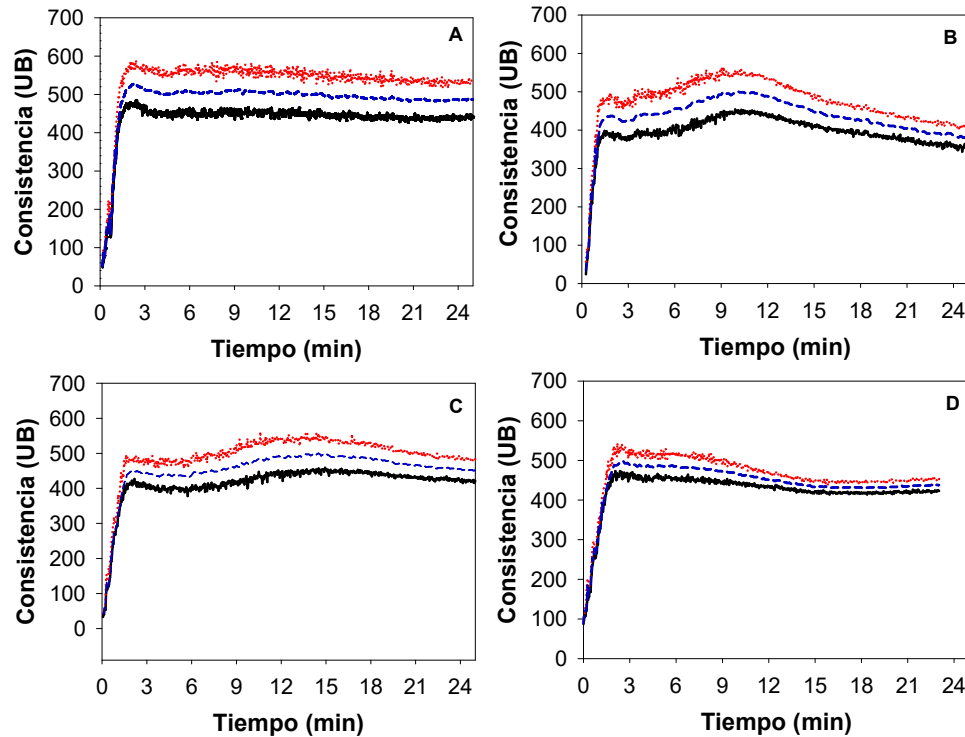


Figura IV. 9. Farinogramas obtenidos para el control (A) y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo de 5% (B), 7,5% (C) y 10% (D).

El farinograma de la muestra control (**Figura IV.9.A**), presentó un comportamiento característico, un primer incremento de la consistencia a tiempo corto (2 min), que se relaciona con la hidratación del almidón en presencia de sal, y un segundo pico (9 min) que se correlaciona con el desarrollo de la red de gluten para alcanzar la consistencia óptima de la masa (500 UB). Si bien en todos los casos se observó la presencia de los dos picos mencionados anteriormente, la forma del farinograma de las mezclas de harina de trigo y berenjena en polvo dependió del porcentaje de reemplazo. También se observó un rápido incremento de la consistencia al inicio (2 min), pero no alcanzó las 500 UB del control, para el caso de 5 y 7,5% fue cercano a las 450 UB, y para 10% en ~490 UB (**Figura IV.9.B, C y D**). Mientras que, el segundo pico fue mucho más pronunciado en el caso de 5 y 7,5%, donde para el caso de 7,5% se observó un mantenimiento más prolongado de la consistencia en el tiempo, indicando una mayor estabilidad (**Figura IV.9.B y C**). Para el caso de 10%, el segundo pico se dio cerca de los 5 min de forma muy sutil, y fue seguido de un rápido decaimiento de la consistencia (**Figura IV.9.D**), lo cual indicaría que el nivel de reemplazo de 10% disminuye la resistencia al amasado de la mezcla de la harina de trigo y berenjena en polvo por debajo del control, lo cual revelaría un debilitamiento de la masa. Del mismo modo,

Perez y Germani (2004), en su trabajo con berenjena en polvo, concluyeron que determinados niveles de reemplazo de harina de trigo con berenjena solo serían útiles para ciertos tipos de galletas y tortas, y no de otros panificados.

La presencia del segundo pico en los farinogramas de las mezclas de harina trigo-berenjena estaría relacionado con la adición de fibra a la masa. Un comportamiento similar fue observado por **Salinas y Puppo (2013)**, quienes emplearon inulina enriquecida con oligofruktosa para suplementar masa de trigo hasta un 12% (g/100 g harina total); y por **Bigne (2016)** en reemplazos de harina de trigo por *Prosopis alba* hasta en un 35% (g harina/ 100 g harina total). **Katina (2003)** describe que al iniciar el mezclado en harinas con agregado de fibra se observa una rápida absorción del agua libre y pareciera que el agua se encuentra en defecto, pero luego de unos minutos de mezclado la masa desarrolla sus propiedades características alcanzando su punto óptimo de consistencia. Además, la misma autora destaca la baja tolerancia al sobremezclado que suelen tener las masas enriquecidas en fibra. En resumen, los comportamientos observados en nuestro ensayo podrían relacionarse con la alta presencia de fibra en la berenjena en polvo, su capacidad de retención de agua y velocidad de absorción de la misma.

Tanto la absorción de agua como el tiempo de desarrollo (td) son parámetros importantes para alcanzar la hidratación adecuada de los componentes de la harina y el desarrollo de la red de gluten en la masa, como así también la estabilidad y el grado de aflojamiento de la masa. Estos parámetros farinográficos obtenidos para las mezclas de harina de trigo-berenjena en polvo se muestran en la **Tabla IV.7**.

Tabla IV. 7. Parámetros farinográficos: absorción de agua, tiempo de desarrollo (td), estabilidad y aflojamiento, para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Parámetros farinográficos	Control	Reemplazos con berenjena en polvo		
		5%	7,5%	10%
Absorción de agua (%)	57,7±0,3 ^c	61,0±0,0 ^b	61,7±0,1 ^a	61,7±0,1 ^a
td (min)	9,0±0,0 ^c	10,4±0,2 ^b	14,5±0,7 ^a	5,5±0,0 ^d
Estabilidad (min)	36,3±0,7 ^a	8,8±0,3 ^b	13,3±0,4 ^b	11,9±4,5 ^b
Aflojamiento (UB)	18,5±6,4 ^c	105,0±0,0 ^a	59,0±8,5 ^b	47,0±8,5 ^b

Valores promedio ± DS.

La cantidad de absorción de agua farinográfica aumentó con la presencia de berenjena en polvo y dependió del porcentaje de reemplazo (**Tabla IV.7**). Un incremento del ~6%

se observó para 5% de reemplazo, y de ~7% para los reemplazos de 7,5 y 10%. Las formulaciones ricas en fibra son conocidas por su capacidad de absorber cantidades considerables de agua, que está determinada por la presencia, en la estructura de la fibra, de una gran cantidad de grupos hidroxilo que interaccionan con el agua a través de enlaces puente de hidrógeno (**Miś y col., 2012**).

Si bien, en la capacidad de retención de agua se observó una tendencia similar, y también se relacionó el incremento en la absorción con el mayor contenido de fibra y azúcares solubles de las mezclas con berenjena en polvo, la diferencia en el valor absoluto se debe a la diferencia en la metodología empleada en cada caso. En la prueba de capacidad de retención de agua, la misma es de forma estática, por lo que puede estar relacionado con la aptitud de los grupos hidrofílicos de los diferentes componentes de la harina para absorber agua espontáneamente. Por otro lado, la prueba farinográfica, en la que se aplica un trabajo mecánico debido al amasado en el farinógrafo, implica a su vez, el desarrollo de la red de gluten; por lo que en ambas técnicas la competencia entre los componentes de las muestras por el agua disponible sería diferente (**Linlaud y col., 2009**). Pueden encontrarse antecedentes en la incorporación de harinas de garbanzo, soja, lupino y triticale a la harina de trigo, lo cual también generó un aumento en la absorción de agua respecto a la de trigo, pero en estos casos, no varió significativamente con el nivel de reemplazo (**Doxastakis y col., 2002; Mohammed y col., 2012**).

El tiempo de desarrollo aumentó significativamente con el agregado de berenjena en polvo hasta un nivel de 7,5%, mientras que, con un 10% disminuyó considerablemente (**Tabla IV.7**). Si bien con un nivel de 10% se logró un td incluso menor del observado para el control, la masa presentó una consistencia muy blanda y difícil de manipular. **Miś y col. (2012)** determinaron que a partir de cierto nivel de reemplazo de la harina de trigo por fibra de algarroba y harina integral de avena el td comenzó a disminuir de forma significativa, y lo atribuyeron a la diferente velocidad de hidratación de los componentes de la masa; lo que sugiere una menor tasa de hidratación o td en presencia de altas cantidades de fibra.

La estabilidad de la masa está relacionada con la fuerza de la misma, los valores bajos de este parámetro se relacionan con una masa más débil, y con menos tolerancia al amasado. La incorporación de berenjena en polvo a la harina de trigo produjo una disminución de aproximadamente el 30% en la estabilidad de la masa, y no se observaron diferencias significativas entre los distintos niveles de reemplazo.

Por otro lado, el grado de ablandamiento aumentó con el nivel de reemplazo de la berenjena en polvo, presentando un valor máximo para 5% (**Tabla IV.7**). **Bigne y col. (2016)** obtuvieron resultados similares con el reemplazo de la harina de trigo con harina

de *Prosopis alba*, atribuyendo la disminución de la estabilidad de la masa a la dilución de la proteína del gluten; sin embargo, en el nivel más alto de esta harina, estos autores observaron valores similares a los de la masa de trigo.

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que, si bien el nivel de reemplazo del 10% sería altamente deseable por su mayor aporte de fibra y antioxidantes, y asimismo requirió un td bajo, en esta instancia, no sería el más recomendado, por ser la masa obtenida muy blanda y difícil de manipular.

IV.3.2.2. Curvas de fermentación

Se realizaron curvas de fermentación de las masas para los distintos niveles de reemplazo para determinar el tiempo óptimo de fermentación, en donde se registró el incremento de volumen en función del tiempo modelado con la ecuación de Chapman (Figura IV.10), cuyo r^2 de ajuste resultó ser mayor a 0,95.

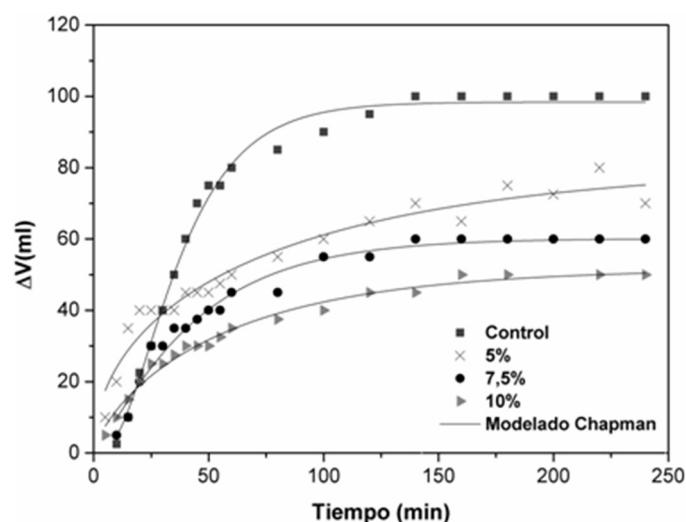


Figura IV. 10. Curvas de fermentación para las masas control (■) y con 5% (×), 7,5% (●) y 10% (►) de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo modeladas mediante la ecuación de Chapman (línea negra).

El volumen máximo alcanzado por la masa (V_{max}) durante la fermentación disminuyó con el aumento del nivel de reemplazo de la harina de trigo por berenjena en polvo, siendo para un 10% de reemplazo casi la mitad que el volumen de la masa control (Tabla IV.8). Este hecho está en relación con el comportamiento farinográfico observado anteriormente. Es así que, con el aumento del nivel de reemplazo se estaría formando una matriz de gluten de menor calidad como consecuencia de la incorporación de los componentes de berenjena en polvo (azúcares de bajo peso molecular, fibra y proteínas

diferentes a las del gluten). Un comportamiento similar fue reportado por **Bigne (2016)** al reemplazar harina de trigo por la de algarroba en la formulación de panes.

Tabla IV. 8. Parámetros de la fermentación: volumen máximo (V_{\max}) y tiempo de fermentación (t_f), para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Parámetros de la fermentación	Control	Reemplazos con berenjena en polvo		
		5%	7,5%	10%
V_{\max}, (ml)	97,6±1,6 ^a	81,8±0,0 ^b	59,5±2,1 ^c	47,5±2,0 ^d
t_f (min)	52,0±0,5 ^b	113, 7±9,4 ^a	58,6±0,9 ^b	63,7±1,4 ^b

Valores promedio \pm DS

En cuanto al tiempo de fermentación, para un reemplazo de 5%, si bien se obtuvo un volumen de masa mayor, se requirió el doble del tiempo para completar la fermentación respecto al control (**Tabla IV.8**). Es así que, a pesar de haber obtenido el mayor volumen de masa de los reemplazos estudiados, el alto tiempo para la fermentación sería tecnológicamente inconveniente. Este resultado nos conduce a desestimar el empleo de 5% de reemplazo para la formulación de los panes. Por otro lado, para los reemplazos de 7,5 y 10% el tiempo de fermentación (t_f) fue similar al control. Sin embargo, al analizar los resultados en conjunto se observa que el reemplazo de 10%, si bien demoró el mismo tiempo que el control en fermentar terminó alcanzando un volumen de masa ~51% menor, en concordancia con lo esperado según los parámetros reológicos ya mencionados. Finalmente, el reemplazo de 7,5% estaría presentando un comportamiento intermedio entre los restantes reemplazos, alcanzando una masa en tiempos comparables al control y aportando componentes de interés para un pan funcional.

IV.3.3. Calidad panadera

Los cambios observados en las propiedades de hidratación y reológicas de las masas se verán reflejados en la calidad del pan obtenido luego del horneado, por lo que su estudio resulta importante.

IV.3.3.1. Volumen específico del pan y contenido de alveolos

Al reemplazar harina de trigo por berenjena en polvo se observaron modificaciones tanto en las propiedades de hidratación de las harinas mezclas como reológicas de la masa, por lo cual era de esperar que influyera sobre los parámetros de calidad de los panes.

En la **Figura IV.11** podemos observar la apariencia externa (corteza) e interna (miga) notoriamente diferente de los panes obtenidos para cada reemplazo estudiado. Es notorio que el volumen específico del pan y el área ocupada por alveolos en la miga disminuyeron con el aumento del porcentaje de reemplazo.

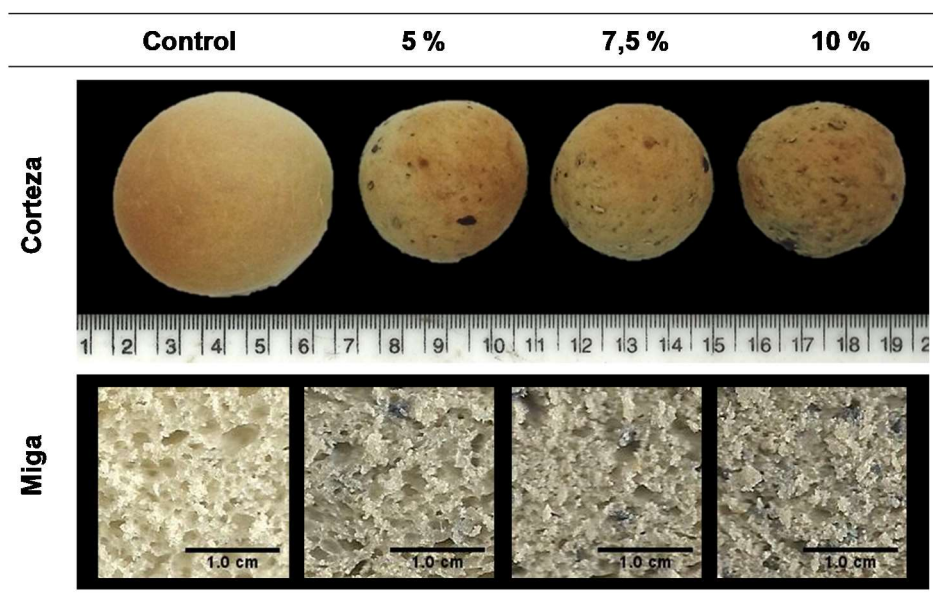


Figura IV. 11. Apariencia de la corteza y miga de los panes control y con 5%, 7,5% y 10% de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo.

El volumen específico del pan disminuyó para todos los reemplazos analizados respecto al control (**Figura IV.12.A**). Los panes de 5% lograron la menor disminución del volumen (~33%) y los de 10% la mayor diferencia (~56%), mientras que los de 7,5% presentaron un tamaño y reducción intermedio (~39%) respecto al pan control. Numerosos autores han mencionado el efecto negativo que provoca la adición de harinas diferentes a la de trigo, aislados proteicos o fibra en el volumen específico de pan. Entre ellos pueden citarse los estudios de **Fenn y col. (2010)** y **Ribotta y col. (2005)** al incorporar productos de soja, **Mohammed y col. (2012)** en panificados con harina de garbanzo y **Katina (2003)** en panificados enriquecidos con diferentes fuentes de fibra. Por otra parte, en panificados con incorporación de harinas de algarrobo europeo **Salinas y col. (2015)** hallaron una mayor reducción en el volumen de los panes cuando se incorporó harina de pulpa (con un contenido de fibra dietaria superior al 45%) respecto a los panes con incorporación de harina de germen (rica en proteínas) de dicha leguminosa, hecho que permite inferir que el detrimento en la calidad del producto es mayor con la incorporación de ciertos componentes (fibra) por sobre a otros. Asimismo, **Frutos y col. (2008)**

hallaron una disminución en el volumen específico de panes conforme aumentó el porcentaje de reemplazo con alcaucil en polvo, y se lo atribuyeron al aporte de fibra. Finalmente, en nuestro trabajo, las pérdidas de volumen de los panes con reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo podrían deberse principalmente a tres factores: 1) la presencia de un mayor porcentaje de fibra dietaria por parte del tejido de berenjena, 2) una menor presencia o dilución de las proteínas de gluten del trigo por efecto del reemplazo, y 3) a la disrupción de la red de gluten ocasionada por alteraciones en el contenido o tipo de compuestos aportados por berenjena. Es así, que el tercer factor estaría influenciado por los dos factores mencionados previamente.

Al analizar la fracción de área ocupada por alveolos, se observó una disminución para todos los reemplazos respecto del control. Los panes de 5% lograron la menor disminución de alveolos (~6%) y los de 7,5 y 10% la mayor (~24%), sin diferencias entre sí (**Figura IV.12.B**). Cabe destacar que, para todos los casos, los alveolos de la miga de los panes con reemplazo de berenjena en polvo no presentaron la misma apariencia que para el control (**Figura IV.11**). La observación visual de la miga denota que los panes con 7,5% de reemplazo presentaron alvéolos de forma más circular, mientras que, para aquellos con un 10% de reemplazo, los alvéolos de miga fueron de una forma oblonga, pero en ambos casos ocuparon la misma área. El análisis de imágenes para el cálculo del tamaño de alvéolos arroja valores con elevado grado de error ante la falta de circularidad de los mismos (datos no mostrados). Un comportamiento similar fue hallado por **Bigne y col. (2016)** al reemplazar harina de trigo por *Prosopis alba*. **Ranawana y col. (2016)** en panes con agregado de zanahoria, tomate, remolacha y brócoli en un nivel de 10%, y **Nour y col. (2015)** en panes con 6 y 10% de tomate en polvo, también demostraron alveolos menos circulares respecto al control.

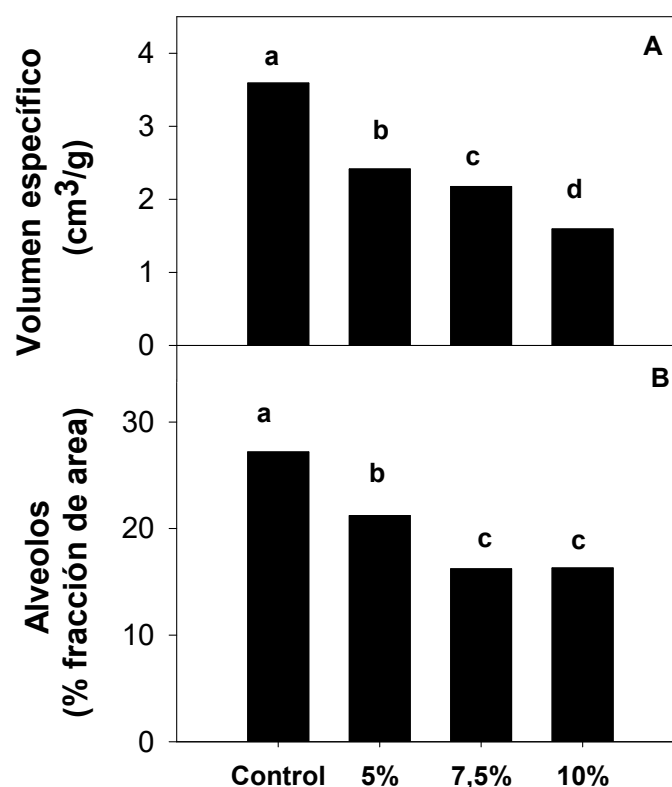


Figura IV. 12. Volumen específico del pan (A) y fracción de área ocupada por alveolos en la miga (B) para el control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

IV.3.3.2. Color de corteza y miga

El color es uno de los atributos más importantes del pan. La berenjena en polvo influyó significativamente en el color final de la miga y de la corteza, generando panes con un aspecto totalmente diferente. El desarrollo del color se puede atribuir tanto al color intrínseco de la berenjena en polvo (presenta tonos de color verde y violeta, por la presencia de pulpa y piel, respectivamente), como a la ocurrencia de la reacción de Maillard durante el horneado, que se ve favorecida por la composición de la berenjena en polvo (presencia de azúcares solubles libres).

Los valores medidos de los parámetros L^* , a^* y b^* se resumen en la **Tabla IV.9**. Se encontraron diferencias significativas tanto en el color de la corteza como en el de la miga entre las formulaciones de 5, 7,5 y 10% respecto al control. La disminución en los valores de L^* nos indican que a medida que aumentamos el porcentaje de reemplazo, tanto la corteza como la miga, se volvieron más oscuras, siendo los panes con un 10% los de disminución del L^* más marcada (~12% para la corteza y ~21% para la miga

respecto al control), siendo así los más oscuros. En lo que respecta a los valores de a^* y b^* , nos indican también la presencia de una tonalidad violeta en los panes con berenjena en polvo debido a la piel de este vegetal. **Frutos y col. (2008)** demostraron también un oscurecimiento del pan a medida que se incrementó el nivel de reemplazo con alcaucil en polvo.

Tabla IV. 9. Parámetros de color: L^* , a^* y b^* de la corteza y miga de los panes control y para los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Reemplazo con berenjena en polvo			
		Control	5%	7,5%	10%
Corteza	L^*	65,65±3,16 ^a	63,09±1,70 ^b	61,45±2,15 ^c	57,85±1,48 ^d
	a^*	7,83±1,99 ^a	5,56±1,36 ^c	6,09±1,49 ^b	6,56±1,48 ^b
	b^*	32,89±1,90 ^a	29,25±2,04 ^b	29,76±1,70 ^b	29,55±1,79 ^b
Miga	L^*	68,10±1,30 ^a	55,82±1,50 ^b	56,36±1,06 ^b	53,54±0,92 ^c
	a^*	-1,21±0,09 ^d	-0,42±0,07 ^c	0,05±0,08 ^b	0,14±0,14 ^a
	b^*	16,84±0,33 ^a	12,60±0,70 ^c	13,35±0,70 ^b	12,44±0,73 ^c

Valores promedio ± DS

IV.3.3.3. Humedad y textura de la miga

La humedad de las migas varió entre 42,5 para el control y hasta 44,7% para los diferentes reemplazos (**Tabla IV. 10**). Varios autores han reportado que la fibra puede retener agua de varias maneras, por lo que panes ricos en fibras tienen mayor contenido de humedad (**Abdul-Hamid y Luan, 2000; Frutos y col., 2008; Sahni y col., 1975; Wang y col., 2002a; Wang y col., 2002b**).

Tabla IV. 10. Humedad en g agua/100 g peso de muestra húmeda (% p.h) para los panes control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Reemplazos con berenjena en polvo			
		Control	5%	7,5%	10%
Humedad (%p.h)		42,5±0,4 ^c	44,1±0,4 ^b	44,3±0,3 ^b	44,7±0,3 ^a

Valores promedio ± DS, % p.h=g/100 g peso húmedo.

La dureza y masticabilidad aumentaron en gran medida y de manera significativa con el aumento en el porcentaje de reemplazo con harina de berenjena de los panes (**Figura IV.13.A y B**). Como se describió anteriormente, los panes con alto contenido de berenjena tuvieron un menor volumen específico y una miga más compacta (menor fracción de área ocupada por alveolos), lo cual podría explicar los valores más altos hallados en la dureza de los mismos. Asimismo, el cálculo de la masticabilidad depende directamente de la dureza, por lo que es coherente que presentaran la misma tendencia (**Figura IV.13.B**). En concordancia, **Mastromatteo y col. (2012b)**, observaron un incremento en la firmeza de la miga con un aumento en el porcentaje de reemplazo de harina de trigo por pimiento amarillo en polvo.

Por otro lado, la cohesividad y elasticidad mostraron el comportamiento opuesto, disminuyeron con el aumento del nivel de reemplazo estudiado, aunque de manera más gradual (**Figura IV.13.C y D**).

Para todos los parámetros estudiados las diferencias observadas entre los reemplazos y el control fueron significativas, a excepción de la elasticidad, donde entre el reemplazo de 7,5 y 10% no se vieron diferencias.

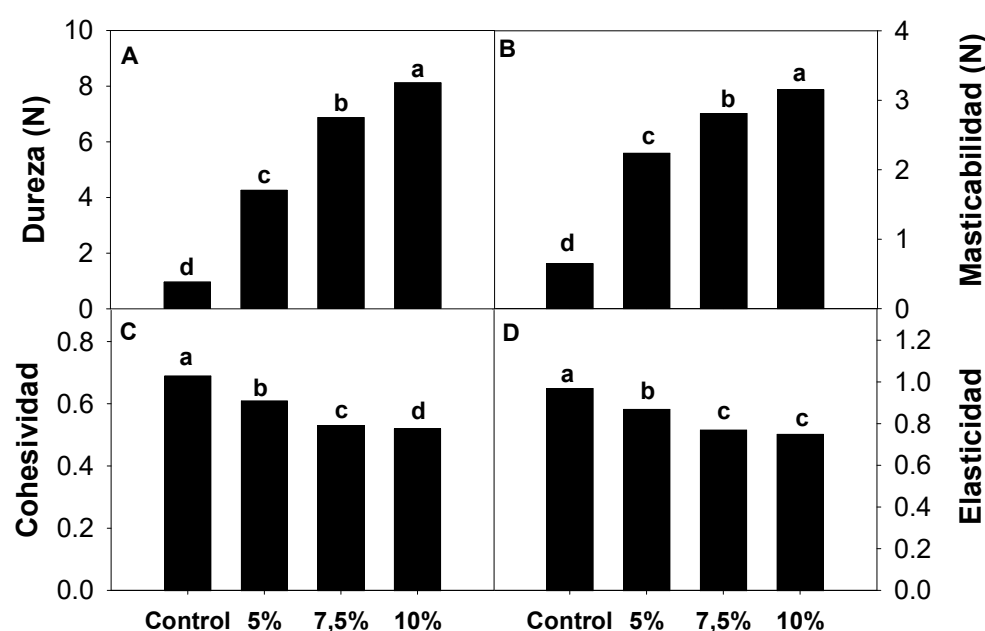


Figura IV. 13. Dureza (A), masticabilidad (B), cohesividad (C) y elasticidad (D) para los panes control y los reemplazos de harina de trigo por berenjena en polvo en los niveles de 5%, 7,5% y 10%. Valores con letras distintas indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Frutos y col. (2008) también hallaron un aumento en la dureza de la miga con el incremento del porcentaje de reemplazo con alcaucil en polvo debido al mayor contenido de fibras, pero a su vez determinaron una buena correlación entre el contenido de humedad y los parámetros de textura de la miga; a medida que aumentó el contenido de humedad del pan, la dureza y masticabilidad aumentaron ($r=0,98$ y $r=0,98$, respectivamente), mientras que la cohesividad disminuyó ($r=0,97$).

Finalmente, cabe resaltar que con el reemplazo de 5% se encontró la menor diferencia en dichos parámetros respecto al control, mientras que los panes con un 10% de reemplazo fueron los más diferentes al control, por lo que serían los menos convenientes desde la textura de la miga. Por otro lado, los panes con un reemplazo de 7,5% presentaron un comportamiento intermedio.

IV.3.4. Análisis sensorial: ordenamiento por preferencia

Como se explicó anteriormente se repartieron las 3 formulaciones con los reemplazos de 5, 7,5 y 10% de reemplazo de harina de trigo por berenjena, y los panelistas ordenaron las muestras desde la que “*gustó más*” hasta la que “*menos gustó*”. Con los resultados obtenidos se calcularon las sumas para los ordenamientos y se evaluaron con el test de Friedman. Las sumatorias de puntajes obtenidos para cada formulación se muestran en la **Tabla IV.11**.

Tabla IV. 11. Sumatorias de los puntajes otorgados para cada formulación de los panes con un reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo de 5, 7,5 y 10%, teniendo un puntaje menor la que “*más gustó*” y un puntaje mayor la que “*menos gustó*”. Valores con letras distintas indican diferencias según test de Friedman con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Panes con berenjena en polvo		
	5%	7,5%	10%
Puntaje	78 ^a	76 ^a	86 ^a

Las formulaciones con más aceptabilidad tuvieron puntajes más bajos y las de menos aceptabilidad los puntajes más elevados. Aplicando la fórmula de Friedman para un $N = 40$ y un $k = 3$ se obtuvo un valor de F de 1,4 que es inferior al valor F tabulado de 5,99 para un $\alpha=0,05$, por lo tanto se pudo afirmar que no hay diferencia significativa entre la aceptabilidad de los panes. De esta manera, si bien habría una tendencia a preferir menos el pan de 10% de reemplazo, el ensayo realizado con 40 consumidores no entrenados no permitió descartar ninguna formulación. Existen límites para enriquecer

productos horneados con fuentes ricas en fibra, debido a que podría tener un efecto perjudicial sobre las características sensoriales (**Hartikainen y Katina, 2012**), sin embargo, en este caso, incluso los panes con un 10% de reemplazo fueron aceptados de forma satisfactoria. Asimismo, **Frutos y col. (2008)** tampoco encontraron una diferencia en la aceptabilidad general de panes con distintos reemplazos por alcaucil en polvo.

IV.4. CONCLUSIONES PARCIALES

- Se logró generar un subproducto con valor agregado que consistió en berenjena en polvo obtenido mediante liofilización. El mismo, mantuvo un 90% de la capacidad antioxidante y no se vieron afectados los contenidos de sus compuestos fenólicos más relevantes (ácido clorogénico y antocianinas). Cuando el producto se almacenó en un rango de 0-40 °C presentó una humedad menor a la de seguridad, considerándose un alimento microbiológicamente seguro, y mantuvo, en gran medida, su capacidad antioxidante por 45 días.
- Se obtuvieron panes con 3 niveles de reemplazo de harina de trigo por berenjena en polvo (5, 7,5 y 10%) que, si bien afectaron en parte a las propiedades reológicas de la masa y a la calidad panadera, fueron sensorialmente aceptados por los consumidores.
- El reemplazo de 10% de harina de trigo con berenjena en polvo presentó el menor td, pero se obtuvo una masa muy blanda y difícil de manipular. Asimismo, generó un debilitamiento de la estructura interna de la masa que ocasionó un menor volumen de la misma luego de la fermentación y que se reflejó también en el menor volumen específico del pan. A su vez, fueron los que presentaron la mayor dureza.
- Con el reemplazo de 5% se alcanzó el mayor volumen de masa durante la fermentación, pero necesitó el doble de tiempo respecto del control lo que ocasionaría una demora importante en la producción a escala del pan, siendo esto una desventaja tecnológica. Sin embargo, los panes mostraron una buena calidad panadera alcanzando el mayor volumen específico y las propiedades texturales más similares al control.
- El reemplazo de 7,5% mostró un comportamiento intermedio entre los restantes reemplazos. Esta formulación presentó una buena tolerancia al amasado y un tiempo de fermentación comparable al control, aunque alcanzando un volumen menor (39%). Presentó una buena calidad panadera y fue aceptado sensorialmente por los consumidores.

La elaboración de berenjena violeta en polvo mediante liofilización constituyó una buena alternativa para el aprovechamiento y agregado de valor al fruto, debido a que no se observaron grandes influencias en la composición nutricional. Para la elaboración de panes funcionales con agregado de berenjena en polvo, se recomienda un nivel de reemplazo de 7,5%, para que, sin perder de vista la mejora nutricional, se logre una buena calidad reológica de la masa, y panadera y sensorial del pan.

Capítulo V:

“Caracterización tecnológica y nutricional de panes
con agregado de berenjena en polvo de dos
tamaños de fruto”

V.1. INTRODUCCIÓN

El aporte nutritivo de los vegetales está determinado por el contenido de vitaminas, minerales, agua, carbohidratos, fibra y antioxidantes (**Hobbs y col., 2014**). En particular, como ya se mencionó anteriormente, la berenjena es una buena fuente de fibra y antioxidantes fenólicos, tales como ácido clorogénico y antocianinas, principalmente. Existen diversos estudios en donde se le atribuyen a dichos compuestos efectos beneficiosos para la salud (**Anderson y col., 2009; Lone y col., 2013**). Por lo que, el agregado de un mayor porcentaje de los mismos a matrices alimentarias como el pan sería de relevancia. Sin embargo, la calidad panadera y aceptabilidad sensorial podrían verse sensiblemente afectadas.

En relación a la fibra dietaria, cabe recordar que está constituida por todos aquellos polisacáridos y la lignina que no son digeridos por las secreciones endógenas del tracto digestivo humano. La fibra dietaria que aportan los vegetales, proviene de la constitución de sus paredes celulares, principalmente celulosa, seguido de hemicelulosa y lignina (**Knudsen, 2001**). Estos polímeros constituyen a la fibra insoluble, por lo que podemos decir que los vegetales presentan, en general y más allá de las variaciones con la madurez, un aporte mayor de fibra insoluble que soluble (**Dhingra y col., 2012**). Se debe tener en cuenta que la composición de las mismas depende de la etapa de madurez en la que se cosecha el órgano de consumo de la planta (**Selvendran, 1987**). En general, el crecimiento de un fruto sigue una curva sigmoidea, en la cual podemos distinguir tres fases: un periodo inicial de división celular, seguida por uno de alargamiento celular, y finalmente una final, en la que el fruto cesa su crecimiento y madura. En pera, se ha informado un aumento de las actividades de las enzimas poligalacturonasa, celulasa y hemicelulasa en el periodo de división celular, relacionado principalmente con el ablandamiento de la pulpa, lo que sugiere un recambio activo de la pared celular en dicha fase, y una disminución drástica en el período de alargamiento celular (**Yamaki y col., 1979**). En tomate se ha reportado una alteración en su composición y en polisacáridos de pared celular que conforman a la fibra tanto con la madurez (**Sakurai y Nevins, 1993; Vendramini y Trugo, 2000**) como así también, en variedades de tamaños diferentes, pero en un mismo estado de madurez (**Opara y col., 2012**). Se conoce que el reordenamiento y los cambios estructurales de la pared celular que ocurren durante la maduración del fruto generan modificaciones en el contenido y composición de fibra de los mismos (**Goulao y Oliveira, 2008**). En general, durante el proceso de maduración, la fibra insoluble disminuye ya que se va degradando y acortando por vía enzimática hacia compuestos solubles que tienden a lograr un fruto más tierno o blando (**Bernardo y col., 2008**). Sin embargo, en aquellos frutos que no

avanzan notoriamente su maduración al punto que se los cosecha inmaduros, como berenjena, zucchini y pepino, existe menos información sobre los cambios en la pared celular durante su crecimiento.

Las propiedades funcionales de la fibra, como la capacidad de retención de agua, hinchamiento, viscosidad o formación de gel, intercambio catiónico, entre otras, no solo depende del tipo, sino de la relación entre el contenido relativo de fibra soluble e insoluble (**Figuerola y col., 2005**). Podemos mencionar que, en panes elaborados con arveja y achicoria en polvo en un mismo porcentaje de reemplazo, pero que presentaron una diferente proporción de fibra insoluble y soluble, se vio afectado en diferente magnitud el comportamiento reológico de la masa, y la calidad panadera y sensorial (**Wang y col., 2002**). En línea con ello, se conoce que los panes ricos en fibra se caracterizan por presentar un volumen reducido y una miga compactada respecto al pan de trigo convencional. Se ha sugerido que ello es el resultado de la disminución de la retención de gas en lugar de la producción del mismo; y que sus formulaciones presentan una alta capacidad de absorción de agua, debido a que la fibra posee en su estructura una gran cantidad de grupos hidroxilo que interaccionan con el agua a través de enlaces puente de hidrógeno (**Hartikainen y Katina, 2012; Miś y col., 2012**).

En los últimos años se ha hallado que la presencia de compuestos fenólicos en los polvos vegetales que son agregados a la harina de trigo para su enriquecimiento en estos antioxidantes, puede afectar notoriamente la calidad de la masa y el pan (**Xu y col., 2019**). Actualmente, también existen diversos estudios en donde se ha demostrado que el gluten de trigo interactúa mediante enlaces covalentes con diferentes ácidos fenólicos, como el ácido clorogénico (**Baiano y col., 2015; Han y Koh, 2011a; Świeca y col., 2014**). Esto contribuye a alterar la estructura, formación y desarrollo de la masa; como así también son capaces de interactuar con el almidón y competir por el agua; esto modificaría enormemente las propiedades reológicas de la masa (**Zhu, 2015; Zhu y col., 2016**).

Como se indicó en varias oportunidades en esta tesis, la berenjena se cosecha por tamaño, presentando diferencias bien definidas a lo largo de su crecimiento. Es así que, como se observó en los primeros capítulos, los tamaños más pequeños presentan una ventaja nutritiva respecto a los más grandes, y esto se debe a su mayor capacidad antioxidante en relación a su mayor contenido de compuestos fenólicos. Asimismo, podrían presentarse diferencias en el contenido de fibra dietaria total o la relación entre la fibra soluble e insoluble entre frutos más cortos o con pocos días de crecimiento en relación a aquellos con el 80% del largo final, como es habitual cosecharlos. Estos contenidos variables de compuestos fenólicos y fibra entre berenjenas de distinto tamaño podrían traducirse en panes que reflejen dichas diferencias, e incluso que

afecten de distinto modo la calidad de la masa y el pan. En galletitas elaboradas con reemplazo de berenjena de diferentes variedades en polvo, se observó que las galletitas con el mayor contenido de compuestos fenólicos se correspondían con las berenjenas en polvo de la variedad que había presentado inicialmente un valor más alto, como así también habían afectado la textura y color de galletitas (**Uthumporn y col., 2015; Uthumporn y col., 2016**). En otros trabajos empleando berenjena en polvo se observó un aumento en la absorción de agua (**Perez y Germani, 2004**), una disminución en la expansión y oscurecimiento en el color de galletitas (**Perez y Germani, 2007**) con el incremento de reemplazo de la harina de trigo por berenjena, teniendo esto acoplado un aumento en el contenido de fibras y antioxidantes.

Es así que, el objetivo del presente capítulo fue analizar la calidad nutricional de berenjena en polvo elaborada a partir de dos tamaños de crecimiento diferentes, y emplearla para la obtención un pan enriquecido. Determinar su efecto sobre las propiedades reológicas de la masa, y evaluar la calidad panadera, sensorial y nutricional del pan.

V.2. MATERIALES Y MÉTODOS

V.2.1. Material de partida y elaboración de berenjena en polvo

Para este capítulo se empleó la misma harina de trigo del tipo 0000 provista por Molino Campodónico Ltda., sal final de mesa, levadura en polvo, extracto de malta y margarina que los detallados en el capítulo IV, **sección IV.2.1**. Mientras que, para la elaboración de la berenjena en polvo, en este caso, se cosecharon ~3 kg berenjenas violetas cv. Monarca de un campo de la zona de La Plata, Argentina, en dos tamaños diferentes: baby (longitud: 9 cm) y comercial (longitud: 17 cm), y una vez en el laboratorio se procesaron para realizar la berenjena en polvo como se describió en el capítulo IV **sección IV.2.2.1**, y se almacenaron en recipientes plásticos herméticamente cerrados a 0 °C durante todo el ensayo.

V.2.2. Optimización de masa-pan

Tanto los ensayos farinográfico como las curvas de fermentación fueron realizados como se detalló en el capítulo IV, **sección IV.2.2.2**, para la harina de trigo (control) y un nivel de reemplazo de 7,5% de berenjena baby y comercial en polvo (7,5 g de harina de berenjena/ 100 g de harina total). Los farinogramas se realizaron por duplicado, y las curvas de fermentación por triplicado para cada masa (2 masas por cada formulación).

V.2.3. Elaboración de la masa y el pan

Las masas control y aquellas con un reemplazo de 7,5% de berenjena baby o comercial en polvo, presentaron la siguiente formulación: harina de trigo, NaCl (2 g / 100 g de harina total), levadura seca (2,5 g / 100 g de harina total), extracto de malta (2 g / 100 g de harina total), margarina (8 g / 100 g de harina total), y berenjena baby o comercial en polvo (7,5 g de berenjena en polvo / 100 g de harina total). La elaboración del pan se realizó de la misma manera que la detallada en el capítulo IV, **sección IV.2.2.3**. La cantidad de agua y el tiempo de amasado se determinó mediante el ensayo farinográfico y el tiempo de leudado mediante las curvas de fermentación (**sección V.2.2**).

V.2.4. Determinaciones analíticas

Se determinó la composición porcentual, el contenido de antioxidantes y el color de la harina control, de la berenjena baby y comercial en polvo, y de sus respectivos panes. A su vez se evaluó la calidad panadera y sensorial de los panes. Para evaluar, no solo las ventajas nutricionales del agregado de berenjena en distintos tamaños al pan, sino también si presenta algún efecto sobre la calidad reológica y panadera.

V.2.4.1. Composición porcentual

V.2.4.1.1. Humedad

La humedad se determinó para las muestras de harina de trigo (1 g), berenjena baby y comercial en polvo (0,2 g) y sus panes (0,5 g) por gravimetría, a través del método indirecto, según lo descrito en el capítulo IV, **sección IV.2.2.1.1.1**. Las determinaciones se hicieron por triplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron como % p.h.

V.2.4.1.2. Lípidos

La determinación de lípidos se realizó en muestras de harina de trigo (5 g), berenjena baby y comercial en polvo (2 g) y sus panes (2 g) mediante el método de Soxhlet de acuerdo a AOAC 963.15 con modificaciones menores según lo detallado en el capítulo IV, **sección IV.2.2.1.1.2**. Se determinaron por duplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron como % p.s.

V.2.4.1.3. Proteínas

Se determinaron las proteínas de muestras de 1g de harina de trigo y de berenjena baby y comercial en polvo, desgrasadas previamente, y 1g de sus panes, empleando el método de Kjeldahl de acuerdo a AOAC 920-152 tal como se describe en el capítulo IV, **sección IV.2.2.1.1.3**. Se realizaron por duplicado para cada harina y pan estudiado. Los resultados se expresaron como % p.s.

V.2.4.1.4. Cenizas

Las cenizas de harina de trigo (1 g), berenjena baby y comercial en polvo (0,2 g) y sus panes (0,5 g) fueron calculadas según el método directo AOAC 900.2, especificado en el capítulo IV, **sección IV.2.2.1.1.4**. Se midieron por duplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron como % p.s.

V.2.4.1.5. Fibra dietaria (total, insoluble y soluble)

La fibra dietaria total e insoluble se determinaron a partir de 1g de muestras de harina de trigo, berenjena baby y comercial en polvo, y sus panes, mediante el método enzimogravimétrico detallado en el capítulo IV, **secciones IV.2.2.1.1.6 y IV.2.2.1.1.7**. La fibra dietaria soluble se calculó por diferencia. Los resultados se expresaron como % p.s.

V.2.5.2. Contenido de antioxidantes

Se realizaron extractos metanólicos de la misma manera que se describió en el capítulo IV, **sección IV.2.2.1.3**, para muestras de harina de trigo (0,5 g), berenjena baby y comercial en polvo (0,1 g) y sus panes (2 g). Los extractos se hicieron por duplicado, y se determinó la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles totales y de ácido clorogénico.

V.2.4.2.1. Capacidad antioxidante (mediante ABTS y FRAP)

La capacidad antioxidante se determinó mediante los métodos ABTS y FRAP:

-Ensayo ABTS: el ensayo de ABTS permite medir la capacidad de la muestra de transferir átomos de hidrógeno y electrones, en forma combinada, actuando como antioxidante y así contrarrestar a los radicales libres del entorno, que en este caso sería el ABTS^{•+} que presenta color verde-azulado y absorbe a 734 nm. La capacidad antioxidante se estimó de acuerdo a **Zaro y col. (2014b)** según lo detallado en el capítulo I, **sección I.2.3.10.3**. Se agregaron 50 µL del extracto metanólico a 1 mL de solución de trabajo ABTS^{•+} (absorbancia de $0,700 \pm 0,03$ a 734 nm), se incubó durante 6 min y se midió la absorbancia a 734 nm. Se usó una solución Trolox como estándar. Las muestras se midieron por triplicado. Los resultados se expresaron en mg/ kg de p.s.

-Ensayo FRAP: la capacidad de reducción férrica se determinó de acuerdo con **Benzie y Strain (1999)** con algunas modificaciones. El ensayo de FRAP permite medir la capacidad reductora (transferencia de electrones) de la muestra sobre el catión férrico, catión usualmente empleado como catalizador en reacciones biológicas de generación de especies reactivas del oxígeno. Una vez reducido, el catión ferroso se compleja con el reactivo de FRAP que contiene el ligando tripiridil-triazina (TPTZ). Este complejo de color azul intenso presenta un máximo de absorción a 593 nm. El reactivo de FRAP se preparó a partir de 2,5 mL de reactivo de TPTZ (10 mmol TPTZ en 40 mmol HCl); 2,5 mL de FeCl₃ (20 mM) y 25 mL de buffer (300 mM de NaAc y 6 mM de HAc, pH 3,6). Este reactivo se preparó al momento de la determinación. El reactivo FRAP recién preparado (0,9 mL) se mezcló con 0,1 mL del extracto metanólico. Después de 6 min, la absorbancia de la muestra se midió a 593 nm. Se usó una solución Trolox como estándar. Las muestras se midieron por triplicado. Los resultados se expresaron mg / kg de p.s.

V.2.4.2.2. Fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó mediante la técnica Folin-Ciocalteu como se describió en el capítulo I, **sección I.2.3.10.2**. Una mezcla de 100 µL de extracto

metanólico, 50 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:1 en agua), 100 µL de Na₂CO₃ al 20% (20% en NaOH 0,1 M) y 2,25 mL de agua destilada se incubó durante 90 min. Su absorbancia se midió a 760 nm. El contenido de compuestos fenólicos se calculó utilizando ACG como estándar. Las mediciones se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como mg/ kg de p.s.

V.2.4.2.3. Ácido clorogénico por HPLC

El ACG se determinó en el extracto metanólico utilizando un sistema de HPLC (Hewlett-Packard, CA, EE. UU.) equipado con una columna C18, 5 µm, 4,6 mm X 250 mm (Spherisorb ODS2, Waters) y un detector DAD (Waters 2998, λ: 330nm). La fase móvil se acidificó con ácido fórmico al 1% (v / v) en agua Milli-Q, (A) y acetonitrilo (B). El gradiente fue de 5% de B durante 5 min, 5-60% de B durante los 5-65 min, 60-100% de B durante los 65-66 min. El volumen de inyección fue de 20 µL y el caudal se mantuvo a 0,5 mL / min. La cuantificación se basó en el área del pico y la masa del patrón de calibración externo que generó la curva correspondiente al pico. Las mediciones se realizaron por duplicado. Se utilizó ácido clorogénico (Sigma-Aldrich) como estándar y los resultados se expresaron en mg/ kg p.s.

V.2.4.3. Color

Se determinó el color de la harina de trigo, de la berenjena baby y comercial en polvo, y de la corteza y miga de sus panes empleando un colorímetro (Minolta CR-400) como se describió en la **sección I.2.3.4**. Las medidas se hicieron por triplicado para cada harina y pan estudiado (N=10). Se registraron los valores L^* , a^* y b^* del sistema CIELab, y también se calculó la diferencia de color respecto al trigo, ΔE , para las harinas y los panes de berenjena, empleando la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

Siendo:

L^*_1 , a^*_1 y b^*_1 los parámetros de la harina de trigo el pan control según corresponda.

L^*_2 , a^*_2 y b^*_2 los parámetros de las berenjenas baby o comercial en polvo, o de sus panes según corresponda.

V.2.4.4. Calidad panadera

V.2.5.4.1. Volumen específico del pan

El volumen específico de los panes se realizó a través del método de desplazamiento de semillas de colza detallado en el capítulo IV, **sección IV.2.2.3.1.1**. Se midieron diez panes de cada formulación y el resultado se expresó en cm³/g.

V.2.4.4.2. Análisis de perfil de textura

Un texturómetro (TA.XJ2i Stable Micro Systems, UK) fue usado para realizar el análisis de perfil de textura de cilindros de la parte central de los panes como se describió en el capítulo IV, **sección IV.2.2.3.1.2**. Se midieron 10 panes de cada formulación. La dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad fueron calculados.

V.2.4.4.3. Área ocupada por alveolos

Rebanadas centrales de los panes fueron escaneadas y analizadas mediante el software ImageJ 1.37 según lo indicado en el capítulo IV, **sección IV.2.2.3.1.5**. Se emplearon diez rebanadas de panes distintos para cada formulación. El resultado fue expresado como %.

V.2.5. Análisis sensorial: escala hedónica

Se realizó un análisis sensorial de los panes con berenjena baby y comercial en polvo para evaluar sus propiedades organolépticas y su aceptación.

Para ello, se utilizó una escala hedónica de nueve puntos, desde “*disgusta*” (1) a “*gusta*” (9), y un panel no entrenado de 80 personas consumidoras de berenjena. Se les pidió que probaran los panes con agregado de berenjena baby y comercial de forma independiente, y que, luego, indicaran su nivel de agrado sobre los siguientes parámetros: aceptabilidad general, color de miga, sabor y textura. Además, se les preguntó si comprarían el producto y cuál escogería, para obtener mayor información sobre la aceptabilidad del producto en el mercado.

A las muestras se le asignaron números de tres cifras seleccionados al azar, y se presentaron de forma aleatoria en bandejas de plástico junto a las planillas (**Figura V.1**). Finalmente se decodificaron las planillas y se analizaron los resultados para cada parámetro mediante un ANOVA con una significancia de 0,05.



Figura V. 1. Presentación de las muestras y planilla para la realización del análisis sensorial.

V.2.7. Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron de acuerdo a un diseño factorial. Los datos se analizaron por medio de un ANOVA con el software InfoStat (Di Rienzo y col., 2011) y las medias se compararon con la prueba de LSD de Fisher a un nivel de significancia $P < 0,05$.

V.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.3.1. Composición nutricional de la harina y berenjena en polvo

Como se informa en la literatura, la composición de la harina mezcla de partida podría afectar la calidad final del pan (**Mastromatteo y col., 2012a**). En particular, se ha reportado que el contenido de proteínas del gluten del trigo (**Kihlberg y col., 2004**), el agregado de fibra dietaria (**Salinas y Puppo, 2013**) y de ácidos fenólicos (**Xu y col., 2019**) son factores que afectan el volumen del pan, e influyen en la apariencia del mismo. En nuestro caso, como se observó en el capítulo IV, en panes con reemplazo parcial de la harina de trigo por berenjena en polvo, a medida que aumentamos el nivel de berenjena, y con ello el contenido de fibra, las masas presentaron un comportamiento reológico diferente, y los panes un menor volumen específico, menor área ocupada y apariencia de alveolos, y una textura de la miga más firme. A su vez, como se mencionó en la introducción, la composición porcentual de los frutos de berenjena podría alterarse durante su desarrollo, al igual que se sabe que su contenido de antioxidantes es mayor en frutos baby y disminuye con el crecimiento del fruto (capítulo I y II), pudiendo verse influenciado el comportamiento reológico de la masa y, con ello, la calidad panadera del producto. Asimismo, es de amplio interés conocer la composición y el aporte nutricional del material de partida a la hora de desarrollar un nuevo producto. Es así que se analizó la composición porcentual y el contenido de antioxidantes de berenjena deshidratada por liofilización y convertida en polvo, partiendo de dos tamaños, baby y comercial de fruto; como así también la de la harina de trigo.

V.3.1.1. Composición porcentual de la harina y berenjena en polvo

Los resultados muestran que conforme aumentó el tamaño del fruto desde baby a comercial también lo hizo el contenido de humedad (23%) y disminuyó el porcentaje de proteínas (15%) (**Tabla V.1**). Mientras que, los lípidos y cenizas no mostraron diferencias significativas. En variedades de tomate de diferente tamaño, se ha reportado un aumento en el contenido de humedad, y una constancia en su contenido de cenizas, proteínas y lípidos con la maduración, como así también un aumento con el tamaño del fruto, característico de la variedad estudiada (**Opara y col., 2012**). En contraposición, **Vendramini y Trugo (2000)**, determinaron una disminución de hasta un 30% en el contenido de proteínas con la madurez del fruto de tomate.

Por otro lado, conforme aumentó el tamaño del fruto no se observó alteración del contenido de fibra dietaria total. Sin embargo, la distribución entre fibra insoluble y soluble varió significativamente. Así, a medida que creció el fruto desde baby a

comercial, disminuyó el porcentaje de fibra insoluble y aumentó el de soluble (**Tabla V.1**). La fibra insoluble representó un 95% de la total en berenjena baby en polvo y un 70% en la de tamaño comercial; mientras que la soluble fue de 5 y 30% para baby y comercial, respectivamente (**Tabla V.1**). Asimismo, se ha reportado que el tomate maduro posee más polisacáridos solubles y menos pectinas, hemicelulosa y celulosa que conforman sus paredes celulares respecto de los tomates verdes o inmaduros (**Sakurai y Nevins, 1993**). De tal manera que los constituyentes del grupo de fibras insolubles disminuyen con la maduración. Sin embargo, la berenjena incluso en su tamaño comercial, se cosecha cuando aún está inmadura, por lo que los cambios observados en nuestro trabajo nos indican que, no solo con la maduración del fruto como en el caso del tomate, sino que también con el crecimiento del fruto, ocurre una modificación en los tipos de fibra que constituyen a la fibra dietaria total, y podrían ser responsables de un comportamiento reológico diferencial.

Tabla V. 1. Composición porcentual de la harina de trigo (control) y de berenjenas baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Control	Berenjena en polvo	
		Baby	Comercial
Humedad (% p.h)	13,61±0,13 ^b	13,58±0,26 ^b	16,70±0,65 ^a
Proteínas (% p.s)	13,20±0,03 ^a	12,99±0,02 ^a	11,01±0,29 ^b
Lípidos (% p.s)	1,53±0,06 ^a	1,98±0,07 ^a	1,57±0,10 ^a
Ceniza (% p.s)	0,84±0,03 ^b	9,16±0,46 ^a	8,72±0,47 ^a
*Hidratos de carbono (% p.s)	84,43	75,87	78,70
Fibra dietaria total (% p.s)	6,1±0,3 ^b	47,56±2,67 ^a	51,14±2,16 ^a
Fibra insoluble (% p.s)	5,1±0,4 ^c	45,31±1,50 ^a	35,75±2,16 ^b
**Fibra soluble* (% p.s)	1,0	2,25	15,39

Valores promedio ± DS, %p.h= g/100 g peso húmedo, % p.s= g/100 g peso seco, *Hidratos de carbono= 100- %Proteínas-%Lípidos -%Cenizas, **Fibra soluble= fibra total-fibra insoluble.

En lo que respecta al aporte de nutrientes de las berenjenas baby y comercial en polvo respecto a la harina de trigo, al igual que en el capítulo IV, la mayor diferencia se dio en que las berenjenas en polvo presentaron un mayor contenido de cenizas (~9 veces) y de fibra dietaria total (~8 veces), siendo, particularmente, el aporte de fibra insoluble respecto al control entre 9-7 veces más y el de soluble entre 2-15 veces más, para la berenjena baby y comercial en polvo respectivamente (**Tabla V.1**).

V.3.1.2. Antioxidantes de la harina y berenjena en polvo

En el capítulo IV se mostró que la liofilización había resultado adecuada para mantener una buena proporción de los antioxidantes hidrofílicos (**sección IV.3.1.2**) respecto del fruto fresco de un tamaño comercial. Sin embargo, al variar la morfología y composición de los frutos durante el crecimiento, podrían registrarse alteraciones en los niveles de antioxidantes ante el proceso de deshidratación por liofilización. Por ello, y sumado a la importancia de conocer el aporte nutricional del material de partida en el desarrollo de un producto, es que aquí se determinaron nuevamente los antioxidantes en berenjenas baby y comercial en polvo bajo las mismas condiciones, y se comparan con los de la harina de trigo (**Tabla V.3**).

En concordancia con lo observado para fruto fresco de tamaños baby y comercial en los primeros capítulos de la tesis, también aquí las berenjenas en polvo logradas por liofilización mostraron niveles ~50% mayores de capacidad antioxidante, contenido de fenoles totales y ácido clorogénico cuando se trató de frutos baby respecto de comercial (**Tabla V.2**). En todos los casos se obtuvo una muy buena correlación de los fenoles totales con la capacidad antioxidante medida por ABTS ($r=1,000$) y FRAP ($r=0,996$). Estos resultados muestran que la berenjena en polvo posee capacidades antioxidantes mediadas por la capacidad de transferencia de electrones (FRAP) y de átomos de hidrógeno en forma combinada (ABTS).

Tabla V. 2. Fenoles totales, capacidad antioxidante total mediante la técnica de ABTS y FRAP, fenoles totales y ácido clorogénico (ACG) de las harinas de trigo (control), y de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Control	Berenjena en polvo	
		Baby	Comercial
ABTS (mg/kg p.s)	482±44 ^c	23409±1138 ^a	16015±547 ^b
FRAP (mg/kg p.s)	156±2 ^c	20110±1108 ^a	11905±430 ^b
Fenoles totales (mg/kg p.s)	821±58 ^c	24282±534 ^a	16479±237 ^b
ACG (mg/kg p.s)	nd	21952±953 ^a	14468±783 ^b

Valores promedio ± DS. nd: no detectado.

A su vez, las berenjenas en polvo presentaron entre 48 y 33 veces más capacidad antioxidante medida por ABTS y entre 129 y 76 veces más capacidad antioxidante medida por FRAP que la harina de trigo, dependiendo dichos valores de si se trató de la harina elaborada a partir de fruto baby o comercial, respectivamente (**Tabla V.3**). A su vez, las berenjenas baby y comercial en polvo presentaron entre 30 y 20 veces más

polifenoles totales que la harina de trigo, respectivamente, y un aporte neto del ácido clorogénico, como principal compuesto fenólico.

V.3.2. Optimización de masa-pan

El ensayo farinográfico, necesario para determinar la cantidad de agua y el tiempo de amasado óptimos, mostró curvas muy similares para la berenjena baby (**Figura V.2.B**) y comercial (**Figura V.2.C**) en polvo, cuyo comportamiento se correspondió con lo observado para el reemplazo de 7,5% del capítulo IV (**Figura IV.9.C**). Esto es, un primer pico alrededor de los 2 min por debajo de 500 UB, y un segundo pico, alrededor de los 14 min, con el cual se alcanzan las 500 UB y se mantienen levemente en el tiempo para luego decaer. Esto indicó que no se observaron diferencias en la resistencia al amasado debido al tamaño de fruto empleado. Por otro lado, presentaron la misma diferencia respecto al control (**Figura V.2.A**), un segundo pico mucho más pronunciado.

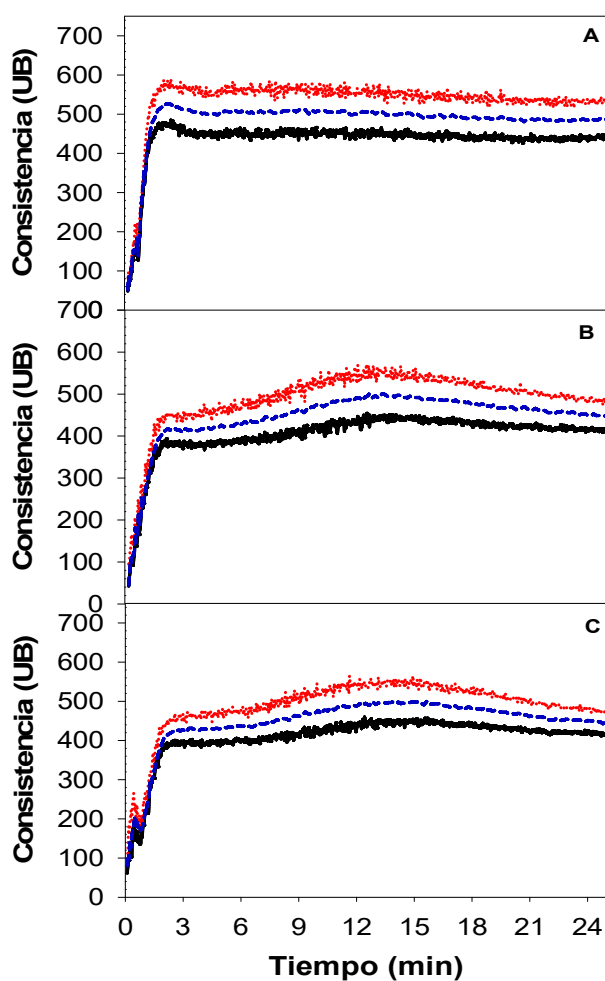


Figura V. 2. Farinogramas obtenidos para la harina de trigo (control) (A) y las mezclas con berenjena baby (B) y comercial (C) en polvo (7,5 g berenjena en polvo/100 g harina total) con agregado de sal (2 g/100 g total).

Por otro lado, durante el ensayo farinográfico para determinar el tiempo de fermentación óptimo, las curvas fueron modeladas mediante la ecuación de Chapman, al igual que en el capítulo IV, obteniendo r^2 mayores a 0,97 (**Figura V.3**).

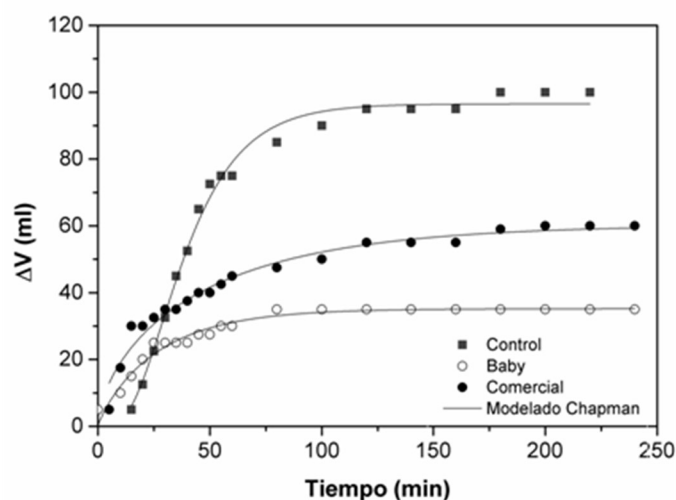


Figura V. 3. Curvas de fermentación para las masas con harina de trigo (control) (■) y con un 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/100 g harina total) de reemplazo por berenjena baby (○) y comercial (●) modeladas mediante la ecuación de Chapman (línea gris).

Al evaluar específicamente los diferentes parámetros farinográficos y de fermentación, la única diferencia significativa entre la berenjena baby y comercial en polvo se observó para el caso de la absorción de agua y el volumen máximo de masa alcanzado en el leudado (**Tabla V.3**). Presentando la masa elaborada con berenjena baby en polvo ~2% más de absorción de agua y ~42% menos de volumen máximo que al realizarla con berenjena comercial (**Tabla V.3**). En este caso, el factor de dilución del gluten para explicar el menor volumen de masa no podría ser empleado, debido a que aquí el nivel de reemplazo fue 7,5% para ambas berenjenas en polvo. Es así, que podemos decir que la mayor absorción de agua y menor expansión de la masa para el caso de berenjena baby, podría estar relacionado con la mayor proporción de fibras insolubles. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en el resto de los parámetros tales como tiempo de desarrollo, estabilidad, aflojamiento y tiempo óptimo de fermentación (**Tabla V.3**).

Por otro lado, al comparar ambas berenjenas en polvo con la harina de trigo, se observó que ambas mostraron tendencias similares a las ya mencionadas en el capítulo IV. Los polvos de berenjena absorbieron más agua, requirieron un mayor tiempo para el desarrollo de la masa y las mismas presentaron menor estabilidad que el control; a su

vez, las masas elaboradas con berenjena baby y comercial en polvo solo alcanzan el 35-60% del volumen máximo de leudado alcanzado con el control, respectivamente (**Tabla V.3**).

Tabla V. 3. Parámetros farinográficos tales como absorción de agua, tiempo de desarrollo (td), estabilidad y aflojamiento; y de la fermentación: volumen máximo (Vmax) y tiempo de fermentación (tf), para la harina de trigo (control), y de las mezclas con berenjena baby y comercial en polvo en un nivel de reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/100 g harina total). Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Control	Mezclas con berenjena en polvo	
		Baby	Comercial
<u>Parámetros farinográficos</u>			
Absorción de agua (%)	57,7±0,3 ^c	62,6±0,1 ^a	61,5±0,4 ^b
t _d (min)	9,0±0,0 ^b	13,7±0,1 ^a	14,5±0,8 ^a
Estabilidad (min)	36,3±0,7 ^a	13,4±0,2 ^b	12,8±0,4 ^b
Aflojamiento (UB)	18,5±6,4 ^b	52,5±3,5 ^a	65,0±7,1 ^a
<u>Parámetros de la fermentación</u>			
V _{max} (mL)	97,6±1,6 ^a	34,4±0,6 ^c	59,5±2,1 ^b
t _f (min)	52,0±0,5 ^a	50,7±7,5 ^a	58,6±0,9 ^a

Valores promedio ± DS.

Cuando se empleó el mismo porcentaje de reemplazo de harina de trigo por achicoria y arveja en polvo, los cuales presentaron un contenido de fibra dietaria total similar, pero la arveja una mayor proporción de fibra insoluble, se observó un comportamiento reológico diferenciado de la masa (**Wang y col., 2002**). Es así que, la mayor proporción de fibra insoluble, del reemplazo con arveja, dio como resultado una mayor absorción de agua farinográfica, igual tiempo de desarrollo y menor volumen de masa durante la fermentación, en similitud con lo hallado en este caso para la berenjena baby. A su vez, existen trabajos en donde se le atribuye a la interacción entre ácidos fenólicos y el gluten los cambios reológicos de la masa. Así, la incorporación de ácido ferúlico en la masa de trigo disminuyó la resistencia a la extensión de la masa, por el alto peso molecular del complejo gluten-ácido ferúlico formado (**Nicks y col., 2013**).

V.3.3. Apariencia y color

A simple vista, las berenjenas en polvo presentaron una apariencia bien diferente entre ellas y respecto al control, lo cual también se vio reflejado en la corteza y miga de sus respectivos panes (**Figura V.4**).

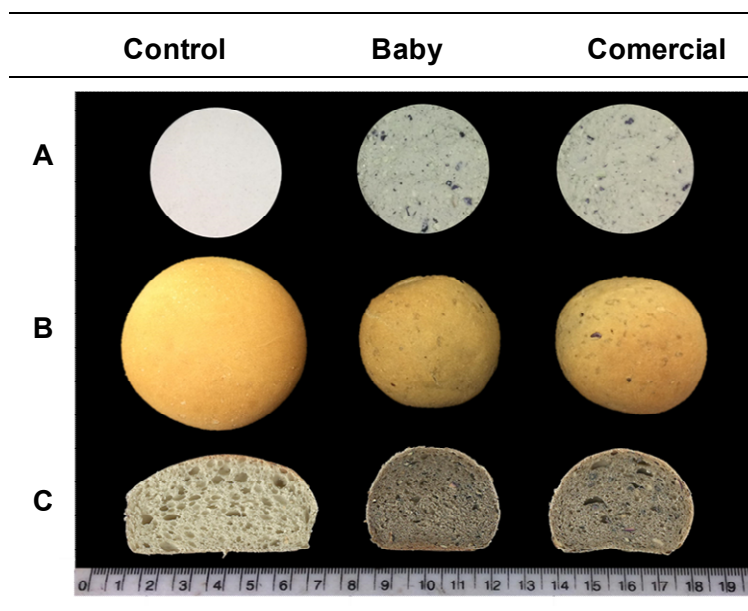


Figura V. 4. Apariencia de la harina de trigo (Control), de la berenjena baby y comercial en polvo (A), de la corteza (B) y miga (C) de sus respectivos panes.

Se midieron las variaciones en el color de la harina control, de las berenjenas baby y comercial en polvo, y de la corteza y miga de sus respectivos panes a fin de comenzar a caracterizarlos, y los valores obtenidos se muestran en la **Tabla V.4**.

Al comparar las berenjenas en polvo, se observó que el proveniente de frutos baby presentó una tonalidad verdosa más oscura que el de berenjena de tamaño comercial, dado por un mayor valor negativo de a^* , y uno menor de L^* y b^* (**Tabla V.4**). Si a dichos cambios en los parámetros de color los representamos mediante el cálculo del ΔE tomando a la harina control como referencia, observamos que la tonalidad de berenjena baby en polvo se diferenció en forma significativa de la berenjena comercial en polvo, y a su vez fue la que presentó la mayor diferencia de color con el control (**Tabla V.4**).

Por otro lado, los panes con berenjena baby en polvo presentaron, tanto en la corteza como en la miga, valores menores de L^* y b^* , pero mayores de a^* positivo, que los panes con berenjena comercial en polvo, indicando una coloración más oscura en los primeros. En conjunto, los panes con harina de berenjena en polvo presentaron también una corteza y miga más oscuras que el pan control: menor L^* , y valores más pequeños y positivos de a^* y b^* . El cálculo del ΔE^* demostró también una diferencia en el color de

los panes con berenjena baby y comercial en polvo, y entre ellos y el control, siendo nuevamente mayor dicha diferencia entre el pan control y el elaborado con berenjena baby que aquellos a partir de berenjena comercial (**Tabla V.4**).

En todos los casos, las diferencias de color encontradas entre los panes con berenjena no fueron tan marcadas como las observadas entre ellos y los panes control.

Es así que, al igual que lo mencionado en el capítulo IV, el color más oscuro observado en los panes con berenjena en polvo, más allá de poder atribuirse al color intrínseco de las respectivas harinas, podría estar relacionado con una reacción de Maillard más favorecida en aquellos con berenjena (debido al mayor contenido de azúcares solubles de la misma respecto al control). A su vez, en esta oportunidad, al haber determinado el contenido de polifenoles de las berenjenas en polvo, podemos decir que la mayor presencia de polifenoles en las mismas, principalmente en baby, se encontraría directamente relacionado con un mayor pardeamiento enzimático (mediado por la polifenol oxidasa) que resulta en un oscurecimiento (**Concellón y col., 2004**), principalmente al momento del agregado de agua en la formación de la masa, y que posteriormente se ve reflejado en el color del pan.

Tabla V. 4. Parámetros de color L^* , a^* , b^* y ΔE^* de las harinas de trigo, berenjena baby y comercial en polvo, y de la corteza y miga de sus respectivos panes. Valores con letras distintas en una misma columna indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Harina	Control	92,79±0,19 ^a	-0,12±0,06 ^a	11,16±0,09 ^c	-
	Berenjena en polvo				
	Baby	76,27±0,96 ^c	-3,34±0,13 ^b	13,37±0,29 ^b	16,99±0,89 ^a
	Comercial	77,82±0,6 ^b	-4,04±0,18 ^c	14,21±0,32 ^a	15,79±0,60 ^b
Corteza	Control	66,06±2,54 ^a	7,65±0,74 ^a	31,93±2,33 ^a	-
	Baby	50,73±0,66 ^c	6,22±0,60 ^b	27,15±0,80 ^c	16,14±0,73 ^a
	Comercial	58,05±0,84 ^b	5,60±0,88 ^c	28,57±0,87 ^b	9,02±0,66 ^b
Miga	Control	67,93±1,20 ^a	-0,76±0,06 ^c	16,61±0,38 ^a	-
	Baby	42,39±0,92 ^c	1,77±0,13 ^a	10,00±0,44 ^c	26,50±0,99 ^a
	Comercial	46,83±0,64 ^b	1,28±0,13 ^b	10,51±0,47 ^b	22,07±0,72 ^b

Valores promedio ± DS.

V.3.4. Calidad panadera

En el capítulo IV se observó que el reemplazo parcial de harina de trigo por berenjena en polvo afectó a la calidad panadera del producto final, y la misma dependió del nivel de reemplazo estudiado. La berenjena en polvo a emplear aquí proviene de frutos con

distinto tamaño y, como ya se mostró anteriormente, poseen distinta relación de proteínas, fibras y contenido de antioxidantes. Siendo que la naturaleza de las proteínas presentes en la berenjena es diferente a las del gluten del trigo, serían las fibras y el contenido de antioxidantes los principales factores que influyeron sobre las propiedades de la masa y panes. Es así que, el empleo de berenjenas baby y comercial en la formulación afectó el comportamiento reológico de las masas y el color de los panes. Por ello, se evaluó si el tamaño de fruto empleado también influyó sobre ciertos parámetros de la calidad panadera, como el volumen específico (Vesp), la fracción de área ocupada por alveolos, y la textura de la miga (**Tabla V.5**).

Tabla V. 5. Volumen específico (Vesp), fracción de área ocupada por alveolos y parámetros de textura de la miga: dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad, de los panes con harina de trigo (control) y con un reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/ 100 g de harina total) de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Control	Panes con berenjena en polvo	
		Baby	Comercial
Vesp (cm ³ /g)	2,66±0,21 ^a	1,80±0,16 ^b	1,82±0,02 ^b
Alveolos (% fracción de área)	36,20±3,98 ^a	25,56±1,61 ^b	25,15±1,68 ^b
<i>Textura de la miga</i>			
Dureza (N)	1,77±0,16 ^c	11,11±1,06 ^a	9,30±0,99 ^b
Masticabilidad (N)	1,12±0,11 ^c	4,41±0,58 ^a	3,88±0,43 ^b
Elasticidad	0,96±0,01 ^a	0,77±0,03 ^b	0,79±0,07 ^b
Cohesividad	0,66±0,01 ^a	0,53±0,02 ^b	0,52±0,02 ^b

Valores promedio ± DS.

Los panes elaborados con berenjena baby en polvo presentaron el mismo volumen específico y área ocupada por alveolos respecto de los panes con berenjena comercial en polvo, a pesar de haber logrado previamente diferencias en el volumen de leudado o fermentación. Esto podría estar relacionado con el hecho de que al inicio de la cocción, la masa sigue leudando. El incremento de volumen de la masa durante la fermentación está íntimamente relacionado con el incremento de tamaño de las burbujas de aire en la misma, y por ende con los alveolos hallados luego en la miga del pan (**Marsh y Cauvain, 2007**). Asimismo, los alveolos que se localizan próximos en la masa estarían más interconectados y podrían unificarse durante la cocción incrementándose el tamaño de los mismos (**Danza y col., 2014; Mastromatteo y col., 2015**). Es así que, al finalizar la fermentación y a pesar de que la masa con berenjena baby presentó un volumen de

masa menor que los de berenjena comercial, podrían aumentar el volumen de su masa en mayor proporción durante la cocción, alcanzando luego de la misma el volumen de los panes con berenjena comercial. **Wang y col. (2002)** hallaron resultados similares, en donde panes con agregado de arveja en polvo presentaron un menor volumen de masa luego de la fermentación, pero un similar volumen de pan que aquellos con achicoria en polvo.

Ha sido reportado que para los consumidores es más importante el sabor que la apariencia, por lo que resulta necesario estudiar atributos de textura además del volumen del pan (**Magnusson y col., 2001**). La miga de los panes elaborados con berenjena baby en polvo mostró un ~16% más de dureza y ~12% de masticabilidad respecto de los elaborados con berenjena comercial en polvo, y no mostraron diferencias en los valores de elasticidad y cohesividad entre ambos (**Tabla V.5**). La mayor dureza y masticabilidad de los panes con berenjena baby en polvo podrían estar relacionadas con el mayor porcentaje de fibra dietaria insoluble de la misma, y con la posible diferencia en el tamaño y distribución de los alvéolos, como se mencionó recientemente, que dio origen a una miga más compacta (**Figura V.4**).

Las tendencias observadas para los panes con berenjena en polvo respecto al control, se correlacionaron con los resultados obtenidos para el reemplazo de 7,5% del capítulo IV. En general, los panes con berenjena en polvo presentaron un menor volumen específico (~32%) y área ocupada por alveolos (~30%) que el control. Por otro lado, al analizar la textura de las migas, los panes con berenjena en polvo presentaron valores significativamente mayores de dureza (~5-6 veces) y masticabilidad (~3-4 veces), y menores de elasticidad (~19%) y cohesividad (~20%) que el control (**Tabla V.5**). Si bien en el capítulo IV atribuimos el menor volumen del pan con berenjena en polvo a su mayor contenido de fibras, existen diversos estudios en donde el agregado de ácidos fenólicos a la masa de trigo da como resultado un menor volumen del pan (**Han y Koh, 2011 a,b; Koh y Ng, 2009; Nicks y col., 2013**), comportamiento que no se observa aquí entre el diferente aporte de ácido clorogénico de los tamaños de berenjena, pero sí en su aporte neto respecto al control. Trabajando con el agregado de 25% de harina de pimiento amarillo, **Mastromatteo y col. (2012 a,b)** hallaron que los panes funcionales logrados también mostraban una miga con mayor dureza.

V.3.5. Composición nutricional de los panes

Es de gran importancia determinar la información nutricional de los panes obtenidos, no solo para evaluar el efecto del agregado de berenjena en los mismos, sino también para caracterizarlos nutricionalmente y poder brindarle dicha información a los consumidores,

quienes podrán, de esta forma, compararlo con otros similares en el mercado, analizar sus beneficios, y en base a sus necesidades, seleccionarlos.

V.3.5.1. Composición porcentual de los panes

La composición porcentual de los panes nos brinda información sobre las propiedades nutricionales del mismo, y permite elaborar un rótulo nutricional. Para ello, se analizaron el contenido de humedad, proteínas, lípidos, cenizas e hidratos de carbono (**Tabla V.6**).

Los frutos de berenjena de distinto tamaño presentaban diferencias en su composición que no se extrapolaron exactamente en los panes elaborados con un 7,5% de estos polvos. El contenido diferente de proteínas de las berenjenas baby y comercial en polvo no se evidenció en sus respectivos panes; pero sí difirieron, y en el mismo sentido que para los polvos, en el contenido de fibras insolubles y solubles. Los panes con berenjena baby en polvo presentaron un ~13% más de fibra insolubles y ~46% menos de solubles que los panes con berenjena comercial en polvo (**Tabla V.6**). En concordancia con ello, **Wang y col. (2002)**, hallaron que la proporción de fibra insoluble y soluble de arveja y achicoria en polvo, se vio correspondida con la hallada en sus respectivos panes enriquecidos en un mismo nivel de reemplazo.

Los panes con agregado de berenjena en polvo presentaron una mejora nutricional respecto al control. Los panes con berenjena en polvo, presentaron un ~11% menos de lípidos, un ~20% más de cenizas, y un ~50% más de fibra dietaria total; siendo un ~56-37% más de insolubles y ~21-130% de solubles en los panes con berenjena baby y comercial en polvo, respectivamente (**Tabla V.6**). A partir de estos resultados, podemos decir que el mayor nivel de fibra en los panes con berenjena en polvo presentaría una estrecha relación con el menor volumen específico, y la mayor dureza de la miga de los mismos, y en particular, los panes con berenjena baby en polvo causaron el mayor efecto debido tal vez a su mayor proporción de fibra insoluble. En el mismo sentido, **Frutos y col. (2008)** encontraron una buena correlación entre el aumento de la cantidad de fibra de alcaucil (fibra insoluble mayoritariamente) añadida y la disminución del volumen específico del pan y aumento de la dureza de la miga.

Finalmente, el contenido de humedad alcanzado fue el mismo para todos los panes, por lo que en este caso no se relacionaría con las propiedades de textura; como así también no variaron las proteínas, y los hidratos de carbono totales.

Tabla V. 6. Composición porcentual de los panes con harina de trigo (control) y con un reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/ 100 g de harina total) de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Panec con berenjena en polvo		
	Control	Baby	Comercial
Humedad (%p.h)	37,61±1,15 ^a	37,25±2,98 ^a	38,23±1,02 ^a
Proteínas (%p.s)	14,17±0,17 ^a	14,36±0,01 ^a	14,36±0,27 ^a
Lípidos (%p.s)	5,51±0,09 ^a	4,97±0,00 ^b	4,79±0,28 ^b
Cenizas (%p.s)	2,51±0,04 ^b	3,17±0,10 ^a	3,08±0,21 ^a
*Hidratos de carbono (%p.s)	77,81	77,5	77,77
Fibra dietaria total (% p.s)	5,29± 0,10 ^b	8,02± 0,08 ^a	7,79 ± 0,37 ^a
Fibra insoluble (% p.s)	4,68± 0,07 ^c	7,28± 0,11 ^a	6,43±0,06 ^b
**Fibra soluble (% p.s)	0,61	0,74	1,36

Valores promedio ± DS, %p.h= g/100 g peso húmedo, % p.s= g/100 g peso seco, *Hidratos de carbono= 100- %Proteínas-%Lípidos -%Cenizas, **Fibra dietaria soluble= fibra dietaria total-fibra insoluble.

V.3.5.2. Contenido de antioxidantes de los panes

Evaluar el contenido de antioxidantes fue un objetivo central del presente trabajo de tesis. Es así que, para esta parte, como ya fue mencionado, la berenjena en polvo fue elaborada a partir de liofilización para evitar lo más posible el deterioro de sus compuestos fenólicos, y así, poder evaluarlos en los panes con agregado de berenjena en polvo, y comparar su aporte respecto al pan control. A su vez, es necesario conocer su aporte de nutrientes y de fitoquímicos que puedan ejercer luego un efecto beneficioso al ser consumidos.

En secciones anteriores se mostró que las berenjenas baby presentaban más antioxidantes que las berenjenas de tamaño comercial, tanto cuando fueron analizados los frutos frescos como los polvos liofilizados respectivos. Aquí también se observa esa tendencia al analizar los panes. Es así que, los panes con berenjena baby en polvo presentaron un 50-70% más de capacidad antioxidante ABTS-FRAP, 20% más de compuestos fenólicos y más de 3 veces de ácido clorogénico respecto de los panes con berenjena comercial en polvo (**Tabla V.7**).

A su vez, los panes con agregado de berenjena en polvo, principalmente con berenjena baby, mejoraron las propiedades antioxidantes respecto del pan control. La capacidad antioxidante determinada mediante ABTS y FRAP de los panes elaborados con berenjena baby en polvo, respecto al control, presentaron un incremento de 141 y 256%,

respectivamente, mientras que aquellos con berenjena de tamaño comercial un 61 y 108%, respectivamente. Del mismo modo, el contenido de fenoles totales fue entre un 256 y 197% más altos en los panes con berenjena baby y comercial en polvo, respectivamente, que en los panes control (**Tabla V.7**). Al igual que lo mencionado para las berenjenas en polvo, los compuestos presentes en los panes responden a ambos mecanismos de defensa antioxidante (transferencia de electrones o protones), aunque el enriquecimiento con berenjena permitió destacar notablemente estas propiedades antioxidantes. A su vez, estudios recientes, demuestran que los productos de la reacción de Maillard, principalmente las melanoidinas, tienen propiedades antioxidantes y podrían contribuir, en mayor medida, a su cuantificación mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu y a eliminar radicales ABTS^{•+} (**Nooshkam y col., 2019**), explicándose así los mayores valores obtenidos mediante estas técnicas en comparación con FRAP.

Por otro lado, como era de esperar por lo observado previamente en la harina de trigo (control), los panes control no presentaron ácido clorogénico, por lo que sería otra ventaja atribuida al empleo de berenjena en polvo (**Tabla V.7**).

Ranawana y col. (2016) demostraron una mejora nutricional en panes con agregado de zanahoria, tomate, brócoli y remolacha en polvo, obtenido por liofilización, e incluso en ellos la capacidad antioxidante hallada tuvo cierta relación con la de partida en los productos frescos (**Kaur y col., 2014**). Por otro lado, en galletitas con reemplazo de berenjena de diferentes variedades en polvo, también se observó que las galletitas con el mayor contenido de compuestos fenólicos se correspondían con las berenjenas en polvo de la variedad que habían presentado inicialmente un valor más alto (**Uthumporn y col., 2015; Uthumporn y col., 2016**).

En resumen, en cuanto al aspecto nutricional, podemos destacar que los panes con un reemplazo de la harina de trigo por berenjena baby y comercial en polvo en un nivel de 7,5% presentaron un 50% más de fibra dietaria total que el control. Por otro lado, si bien el agregado de berenjena en un tamaño comercial habitual incrementó en hasta un 100% la capacidad antioxidante de los panes, mediante el uso de berenjena baby se alcanzaron incrementos de hasta más de un 200%.

Tabla V. 7. Contenido de antioxidantes de los panes con harina de trigo (control) y con un reemplazo de 7,5% (7,5 g de berenjena en polvo/ 100 g de harina total) de berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Panec con berenjena en polvo		
	Control	Baby	Comercial
ABTS (mg/kg p.s)	333,9±22,0 ^c	806,4±53,6 ^a	537,3±34,4 ^b
FRAP (mg/kg p.s)	162,2±7,2 ^c	575,7±13,5 ^a	337,2±9,7 ^b
Fenoles totales (mg/kg p.s)	269,0±5,8 ^c	958,7±21,8 ^a	798,0±24,3 ^b
ACG (mg/kg p.s)	nd	313,5±41,4 ^a	96,9±6,8 ^b

Valores promedio ± DS, nd: no detectado, p.s: peso seco, ABTS: capacidad antioxidante equivalente a Trolox medida por la técnica de ABTS, FRAP: capacidad antioxidante equivalente a trolox medida por la técnica de FRAP.

V.3.6. Análisis sensorial: escala hedónica

El enriquecimiento de un alimento con un determinado producto, no solo influye en la calidad general del mismo y sus propiedades nutricionales, sino que también afecta significativamente las propiedades sensoriales (**Figuerola y col., 2005**), es por ello que fue de suma importancia realizar un análisis sensorial de los panes. En este caso se analizaron los parámetros de aceptabilidad general, color de miga, sabor y textura, cuyos puntajes medios obtenidos pueden observarse en la **Tabla V.8**. Si bien, en todos los casos, se obtuvo un puntaje mayor a 5, lo cual indica una buena aceptación del producto por parte del consumidor (**Bower, 2013**), no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros para los panes con berenjena baby y comercial en polvo.

En ciertos parámetros de calidad panadera, tales como el color y textura, si bien encontramos diferencias significativas al medirlos experimentalmente, mediante el análisis sensorial no se encontraron diferencias significativas en los puntajes otorgados por los consumidores. Por otro lado, si bien el mayor contenido de antioxidantes en el pan con berenjena baby podría influir sobre el sabor del producto, sensorialmente no fue significativamente diferente.

Tabla V. 8. Puntajes medios obtenidos para los distintos parámetros del análisis sensorial realizado para los panes con berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

	Panes con berenjena en polvo	
	Baby	Comercial
Aceptabilidad general	6,2±1,8 ^a	6,5±1,7 ^a
Color miga	5,9±2,1 ^a	6,4±2,1 ^a
Sabor	6,4±1,9 ^a	6,9±1,6 ^a
Textura	6,1±2,0 ^a	6,2±1,9 ^a

Valores promedio ± DS

Por otro lado, decidimos analizar la valoración sensorial de los consumidores empleando un gráfico de distribución de los puntajes de cada atributo evaluado (**Figura V.5**). Así, se evidenció que siempre fueron seleccionados con mayor frecuencia los puntajes más altos para todos los atributos, aunque no se observó la misma tendencia para todos los casos. En lo que respecta a la aceptabilidad general y el color de la miga, los puntajes más altos fueron atribuidos con una mayor frecuencia a los panes con berenjena comercial en polvo, que eran más claros (**Figura V.5.Ay B**). Mientras que, para el sabor, la mayor frecuencia de selección se dio a un puntaje de 8 para los panes con berenjena baby en polvo (**Figura V.5.C**); y en el caso de la textura, parecieran no haber percibido diferencias (**Figura V.5.D**). Esto pone en evidencia que, más allá de los gustos de cada consumidor, fueron capaces de detectar diferencias en el color y sabor de los panes, pero no en textura. Siendo las diferencias en textura halladas con el texturómetro no perceptibles a nivel sensorial. La aceptabilidad general fue la primera consigna a responder por los evaluadores. Por lo que debieron observar y degustar el pan, y basar su elección en un conjunto de atributos (apariencia de la corteza, la miga, el alveolado, el carácter esponjoso, el color general, su aroma y sabor, entre otros). Una vez realizado esto, se hizo hincapié en atributos específicos de interés tales como: color de miga, sabor y textura. Los gráficos de frecuencia nos permitieron observar que el atributo de color de miga fue relevante al momento de la asignación de puntaje en el atributo aceptabilidad general dada la paridad de la tendencia entre ellos al asignar tanto los mayores puntajes (7 y 8) como los valores relativos entre pan enriquecido con berenjena baby y comercial. Mientras que, si bien el sabor también tuvo la mayor frecuencia de puntajes elevados en 7 y 8, los valores relativos indican que prefirieron los panes con berenjena baby; y por tanto su influencia en la aceptabilidad general ha tenido menos peso que el color.

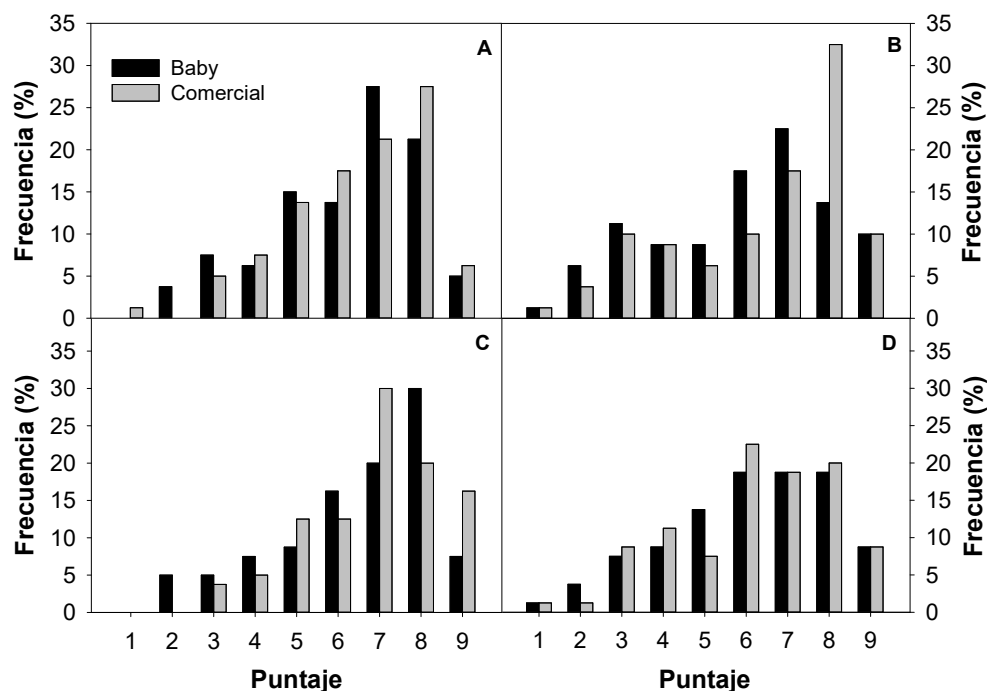


Figura V. 5. Puntajes medios obtenidos para la aceptabilidad general (A), color de miga (B), sabor (C) y textura (D) de los panes con berenjena baby y comercial en polvo. Valores con letras distintas en una misma fila indican diferencias según test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

A su vez, las respuestas a la pregunta que se adicionó al análisis sensorial: “¿Comprarían el producto? ¿Cuál escogerían?” nos indicaron que: dentro de 77 personas que respondieron dicha pregunta, 66 lo comprarían (86%), y de ellos 27 (41%) seleccionaron el pan elaborado a partir de berenjena baby, y 39 (59%) a partir de comercial (datos no mostrados). Esta pregunta debieron contestarla luego de analizar completamente las muestras, por lo que al compararlas con la distribución de los puntajes de los distintos atributos podemos concluir que: dada la tendencia de las respuestas, los consumidores eligieron siendo influenciados en mayor magnitud por la aceptabilidad general y color más claro del pan con berenjena comercial que por el sabor más intenso del pan con berenjena baby.

Wang y col. (2002), si bien encontraron diferencias significativas en la calidad panadera al enriquecer a la harina de trigo con arveja y achicoria en polvo, partiendo de un valor similar de fibra dietaria total, tampoco vieron diferencias en la aceptación sensorial. Por otro lado, **Frutos y col. (2008)** al aumentar el agregado de alcaucil en polvo al pan, y con ello el contenido de fibra total e insoluble, más allá de observar diferencias en las propiedades texturales del pan, las mismas fueron detectadas por los consumidores en

los niveles más altos del reemplazo, sin embargo, dicho parámetro no se vio reflejado en la aceptabilidad general del producto porque la misma no presentó diferencias.

Finalmente, los consumidores otorgaron un puntaje elevado a los panes indicando esto que les agradó. Si bien no se encontraron diferencias estadísticas en los parámetros sensoriales evaluados, la distribución de puntajes y la respuesta de preferencia de un pan por sobre el otro, mostró una tendencia hacia la selección del pan con berenjena comercial en polvo (más claro y menos intenso).

V.4. CONCLUSIONES PARCIALES

- Nutricionalmente, la berenjena baby en polvo presentó un menor contenido de humedad (23%) y más proteínas (15%) que la berenjena comercial en polvo. Si bien el contenido de fibra dietaria total fue el mismo y con mayor proporción de fibra insoluble, con el crecimiento del fruto desde baby a comercial se observó una mayor proporción de fibras solubles, pasando de 5 a 30%. La capacidad y contenido de antioxidantes fue ~50% más alta en la berenjena baby respecto a la comercial en polvo.
- El comportamiento reológico de la masa fue diferente, ya que aquella con berenjena baby presentó mayor absorción de agua y menor volumen de masa luego del leudado respecto de la masa con berenjena comercial. Sin embargo, estas diferencias no se trasladaron a los panes. Luego de la cocción, los panes mostraron igual volumen específico, humedad de la miga y alveolado.
- Ambos panes con berenjena presentaron una buena calidad panadera, aunque con algunas diferencias. Los panes de berenjena baby en polvo presentaron una corteza y miga más oscuras y una mayor dureza en relación a los de berenjena comercial.
- La principal diferencia nutricional en los panes elaborados a partir de berenjena baby y comercial fue la proporción de fibras insolubles y solubles y en el contenido de antioxidantes. Los panes con berenjena baby en polvo presentaron ~13% más de fibra insolubles y ~46% menos de solubles, y un 20% más de compuestos fenólicos que aquellos elaborados a partir de berenjena comercial. Estos compuestos presentes en mayor magnitud en la berenjena baby en polvo y sus panes serían los responsables de las diferencias en la calidad reológica (absorción de agua y leudado) y panadera (color y textura) respecto de los panes con berenjena comercial en polvo.
- Los panes con agregado de berenjena en polvo de ambos tamaños presentaron una mejora nutricional respecto del control, alcanzando ~50% más de fibra dietaria total, y enriquecidos entre 100-200% de capacidad antioxidante, según se emplee berenjena comercial o baby, respectivamente.
- Los panes enriquecidos con berenjena de ambos tamaños fueron muy bien aceptados por los consumidores. No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros sensoriales analizados; sin embargo, se observó una tendencia hacia la selección de los panes elaborados con berenjena comercial en polvo.

Por lo que, si bien la berenjena baby en polvo presentó ventajas nutricionales respecto a la comercial, a la hora de evaluar el comportamiento reológico y la calidad panadera, los panes con berenjena comercial presentaron un mejor comportamiento. Esto nos permite concluir que el polvo de ambos tamaños de berenjena fue apto para realizar el pan, y que permiten optar por el empleo de uno u otro según el atributo que se quiera potenciar y/o la disponibilidad del fruto en el mercado.

Conclusiones finales

CONCLUSIONES FINALES

Los frutos de berenjena cosechados hacia el final de la temporada presentan una calidad reducida respecto a los de cosechas anteriores, pero esto se debe a los efectos climáticos característicos de cada temporada de cosecha más que al tiempo transcurrido desde el trasplante (edad de planta). La respuesta poscosecha de los frutos durante el almacenamiento a 10 °C se ve alterada por ambos factores (temporada de cosecha y tiempo transcurrido desde el trasplante). Así, presentan una mejor calidad y vida útil aquellos frutos cosechados de plantas con menor tiempo transcurrido desde el trasplante y de temporada intermedia (finales del verano).

La mayor producción de berenjena se da en la temporada intermedia en sistemas de cultivos anuales ocasionando una saturación del mercado. El empleo de la refrigeración es deseable para extender la vida útil de los mismos. Los frutos cosechados en esta temporada presentan la mejor calidad analizada desde el punto de vista de su microestructura y composición química. Ello se tradujo en que ante un almacenamiento refrigerado las berenjenas presentaron un mejor comportamiento poscosecha, como así también una mayor tolerancia al daño por frío externo e interno. Incluso, los frutos baby, o de menor tiempo de crecimiento, podrían ser almacenados a una temperatura menor a la recomendada de 10 °C dada su mayor tolerancia al daño por frío. A su vez, si bien en la temporada tardía se obtuvieron frutos de menor calidad integral y poscosecha, y más sensibles al daño por frío, se puede potenciar su comercialización desde el punto de vista de su composición química, dado a su alto contenido de compuestos fenólicos y como una herramienta de competencia en el mercado tardío de la berenjena. Además, al ser el crecimiento de los frutos en dicha temporada muy lento, se podrían aprovechar los diferentes tamaños de crecimiento remanentes en la planta al finalizar el ciclo de producción, ya sea para consumo directo o procesado, resaltando que los más pequeños presentan ventajas nutricionales respecto a los más grandes.

A su vez, como una herramienta para el aprovechamiento de los frutos y disminuir así el desperdicio poscosecha de berenjena en la zona, se puede obtener un producto deshidratado en polvo y con ello elaborar un subproducto enriquecido nutricionalmente y con mayor valor agregado. En el empleo de berenjena en polvo para la elaboración de un pan funcional, se recomienda un reemplazo de 7,5% para que, sumado a que presente grandes aportes en su contenido de nutrientes (fibras y antioxidantes) respecto al pan de trigo, resulte en un pan de buena calidad panadera y con amplia aceptación por parte de los consumidores. Podría emplearse berenjena en polvo que provenga de frutos con pocos días de crecimiento (baby) o de tamaño cercano al final (comercial) para la elaboración de los panes funcionales. Si bien el agregado de ambos polvos logra

una buena calidad panadera final, los que emplean berenjena baby son panes con mayor contenido de fibra insoluble y antioxidantes, pero los que emplean berenjena comercial tienden a ser mejor aceptados por el consumidor. Más allá de ello, constituyen una buena alternativa de agregado de valor y aumento del consumo de berenjena.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Baki, A.A., Stommel, J.R., 1995. Pollen Viability and Fruit Set of Tomato Genotypes under Optimum and High-temperature Regimes. *Horticultural Science* 30, 115.
- Abdul-Hamid, A., Luan, Y.S., 2000. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food chemistry* 68, 15-19.
- Abney, T., Russo, V., 1997. Factors affecting plant height and yield of eggplant. *Journal of Sustainable Agriculture* 10, 37-48.
- Adams, S., Cockshull, K., Cave, C., 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* 88, 869-877.
- Aguilera-Otíz, M., del Carmen Reza-Vargas, M., Chew-Madinaveita, R.G., Meza-Velázquez, J.A., 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia* 13, 16-22.
- Ahmed, F.A., Mubassara, S., Sultana, T., 2016. Phytoconstituents, bioactivity and antioxidant potential of some commercial brinjal (*Solanum melongena* L.) cultivars of Bangladesh. *Jahangirnagar University Journal of Biological Sciences* 5, 41-50.
- Alldrick, A.J., 2010. The bakery: a potential leader in functional food applications, In: Gormely, R., Holm, F. (Eds.), *Functional Foods: Some Pointers for Success*, pp. 220-225.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis, R.H., Jr, Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., Williams, C.L., 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews* 67, 188-205.
- Anónimo, 2019. El cultivo de la berenjena. Infoagro.com. <http://www.infoagro.com/hortalizas/berenjena.htm>. . Acceso: 2019
- Anza, M., Riga, P., Garbisu, C., 2006. Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. *Journal of food quality* 29, 16-37.
- AOAC, 1998. Official methods of analysis of AOAC International. Maryland: AOAC International.
- Araki, T., Kitano, M., Eguchi, H., 2000. Dynamics of fruit growth and photoassimilate translocation in tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under controlled environment, International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millennium 534, pp. 85-92.
- Asrey, R., Pal, R., Sagar, V., Patel, V., 2007. Impact of tree age and canopy position on fruit quality of guava. *Acta horticulturae* 735, 259-262.
- Aubert, S., Daunay, M., Pochard, E., 1989. Saponosides stéroïdiques de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) I. Intérêt alimentaire, méthodologie d'analyse, localisation dans le fruit. *Agronomie* 9, 641-651.
- Avello, M., Suwalsky, M., 2006. Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, 161-172.
- Baiano, A., Viggiani, I., Terracone, C., Romaniello, R., Del Nobile, M.A., 2015. Physical and sensory properties of bread enriched with phenolic aqueous extracts from vegetable wastes. *Czech Journal of Food Sciences* 33, 247-253.
- Baker, E., Bukovac, M., Hunt, G.M., 1982. Composition of tomato fruit cuticle as related to fruit growth and development, *Linnean Society symposium series*, pp. 33-44.

- Basuny, A.M., Arafat, S.M., El-Marzooq, M.A., 2012. Antioxidant and antihyperlipidemic activities of anthocyanins from eggplant peels. *Journal of Pharma Research & Reviews* 2, 50-57.
- Bautista, I., Boscaiu, M., Lidón, A., Llinares, J.V., Lull, C., Donat, M.P., Mayoral, O., Vicente, O., 2016. Environmentally induced changes in antioxidant phenolic compounds levels in wild plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 38, 9-.
- Belton, P., 2003. The molecular basis of dough rheology in Bread making: Improving quality. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, pp. 272-287.
- Benzie, I.F., Strain, J.J., 1999. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry* 239, 70-76.
- Bernardo, A., Martinez, S., Alvarez, M., Fernandez, A., Lopez, M., 2008. The composition of two Spanish pepper varieties (Fresno de la Vega and Benavente-Los Valles) in different ripening stages. *Journal of food Quality* 31, 701-716.
- Bertin, N., 2004. Analysis of the Tomato Fruit Growth Response to Temperature and Plant Fruit Load in Relation to Cell Division, Cell Expansion and DNA Endoreduplication. *Annals of Botany* 95, 439-447.
- Biesiekierski, J.R., 2017. What is gluten? *Journal of gastroenterology and hepatology* 32, 78-81.
- Bigne, F., 2016. Aplicación de harina de fruto de algarrobo en el desarrollo de productos panificados saludables. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Bigne, F., Puppo, M.C., Ferrero, C., 2016. Rheological and Microstructure Characterization of Composite Dough with Wheat and Mesquite (*Prosopis* spp) Flours. *International Journal of Food Properties* 19, 243-256.
- Boerjan, W., Ralph, J., Baucher, M., 2003. Lignin biosynthesis. *Annual review of plant biology* 54, 519-546.
- Boo, H., Kim, H., Lee, H., 2010. Changes in sugar content and sucrose synthase enzymes during fruit growth in eggplant (*Solanum melongena* L.) grown on different polyethylene mulches. *HortScience* 45, 775-777.
- Borochoy-Neori, H., Judeinstein, S., Harari, M., Bar-Ya'akov, I., Patil, B.S., Lurie, S., Holland, D., 2011. Climate Effects on Anthocyanin Accumulation and Composition in the Pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit Arils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 5325-5334.
- Boubaker, M., Omri, A.E., Blecker, C., Bouzouita, N., 2016. Fibre concentrate from artichoke (*Cynara scolymus* L.) stem by-products: Characterization and application as a bakery product ingredient. *Food Science and Technology International* 22, 759-768.
- Bower, J.A., 2013. Statistical methods for food science: introductory procedures for the food practitioner. John Wiley & Sons.
- Braga, P.C., Scalzo, R.L., Dal Sasso, M., Lattuada, N., Greco, V., Fibiani, M., 2016. Characterization and antioxidant activity of semi-purified extracts and pure delphinidin-glycosides from eggplant peel (*Solanum melongena* L.). *Journal of functional foods* 20, 411-421.
- Bramlage, W.J., 1992. Interactions of orchard factors and mineral nutrition on quality of pome fruit, *International Symposium on Pre-and Postharvest Physiology of Pome-fruit* 326, pp. 15-28.

- Calabrese, N., De Palma, E., Bianco, V., 2000. Yield and quality of seed propagated artichoke hybrid cultivars grown for four years, IV International Congress on Artichoke 681, pp. 135-142.
- Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I., Espín, J.C., 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of agricultural and food chemistry* 50, 3015-3023.
- Cantwell, M., Suslow, T., 1997. Eggplant: recommendations for maintaining postharvest quality.
http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=15&ds=799. Acceso: 2019
- Cao, G., Sofic, E., Prior, R.L., 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry* 44, 3426-3431.
- Cao, S., Song, C., Shao, J., Bian, K., Chen, W., Yang, Z., 2016. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage. *Journal of agricultural and food chemistry* 64, 5215-5222.
- Carpita, N.C., Defernez, M., Findlay, K., Wells, B., Shoue, D.A., Catchpole, G., Wilson, R.H., McCann, M.C., 2001. Cell wall architecture of the elongating maize coleoptile. *Plant physiology* 127, 551-565.
- Caruso, G., Pokluda, R., Şekara, A., Kalisz, A., Jezdinský, A., Kopta, T., Grabowska, A., 2017. Agricultural practices, biology and quality of eggplant cultivated in Central Europe. A review. *Horticultural Science* 44, 201-212.
- Castenmiller, J.J.M., 2000. Spinach as a source of carotenoids, folate and antioxidant activity.
- Cayo, Y.P., Sargent, S., Nunes, C., Whitaker, V., 2016. Composition of Commercial Strawberry Cultivars and Advanced Selections as Affected by Season, Harvest, and Postharvest Storage, pp. 1134-1143.
- Concellon, A., Anon, M.C., Chaves, A.R., 2007. Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *LWT-Food Science and Technology* 40, 389-396.
- Concellón, A., Zaro, M.J., Chaves, A.R., Vicente, A.R., 2012. Changes in quality and phenolic antioxidants in dark purple American eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Lucía) as affected by storage at 0°C and 10°C. *Postharvest Biology and Technology* 66, 35-41.
- Concellón, A.a., Anón, M.C., Chaves, A.R., 2004. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. *Food Chemistry* 88, 17-24.
- Correa, M.J., 2012. Efecto de celulosas modificadas y pectinas sobre la microestructura y atributos de calidad de la masa panaria. Facultad de Ciencias Exactas.
- Chen, B., Yang, H., 2013. 6-Benzylaminopurine alleviates chilling injury of postharvest cucumber fruit through modulating antioxidant system and energy status. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93, 1915-1921.
- Chen, N., Kalb, T., Talekar, N., Wang, J., Ma, C., 2002. Suggested cultural practices for eggplant. AVRDC Training Guide, 1-8.
- Chen, N., Li, H., 1996. Cultivation and breeding of eggplant, Training Workshop on Vegetable Cultivation and Seed Production, pp. 1-26.

- Chirife, J., María del Buera, P., 1994. Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/semimoist food systems. *Journal of Food Science* 59, 921-927.
- Danza, A., Mastromatteo, M., Cozzolino, F., Lecce, L., Lampignano, V., Laverse, J., Del Nobile, M.A., 2014. Processing and characterization of durum wheat bread enriched with antioxidant from yellow pepper flour. *LWT-Food Science and Technology* 59, 479-485.
- Darré, M., 2019. Factores de pre y poscosecha que afectan el contenido de compuestos antioxidantes en hortalizas. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Daunay, M.-C., 2008. Eggplant, In: Prohens, J., Nuez, F. (Eds.), *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. Springer New York, New York, NY, pp. 163-220.
- del Valle Leguizamón, G., León, A.G., Sañudo, R.B., 2005. Antocianinas en uva (*Vitis vinifera* L.) y su relación con el color. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28, 359-368.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., Patil, R., 2012. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of food science and technology* 49, 255-266.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., 2011. InfoStat statistical software package version 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz-Pérez, J.C., 1998. Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size. *Postharvest Biology and Technology* 13, 45-49.
- Donnelly, B., 2003. NAS definitions relating to food fiber only add confusion. *Cereal Foods World* 48, 132.
- Donzella, G., Spena, A., Rotino, G.L., 2000. Transgenic parthenocarpic eggplants: superior germplasm for increased winter production. *Molecular Breeding* 6, 79-86.
- Doxastakis, G., Zafiriadis, I., Irakli, M., Marlani, H., Tananaki, C., 2002. Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chemistry* 77, 219-227.
- Dranca, F., Oroian, M., 2016. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Ultrasonics sonochemistry* 31, 637-646.
- Durst, R.W., Wrolstad, R.E., 2001. Separation and characterization of anthocyanins by HPLC. *Current protocols in food analytical chemistry*, F1. 3.1-F1. 3.13.
- Eckl, K., Gruler, H., 1980. Phase transitions in plant cuticles. *Planta* 150, 102-113.
- Edelenbos, M., Løkke, M.M., Seefeldt, H.F., 2017. Seasonal variation in color and texture of packaged wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.). *Food Packaging and Shelf Life* 14, 46-51.
- Ekman, J., Pristijono, P., Parks, S., Jarvis, J., 2009. Growing Conditions Affect Postharvest Quality of Greenhouse Cucumbers, VI International Postharvest Symposium 877, pp. 181-186.
- El-Mageed, T.A.A., Semida, W.M., 2015. Effect of deficit irrigation and growing seasons on plant water status, fruit yield and water use efficiency of squash under saline soil. *Scientia Horticulturae* 186, 89-100.
- Eliasson, A., Gudmundsson, M., 2006. *Carbohydrates in Food* (second edition). Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, p. 546.

- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H., 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry* 124, 411-421.
- Englyst, H., Bingham, S., Runswick, S., Collinson, E., Cummings, J., 1988. Dietary fibre (non-starch polysaccharides) in fruit, vegetables and nuts. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 1, 247-286.
- Escudero Álvarez, E., González Sánchez, P., 2006. La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria* 21, 61-72.
- Esteban, R.M., Molla, E.M., Robredo, L.M., Lopez-Andreu, F.J., 1992. Changes in the chemical composition of eggplant fruits during development and ripening. *Journal of agricultural and food chemistry* 40, 998-1000.
- Falagán, N., Artés, F., Gómez, P.A., Artés-Hernández, F., Conejero, W., Aguayo, E., 2016. Deficit irrigation strategies enhance health-promoting compounds through the intensification of specific enzymes in early peaches. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96, 1803-1813.
- Fallik, E., Temkin-Gorodeiski, N., Grinberg, S., Davidson, H., 1995. Prolonged low-temperature storage of eggplants in polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology* 5, 83-89.
- Fawole, O.A., Opara, U.L., 2013. Fruit growth dynamics, respiration rate and physico-textural properties during pomegranate development and ripening. *Scientia horticulturae* 157, 90-98.
- Fenn, D., Lukow, O.M., Humphreys, G., Fields, P.G., Boye, J.I., 2010. Wheat-legume composite flour quality. *International Journal of Food Properties* 13, 381-393.
- Figuerola, F., Hurtado, M.a.L., Estévez, A.M.a., Chiffelle, I., Asenjo, F., 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry* 91, 395-401.
- Fischer, G., 2000. Efectos de las condiciones en precosecha sobre la calidad poscosecha de los frutos. *Revista Comalfi* 27, 39-50.
- Fito Maupoey, P., 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente.
- Flores, R.V., 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, 231-246.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Brecht, J.K., 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52, 99-119.
- Frary, A., Doganlar, S., Daunay, M., 2007. *Eggplant, Vegetables*. Springer, pp. 287-313.
- Friedman, M., 2015. Chemistry and anticarcinogenic mechanisms of glycoalkaloids produced by eggplants, potatoes, and tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63, 3323-3337.
- Frometa, E., Echazabal, J., 1988. Influencia of the age and type of cultivar on juice characters of early oranges. *Agrotecnia de Cuba* 20, 71-75.
- Frutos, M., Guilabert-Anton, L., Tomas-Bellido, A., Hernandez-Herrero, J., 2008. Effect of artichoke (*Cynara scolymus* L.) fiber on textural and sensory qualities of wheat bread. *Food Science and Technology International* 14, 49-55.
- Gajewski, M., Arasimowicz, D., 2004. Sensory quality of eggplant fruits (*Solanum Melongena* L.) as effected by cultivar and maturity stage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 54, 249-254.

- Gajewski, M., Kowalczyk, K., Bajer, M., Radzanowska, J., 2009. Quality of eggplant fruits in relation to growing medium used in greenhouse cultivation and to a cultivar. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 37, 229-234.
- García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A.M., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., 2014. Identification and quantification of phenolic compounds in diverse cultivars of eggplant grown in different seasons by high-performance liquid chromatography coupled to diode array detector and electrospray-quadrupole-time of flight-mass spectrometry. *Food Research International* 57, 114-122.
- Gaveh, E.A., Timpo, G.M., Agodzo, S.K., Shin, D.H., 2011. Effect of irrigation, transplant age and season on growth, yield and irrigation water use efficiency of the African eggplant. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 52, 13-28.
- Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., Pérez-Gago, M.B., 2014. Effect of antioxidants on enzymatic browning of eggplant extract and fresh-cut tissue. *Journal of food processing and preservation* 38, 1501-1510.
- Ghosh, D., Konishi, T., 2007. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pacific journal of clinical nutrition* 16, 200-208.
- Gisbert, C., Prohens, J., Raigón, M.D., Stommel, J.R., Nuez, F., 2011. Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks: Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. *Scientia Horticulturae* 128, 14-22.
- Goulao, L.F., Oliveira, C.M., 2008. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science & Technology* 19, 4-25.
- Goulas, V., Vicente, A.R., Manganaris, G.A., 2014. Structural diversity of anthocyanins in fruits, *Anthocyanins: Structure, Biosynthesis and Health Benefits*. Nova Science Publishers, Inc., pp. 223-248.
- Guan, L., Dai, Z., Wu, B.-H., Wu, J., Merlin, I., Hilbert, G., Renaud, C., Gomès, E., Edwards, E., Li, S.-H., 2016. Anthocyanin biosynthesis is differentially regulated by light in the skin and flesh of white-fleshed and teinturier grape berries. *Planta* 243, 23-41.
- Gümüşay, Ö.A., Borazan, A.A., Ercal, N., Demirkol, O., 2015. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food Chemistry* 173, 156-162.
- Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, A., Doğanlar, S., 2018. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry* 268, 602-610.
- Gustauson, J., Ch., C., Sonneson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A., 2012. Perdida y desperdicio de alimentos en el mundo: Alcance, causas y prevención. FAO, Roma, Italia y Swedish Institute for Food and Biotechnology, Gothenburg, Suecia., pp. 1-25.
- Haig, D., Westoby, M., 1988. Inclusive fitness, seed resources, and maternal care, In: Doust, J.L., Doust, L.L. (Eds.), *Plant reproductive ecology*. New York, Oxford University press, pp. 60-79.
- Halliwell, B., 1999. Antioxidant defence mechanisms: from the beginning to the end (of the beginning). *Free radical research* 31, 261-272.
- Han, H.M., Koh, B.K., 2011a. Antioxidant activity of hard wheat flour, dough and bread prepared using various processes with the addition of different phenolic acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91, 604-608.
- Han, H.M., Koh, B.K., 2011b. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91, 2495-2499.

- Hanson, P.M., Yang, R.-Y., Tsou, S.C., Ledesma, D., Engle, L., Lee, T.-C., 2006. Diversity in eggplant (*Solanum melongena*) for superoxide scavenging activity, total phenolics, and ascorbic acid. *Journal of Food composition and Analysis* 19, 594-600.
- Hartikainen, K., Katina, K., 2012. Improving the quality of high-fibre breads, *Breadmaking*. Elsevier, pp. 736-753.
- He, Y., Terabayashi, S., Asaka, T., Namiki, T., 1999. Effect of restricted supply of nitrate on fruit growth and nutrient concentrations in the petiole sap of tomato cultured hydroponically. *Journal of Plant Nutrition* 22, 799-811.
- Heuvelink, E., Bertin, N., 1994. Dry-matter partitioning in a tomato crop: comparison of two simulation models. *Journal of Horticultural Science* 69, 885-903.
- Hleap, J.I., Velasco, V.A., 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Revista Biotecnología* 8, 46-56.
- Hobbs, D.A., Ashouri, A., George, T.W., Lovegrove, J.A., Methven, L., 2014. The consumer acceptance of novel vegetable-enriched bread products as a potential vehicle to increase vegetable consumption. *Food Research International* 58, 15-22.
- Hossain, M.D., Bala, B.K., Hossain, M.A., Mondol, M.R.A., 2001. Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. *Journal of Food Engineering* 48, 103-107.
- Hung, P., Duy, T., 2012. Effects of drying methods on bioactive compounds of vegetables and correlation between bioactive compounds and their antioxidants. *International Food Research Journal* 19, 327-332.
- Hussein, Z., Fawole, O.A., Opara, U.L., 2018. Preharvest factors influencing bruise damage of fresh fruits—a review. *Scientia horticulturae* 229, 45-58.
- Jha, S., Matsuoka, T., 2002. Surface stiffness and density of eggplant during storage. *Journal of Food Engineering* 54, 23-26.
- Johansen, D.A., 1940. *Plant microtechnique*. McGraw-Hill Book Company, Inc.; London, p. 530.
- Johnston, J.W., Hewett, E.W., Hertog, M.L., 2002. Postharvest softening of apple (*Malus domestica*) fruit: a review. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 30, 145-160.
- Kader, A., 1995. Maturity, ripening, and quality relationships of fruit-vegetables. *Strategies for Market Oriented Greenhouse Production* 434, 249-256.
- Kader, A.A., 2007. *Biología y tecnología postcosecha: un panorama*, In: Kader, A.A. (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. Universidad de California, pp. 43-54.
- Kader, A.A., 2013. Postharvest technology of horticultural crops—An Overview from farm to fork. *Ethiopian Journal of Science and Technology* 1, 1-8.
- Karapanos, I.C., Mahmood, S., Thanopoulos, C., 2008. Fruit set in solanaceous vegetable crops as affected by floral and environmental factors. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 2, 88-105.
- Katina, K., 2003. *High-Fibre Baking, Bread Making Improving Quality*. CRC Press, Boca Raton Boston, New York, USA
- Kaur, C., Nagal, S., Nishad, J., Kumar, R., 2014. Evaluating eggplant (*Solanum melongena* L) genotypes for bioactive properties: A chemometric approach. *Food Research International* 60, 205-211.
- Kaushik, P., Plazas, M., Prohens, J., Vilanova, S., Gramazio, P., 2018. Diallel genetic analysis for multiple traits in eggplant and assessment of genetic distances for predicting hybrids performance. *PLoS One* 13, e0199943.

- Kawasaki, Y., 2015. Fruit Set and Temperature Stress, Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants. Springer, pp. 87-99.
- Kay, R.M., Grobin, W., Track, N., 1981. Diets rich in natural fibre improve carbohydrate tolerance in maturity-onset, non-insulin dependent diabetics. *Diabetologia* 20, 18-21.
- Kaya, S., Kahyaoglu, T., 2005. Thermodynamic properties and sorption equilibrium of pestil (grape leather). *Journal of Food Engineering* 71, 200-207.
- Kaymak-Ertekin, F., Gedik, A., 2004. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT - Food Science and Technology* 37, 429-438.
- Keinänen, M., Julkunen-Tiitto, R., 1996. Effect of sample preparation method on birch (*Betula pendula* Roth) leaf phenolics. *Journal of agricultural and Food Chemistry* 44, 2724-2727.
- Khah, E., Petropoulos, S., Myzithras, L., Passam, H., 2010. Fruit and seed development in aubergine cv. Tsakoniki in relation to the fruit load on the plant, *Advances in Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant*, Valencia, Spain.
- Khalid, S., Malik, A.U., Saleem, B.A., Khan, A.S., Khalid, M.S., Amin, M., 2012. Tree age and canopy position affect rind quality, fruit quality and rind nutrient content of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* Lour × *Citrus deliciosa* Tenora). *Scientia Horticulturae* 135, 137-144.
- Khanum, F., Swamy, M.S., Krishna, K.S., Santhanam, K., Viswanathan, K., 2000. Dietary fiber content of commonly fresh and cooked vegetables consumed in India. *Plant Foods for Human Nutrition* 55, 207-218.
- Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., Risvik, E., 2004. Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. *Journal of Cereal Science* 39, 67-84.
- Knudsen, K.B., 2001. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Animal feed science and technology* 90, 3-20.
- Koh, B.K., Ng, P.K., 2009. Effects of ferulic acid and transglutaminase on hard wheat flour dough and bread. *Cereal chemistry* 86, 18-22.
- Kosma, D.K., Bourdenx, B., Bernard, A., Parsons, E.P., Lü, S., Joubès, J., Jenks, M.A., 2009. The Impact of Water Deficiency on Leaf Cuticle Lipids of *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 151, 1918.
- Kotilainen, L., Rajalahti, R., Ragasa, C., Pehu, E., 2006. Health Enhancing Foods: Opportunities for Strengthening the Sector in Developing Countries, *Agriculture and Rural Development*. The World Bank, 1-33.
- Kowalska, G., 2008. Flowering biology of eggplant and procedures intensifying fruit-set. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 7, 63-76.
- Lallana, M.d.C., Billard, C.E., Elizalde, J.H., Lallana, V.H., 2006. Breve revisión sobre características de la cutícula vegetal y penetración de herbicidas. *Ciencia, docencia y tecnología* 17, 229-241.
- Lara, I., Belge, B., Goulao, L.F., 2014. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology* 87, 103-112.
- Larrauri, J.A., Rupérez, P., Saura-Calixto, F., 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of agricultural and food chemistry* 45, 1390-1393.
- Lawande, K., Chavan, J., 1998. Eggplant (brinjal), *Handbook of Vegetable Science and Technology*. CRC Press, pp. 243-262.

- Leccese, A., Bartolini, S., Viti, R., 2012. Genotype, Harvest Season, and Cold Storage Influence on Fruit Quality and Antioxidant Properties of Apricot. *International Journal of Food Properties* 15, 864-879.
- Léchaudel, M., Joas, J., 2007. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 287-298.
- Leiva Díaz, E., Giannuzzi, L., Giner, S.A., 2009. Apple Pectic Gel Produced by Dehydration. *Food and Bioprocess Technology* 2, 194-207.
- Leonardi, C., Giuffrida, F., 2009. Growth rate and carpometric characteristics during eggplant fruit growth 807 ed. *International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, pp. 175-180.
- Lezcano, E., 2011. Productos Panificados. *Alimentos Argentinos* 51, 27-39.
- Lezcano, E., 2014. Las otras harinas, *Alimentos Argentinos*, pp. 20-27.
- Li, Y., Ding, Y., 2012. Minireview: Therapeutic potential of myricetin in diabetes mellitus. *Food Science and Human Wellness* 1, 19-25.
- Lim, C.S., Kang, S.M., Cho, J.L., Gross, K.C., 2009. Antioxidizing enzyme activities in chilling-sensitive and chilling-tolerant pepper fruit as affected by stage of ripeness and storage temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 134, 156-163.
- Linlaud, N.E., Puppo, M.C., Ferrero, C., 2009. Effect of Hydrocolloids on Water Absorption of Wheat Flour and Farinograph and Textural Characteristics of Dough. *Cereal Chemistry* 86, 376-382.
- Liu, T., Zhu, W., Huang, J., Chen, H., Nie, R., Li, C.-m., 2017. Comparison of the nutritional as well as the volatile composition of in-season and off-season Hezuo 903 tomato at red stage. *European Food Research and Technology* 243, 203-214.
- Loke, A., Baranda, L.C., Lezcano, S.C., Jin, J., 2016. Pulses: Nutritious Seeds for a Sustainable Future. *FAO*, Roma (Italy). p. 196.
- Lomauro, C.J., Bakshi, A.S., Labuza, T.P., 1985. Moisture Transfer Properties of Dry and Semimoist Foods. *Journal of Food Science* 50, 397-400.
- Lone, A.A., Ganai, S.A., Ahanger, R.A., Bhat, H.A., Bhat, T.A., Wani, I.A., 2013. Free radicals and antioxidants: Myths, facts and mysteries. *African Journal of Pure and Applied Chemistry* 7, 91-113.
- López Martínez, M., 2016. Formulación del proceso de liofilización en frutas y hortalizas como valor agregado a su presentación a mercados tipo exportación. *Universidad Militar Nueva Granada*, <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/14989>.
- Luthria, D.L., 2012. A simplified UV spectral scan method for the estimation of phenolic acids and antioxidant capacity in eggplant pulp extracts. *Journal of functional foods* 4, 238-242.
- Lyons, J.M., 1973. Chilling injury in plants. *Annual review of plant physiology* 24, 445-466.
- Magnusson, M.K., Arvola, A., Koivisto Hursti, U.-K., Åberg, L., Sjöden, P.-O., 2001. Attitudes towards organic foods among Swedish consumers. *British food journal* 103, 209-227.
- Makinen-Aakula, M., 2006. Trends in functional foods dairy market, *Proceedings of the third functional food net meeting*.
- Makrogianni, D.I., Tsistraki, A., Karapanos, I.C., Passam, H.C., 2017. Nutritional value and antioxidant content of seed-containing and seedless eggplant fruits of two

- cultivars grown under protected cultivation during autumn–winter and spring–summer. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97, 3752-3760.
- Mangione, J., Sánchez, M., 2004. Cultivo y manejo poscosecha de berenjena. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/75506-Cultivo-y-manejo-poscosecha-de-berenjena.html>. Acceso: 2019
- Marcelis, L.F., 1993. Effect of assimilate supply on the growth of individual cucumber fruits. *Physiologia Plantarum* 87, 313-320.
- Marin, A., Ferreres, F., Barberá, G.G., Gil, M.I., 2015. Weather Variability Influences Color and Phenolic Content of Pigmented Baby Leaf Lettuces throughout the Season. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63, 1673-1681.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants* Sterling (second edition). Academic Press, London
- p. 889.
- Marsh, D., Cauvain, S.P., 2007. Mixing and dough processing, *Technology of breadmaking*. Springer, pp. 93-140.
- Marsic, N.K., Vodnik, D., Mikulic-Petkovsek, M., Veberic, R., Sircelj, H., 2018. Photosynthetic traits of plants and the biochemical profile of tomato fruits are influenced by grafting, salinity stress, and growing season. *Journal of agricultural and food chemistry* 66, 5439-5450.
- Martin, L.B.B., Romero, P., Fich, E.A., Domozych, D.S., Rose, J.K.C., 2017. Cuticle Biosynthesis in Tomato Leaves Is Developmentally Regulated by Abscisic Acid. *Plant Physiology* 174, 1384-1398.
- Massolo, J.F., Concellón, A., Chaves, A.R., Vicente, A.R., 2011. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 59, 10-15.
- Mastromatteo, M., Danza, A., Guida, M., Del Nobile, M.A., 2012a. Formulation optimisation of vegetable flour-loaded functional bread Part I: screening of vegetable flours and structuring agents. *International journal of food science & technology* 47, 1313-1320.
- Mastromatteo, M., Danza, A., Guida, M., Del Nobile, M.A., 2012b. Formulation optimisation of vegetable flour-loaded functional bread. Part II: effect of the flour hydration on the bread quality. *International journal of food science & technology* 47, 2109-2116.
- Mastromatteo, M., Danza, A., Lecce, L., Spinelli, S., Lampignano, V., Laverse, J., Conte, A., Del Nobile, M.A., 2015. Nutritional and physicochemical characteristics of wholemeal bread enriched with pea flour. *International journal of food science & technology* 50, 92-102.
- Matsumoto, K., Chikaizumi, S., Oku, H.I., Watanabe, J., 1972. Studies on the contribution of environmental and internal factors affecting the edible quality and exterior appearance of Satsuma mandarin fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 41, 171-178.
- Mennella, G., Lo Scalzo, R., Fibiani, M., D'Alessandro, A., Francese, G., Toppino, L., Acciarri, N., de Almeida, A.E., Rotino, G.L., 2012. Chemical and bioactive quality traits during fruit ripening in eggplant (*S. melongena* L.) and allied species. *Journal of agricultural and food chemistry* 60, 11821-11831.
- Mennella, G., Rotino, G.L., Fibiani, M., D'Alessandro, A., Francese, G., Toppino, L., Cavallanti, F., Acciarri, N., Lo Scalzo, R., 2010. Characterization of health-related

- compounds in eggplant (*Solanum melongena* L.) lines derived from introgression of allied species. *Journal of agricultural and food chemistry* 58, 7597-7603.
- Minas, I.S., Tanou, G., Molassiotis, A., 2018. Environmental and orchard bases of peach fruit quality. *Scientia horticulturae* 235, 307-322.
- Miś, A., Grundas, S., Dziki, D., Laskowski, J., 2012. Use of farinograph measurements for predicting extensograph traits of bread dough enriched with carob fibre and oat wholemeal. *Journal of Food Engineering* 108, 1-12.
- Mishra, B.B., Gautam, S., Sharma, A., 2012. Browning of fresh-cut eggplant: Impact of cutting and storage. *Postharvest Biology and Technology* 67, 44-51.
- Mishra, B.B., Gautam, S., Sharma, A., 2013. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). *Food chemistry* 139, 105-114.
- Mohammed, I., Ahmed, A.R., Senge, B., 2012. Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products* 36, 196-202.
- Mohammed, M., Brecht, J.K., 2002. Immature fruit vegetables, In: Bartz, J., Brecht, J (Ed.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. CRC Press, Marcel Dekker, New York, pp. 670-689.
- Molinar, R., Trejo, E., Cantwell, M., 1996. The development of chilling injury in three types of eggplants, *Research Summary*. <https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-236.pdf>.
- Mollet, B., Rowland, I., 2002. Functional foods: at the frontier between food and pharma. *Current Opinion in Biotechnology* 5, 483-485.
- Mondolot, L., La Fisca, P., Buatois, B., Talansier, E., De Kochko, A., Campa, C., 2006. Evolution in caffeoylquinic acid content and histolocalization during *Coffea canephora* leaf development. *Annals of Botany* 98, 33-40.
- Moreno, C., 2012. Un tema complejo: normativa y alimentos funcionales. *Alimentos Argentinos* 55, 60-63.
- Morón, P., Kleiman, E., Moreno, C., Basso, N., 2013. *Guía de rotulado para alimentos envasados*. Buenos Aires, Argentina: SAGPyA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación
- Muresan, C., Stan, L., Man, S., Scrob, S., Muste, S., 2012. Sensory evaluation of bakery products and its role in determining of the consumer preferences. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 18, 304-306.
- Muthukumarappan, K., Tiwari, B., Swamy, G.J., 2018. Refrigeration and Freezing Preservation of Vegetables, In: Muhammad, S., Mark, A.U. (Eds.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Michigan State University, East Lansing, USA, pp. 342-364.
- Nicks, F., Richel, A., Dubrowski, T., Wathelet, B., Wathelet, J.P., Blecker, C., Paquot, M., 2013. Effect of new synthetic PEGylated ferulic acids in comparison with ferulic acid and commercial surfactants on the properties of wheat flour dough and bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93, 2415-2420.
- Niño-Medina, G., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, M., Heredia, J., 2017. Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*)-A review. *South African Journal of Botany* 111, 161-169.
- Niva, M., 2007. 'All foods affect health': understandings of functional foods and healthy eating among health-oriented Finns. *Appetite* 48, 384-393.

- Nooshkam, M., Varidi, M., Bashash, M., 2019. The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems. *Food chemistry* 275, 644-660.
- Nothmann, J., 1986. Eggplant, In: Monselise, S.P. (Ed.), *Handbook of fruit set and development*. CRC Press: Boca Raton, Florida, pp. 145-152.
- Nothmann, J., Koller, D., 1975. Effects of low-temperature stress on fertility and fruiting of eggplant (*Solanum melongena*) in a subtropical climate. *Experimental Agriculture* 11, 33-38.
- Nothmann, J., Rylski, I., Spigelman, M., 1978. Effects of air and soil temperatures on colour of eggplant fruits (*Solanum melongena* L.). *Experimental Agriculture* 14, 189-195.
- Nour, V., Ionica, M.E., Trandafir, I., 2015. Bread enriched in lycopene and other bioactive compounds by addition of dry tomato waste. *Journal of Food Science and Technology* 52, 8260-8267.
- Okmen, B., Sigva, H.O., Mutlu, S., Doganlar, S., Yemenicioglu, A., Frary, A., 2009. Total antioxidant activity and total phenolic contents in different Turkish eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties* 12, 616-624.
- Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevois, C., Granzella, L., Montonati, M., 2007. Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Diaeta* 25, 20-33.
- Olivera Carrión, M., 2007. Alimentos funcionales en Argentina. *La Alimentación Latinoamericana* 272, 6-12.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M.A., Gonzalez, L.A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M.I.H., Munuera, I.P., Fiszman, S., Martin-Belloso, O., 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology* 57, 139-148.
- Opara, U.L., Al-Ani, M.R., Al-Rahbi, N.M., 2012. Effect of fruit ripening stage on physico-chemical properties, nutritional composition and antioxidant components of tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars. *Food and Bioprocess Technology* 5, 3236-3243.
- Ortiz Jiménez, E.H., Ruelas Chacón, X., 2014. Caracterización funcional, física y química de un producto adicionado con harina de berenjena. Universidad Autónoma Agraria Narro División de Ciencia Animal, Buenavista, Santillo Coahuila, México.
- Ozeker, E., 2000. Determination of fruit characteristics of 'Marsh seedless' grapefruit cultivar in Izmir (Turkey). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3, 69-71.
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Cozzolino, F., Del Nobile, M., 2013. Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. *Journal of Cereal Science* 57, 333-342.
- Parzanese, M., 2008. Tecnología para la industria alimentaria: Liofilización de alimentos. *Alimentos Argentinos* 59, 63-70.
- Passam, H.C., Karapanos, I.C., 2008. Eggplants, peppers and tomatoes: factors affecting the quality and storage life of fresh and fresh-cut (minimally processed) produce. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 2, 156-170.
- Passam, H.C., Makrogianni, D., Gregoriou, F., Karapanos, I.C., 2010. The size and germination of eggplant seed in relation to fruit maturity at harvest, after-ripening and ethylene application. *Analele Universitatii din Oradea-Pasciuc Biologie* 2, 225-229.
- Payyavula, R.S., Navarre, D.A., Kuhl, J.C., Pantoja, A., Pillai, S.S., 2012. Differential effects of environment on potato phenylpropanoid and carotenoid expression. *BMC Plant Biology* 12, 39-56.

- Pedreschi, R., Lurie, S., 2015. Advances and current challenges in understanding postharvest abiotic stresses in perishables. *Postharvest Biology and Technology* 107, 77-89.
- Peil, R., Galvez, J., 2005. Dry-matter partitioning as a determinant of greenhouse fruit vegetable crops production. *Revista Brasileira de Agrociência* 11, 5-11.
- Perez-Gilabert, M., García Carmona, F., 2000. Characterization of catecholase and cresolase activities of eggplant polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 695-700.
- Perez, P.M.P., Germani, R., 2004. Farinha mista de trigo e berinjela: características físicas e químicas. *Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em periódico indexado (ALICE)* 22, 15-24.
- Perez, P.M.P., Germani, R., 2007. Elaboração de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (*Solanum melongena*, L.). *Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em periódico indexado (ALICE)* 27, 186-192.
- Petit-Jiménez, D., González-León, A., González-Aguilar, G., Sotelo-Mundo, R., Báez-Sañudo, R., 2007. Cambios de la cutícula durante la ontogenia del fruto de *Mangifera indica* L. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30, 51-60.
- Pifferi, P., Cultrera, R., 1974. Enzymatic degradation of anthocyanins: the role of sweet cherry polyphenol oxidase. *Journal of Food Science* 39, 786-791.
- Plazas, M., Andújar, I., Vilanova, S., Hurtado, M., Gramazio, P., Herraiz, F.J., Prohens, J., 2013a. Breeding for chlorogenic acid content in eggplant: interest and prospects. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 41, 26-35.
- Plazas, M., López-Gresa, M.P., Vilanova, S., Torres, C., Hurtado, M., Gramazio, P., Andújar, I., Herráiz, F.J., Bellés, J.M., Prohens, J., 2013b. Diversity and relationships in key traits for functional and apparent quality in a collection of eggplant: Fruit phenolics content, antioxidant activity, polyphenol oxidase activity, and browning. *Journal of agricultural and food chemistry* 61, 8871-8879.
- Prohens, J., Rodríguez-Burruezo, A., Raigón, M.D., Nuez, F., 2007. Total phenolic concentration and browning susceptibility in a collection of different varietal types and hybrids of eggplant: Implications for breeding for higher nutritional quality and reduced browning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132, 638-646.
- Puig, A., Perez-Munuera, I., Carcel, J., Hernando, I., Garcia-Perez, J.V., 2012. Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (*Solanum melongena* L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying. *Food and Bioprocess Processing* 90, 624-632.
- Qian, C., He, Z., Zhao, Y., Mi, H., Chen, X., Mao, L., 2013. Maturity-dependent chilling tolerance regulated by the antioxidative capacity in postharvest cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93, 626-633.
- Quintero Ruiz, N.A., 2015. Efecto del secado y el almacenamiento en la calidad de geles pécticos deshidratados de rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa* L.). *Facultad de Ingeniería*.
- Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Maiani, G., Quaglia, G., 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 11-19.
- Rahman, M.S., 2009. *Food Properties Handbook (Second edition)*. Boca Raton, EUA: CRC press., p. 859.

- Raigón, M.D., Prohens, J., Muñoz-Falcón, J.E., Nuez, F., 2008. Comparison of eggplant landraces and commercial varieties for fruit content of phenolics, minerals, dry matter and protein. *Journal of food composition and analysis* 21, 370-376.
- Raju, P., Chauhan, O., Bawa, A., 2010. Postharvest handling systems and storage of vegetables. *Postharvest handling of vegetables*. Blackwell Publishing Limited, Iowa, 185-198.
- Ranawana, V., Campbell, F., Bestwick, C., Nicol, P., Milne, L., Duthie, G., Raikos, V., 2016. Breads fortified with freeze-dried vegetables: quality and nutritional attributes. part ii: breads not containing oil as an ingredient. *Foods* 5, 62-73.
- Rangel-Marrón, M., Welte-Chanes, J., Córdova-Quiroz, A., Cerón-Bretón, J., Anguebes-Franceschi, F., Moreno-Martínez, V., 2010. Sorption isotherms of mango (*Mangifera Indica* L.) pulp freeze-dried, *Proceedings of the European conference of chemical engineering, and European conference of civil engineering, and European conference of mechanical engineering, and European conference on Control*, pp. 114-118.
- Restrepo-Díaz, H., Benlloch, M., Fernández-Escobar, R., 2008. Plant water stress and K⁺ starvation reduce absorption of foliar applied K⁺ by olive leaves. *Scientia Horticulturae* 116, 409-413.
- Ribotta, P.D., Arnulphi, S.A., León, A.E., Añón, M.C., 2005. Effect of soybean addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 1889-1896.
- Rivera, S.A., Ferreyra, R., Robledo, P., Selles, G., Arpaia, M.L., Saavedra, J., Defilippi, B.G., 2017. Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long term storage. *Scientia horticulturae* 216, 29-37.
- Rodríguez, S.d.C., López, B., Chaves, A.R., 1999. Changes in polyamines and ethylene during the development and ripening of eggplant fruits (*Solanum melongena*). *Journal of agricultural and food chemistry* 47, 1431-1434.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bassal, A., Leonardi, C., Giuffrida, F., Colla, G., 2012. Vegetable quality as affected by genetic, agronomic and environmental factors. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10, 680-688.
- Russo, P., Adiletta, G., Di Matteo, M., 2013. The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant. *Food and Bioprocess Processing* 91, 249-256.
- Ruzin, S.E., 1999. Plant microtechnique and microscopy. *New Phytologist* 148.
- Ryan, P.R., Delhaize, E., Watt, M., Richardson, A.E., 2016. Plant roots: understanding structure and function in an ocean of complexity. *Annals of Botany* 118, 555-559.
- Sadilova, E., Stintzing, F.C., Carle, R., 2006. Anthocyanins, colour and antioxidant properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) and violet pepper (*Capsicum annum* L.) peel extracts. *Zeitschrift für Naturforschung C* 61, 527-535.
- Saei, A., Tustin, D., Zamani, Z., Talaie, A., Hall, A., 2011. Cropping effects on the loss of apple fruit firmness during storage: The relationship between texture retention and fruit dry matter concentration. *Scientia Horticulturae* 130, 256-265.
- Sahni, S., Krishnamurthy, K., Girish, G., 1975. Development of high protein bread. I. Groundnut flour and groundnut protein isolate utilisation. *Journal of food science and technology* 12, 283-289.
- Sakamura, S., Shibusa, S., Obata, Y., 1966. Separation of a Polyphenol Oxidase for Anthocyanin-Degradation in Eggplant. *Journal of Food Science* 31, 317-319.

- Sakurai, N., Nevins, D.J., 1993. Changes in physical properties and cell wall polysaccharides of tomato (*Lycopersicon esculentum*) pericarp tissues. *Physiologia Plantarum* 89, 681-686.
- Salinas, M.V., 2013. Estudio de la calidad panadera, sensorial y nutricional de panes elaborados con harina de trigo fortificada con sales de calcio e inulina. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Salinas, M.V., Carbas, B., Brites, C., Puppo, M.C., 2015. Influence of Different Carob Fruit Flours (*Ceratonia siliqua* L.) on Wheat Dough Performance and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology* 8, 1561-1570.
- Salinas, M.V., Puppo, M.C., 2013. Effect of organic calcium salts–inulin systems on hydration and thermal properties of wheat flour. *Food research international* 50, 298-306.
- San José, R., Sánchez-Mata, M.C., Cámara, M., Prohens, J., 2014. Eggplant fruit composition as affected by the cultivation environment and genetic constitution. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94, 2774-2784.
- Sánchez-Mata, M.a.-C., Yokoyama, W.E., Hong, Y.-J., Prohens, J., 2010. α -Solasonine and α -solamargine contents of gboma (*Solanum macrocarpon* L.) and scarlet (*Solanum aethiopicum* L.) eggplants. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 58, 5502-5508.
- Sciarini, L.S., Steffolani, M.E., Leon, A.E., 2016. El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *AgriScientia* 33, 61-74.
- Scorsatto, M., Pimentel, A.d.C., Silva, A.J.R.d., Sabally, K., Rosa, G., Oliveira, G.M.M.d., 2017. Assessment of bioactive compounds, physicochemical composition, and in vitro antioxidant activity of eggplant flour. *International Journal of Cardiovascular Sciences* 30, 235-242.
- Seefeldt, H.F., Løkke, M.M., Edelenbos, M., 2012. Effect of variety and harvest time on respiration rate of broccoli florets and wild rocket salad using a novel O₂ sensor. *Postharvest Biology and Technology* 69, 7-14.
- Seeram, N.P., Momin, R.A., Nair, M.G., Bourquin, L.D., 2001. Cyclooxygenase inhibitory and antioxidant cyanidin glycosides in cherries and berries. *Phytomedicine* 8, 362-369.
- Segado, P., Domínguez, E., Heredia, A., 2016. Ultrastructure of the epidermal cell wall and cuticle of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) during development. *Plant Physiology* 170, 935-946.
- Sękara, A., 2010. Biology of the vegetative and generative development of eggplant (*Solanum melongena* L.) in the field production. Chosen aspects. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rzeszowskiego* 459, 1-109.
- Sękara, A., Cebula, S., Kunicki, E., 2007. Cultivated eggplants—origin, breeding objectives and genetic resources, a review. *Folia Horticulturae* 19, 97-114.
- Selvendran, R.R., 1987. Chemistry of plant cell walls and dietary fibre. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 22, 33-41.
- Shahidi, F., Ambigaipalan, P., 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods* 18, 820-897.
- Siller-Cepeda, J., 2004. Postharvest eggplant. , In: USDA (Ed.), *Agriculture Handbook*, <https://hortintl.cals.ncsu.edu/es/articles/postharvest-eggplant>.

- Singh, A.P., Luthria, D., Wilson, T., Vorsa, N., Singh, V., Banuelos, G.S., Pasakdee, S., 2009. Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp. *Food Chemistry* 114, 955-961.
- Siro, I., Kápolna, E., Kápolna, B., Lugasi, A., 2008. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite* 51, 456-467.
- Smith, C.C., Fretwell, S.D., 1974. The optimal balance between size and number of offspring. *The American Naturalist* 108, 499-506.
- Smith, T., 2003. Apple orchard blocks evaluation.
- Snijder, B., Penter, M., Mathumbu, J., Kruger, F., 2002. Further refinement of 'Pinkerton' export parameters. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 25, 50-53.
- Spence, J.T., 2006. Challenges related to the composition of functional foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, S4-S6.
- Storey, R., Treeby, M., 2002. Nutrient uptake into navel oranges during fruit development. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77, 91-99.
- Świeca, M., Sęczyk, Ł., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., 2014. Bread enriched with quinoa leaves—The influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Food chemistry* 162, 54-62.
- Tajik, N., Tajik, M., Mack, I., Enck, P., 2017. The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: a comprehensive review of the literature. *European journal of nutrition* 56, 2215-2244.
- Temple, N.J., Gladwin, K.K., 2003. Fruit, vegetables, and the prevention of cancer: research challenges. *Nutrition* 19, 467-470.
- Tijkens, L., Veltman, R., Heuvelink, E., Simcic, M., 2002. Modelling postharvest quality behaviour as affected by preharvest conditions, *International Conference: Postharvest Unlimited* 599, pp. 469-477.
- Toivonen, P.M., 2011. Postharvest physiology of vegetables, In: Press, I.S.U. (Ed.), *Handbook of vegetables and vegetable processing.* , pp. 199-220.
- Toor, R., Savage, G., Lister, C., 2006. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 1-10.
- Trautwein, E.A., Kunath-Rau, A., Erbersdobler, H.F., 1999. Increased fecal bile acid excretion and changes in the circulating bile acid pool are involved in the hypocholesterolemic and gallstone-preventive actions of psyllium in hamsters. *The Journal of nutrition* 129, 896-902.
- Tudela, J.A., Hernández, N., Pérez-Vicente, A., Gil, M.I., 2017. Growing season climates affect quality of fresh-cut lettuce. *Postharvest biology and technology* 123, 60-68.
- USDA, 2019. Food Composition Databases. United States Department of Agriculture Agricultural Research Service, <https://fdc.nal.usda.gov/>. Acceso: 2019
- Uthumporn, U., Fazilah, A., Tajul, A., Maizura, M., Ruri, A., 2016. Physico-chemical and antioxidant properties of eggplant flour as a functional ingredient. *Advance Journal of Food Science and Technology* 12, 235-243.
- Uthumporn, U., Woo, W., Tajul, A., Fazilah, A., 2015. Physico-chemical and nutritional evaluation of cookies with different levels of eggplant flour substitution. *CyTA-Journal of Food* 13, 220-226.
- Uzun, S., 2007. Effect of light and temperature on the phenology and maturation of the fruit of eggplant (*Solanum melongena*) grown in greenhouses. *New Zealand journal of crop and horticultural science* 35, 51-59.

- Valenzuela, J., Manzano, S., Palma, F., Carvajal, F., Garrido, D., Jamilena, M., 2017. Oxidative stress associated with chilling injury in immature fruit: postharvest technological and biotechnological solutions. *International journal of molecular sciences* 18, 1467.
- Van Hung, D., Tong, S., Tanaka, F., Yasunaga, E., Hamanaka, D., Hiruma, N., Uchino, T., 2011. Controlling the weight loss of fresh produce during postharvest storage under a nano-size mist environment. *Journal of Food Engineering* 106, 325-330.
- Vendramini, A.L., Trugo, L.C., 2000. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) at three stages of maturity. *Food Chemistry* 71, 195-198.
- Verbruggen, N., Hermans, C., 2008. Proline accumulation in plants: a review. *Amino acids* 35, 753-759.
- Vijay, P., Rakesh, P., Srivastava, G., 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-an overview. *Journal of Food Science and Technology (Mysore)* 49, 1-21.
- Waldron, K.W., Smith, A.C., Parr, A.J., Ng, A., Parker, M.L., 1997. New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture. *Trends in Food Science & Technology* 8, 213-221.
- Wang, C.Y., 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29, 986-988.
- Wang, C.Y., Wallace, H., 2004. Chilling and freezing injury, In: Gross, K.C., Wang, C.Y., Saltveit, M. (Eds.), *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. Agricultural Research Center, USDA, pp. 62-67.
- Wang, J., Rosell, C.M., Benedito de Barber, C., 2002a. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry* 79, 221-226.
- Wang, J., Rosell, C.M., de Barber, C.B., 2002b. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food chemistry* 79, 221-226.
- Wang, S.Y., Zheng, W., 2001. Effect of Plant Growth Temperature on Antioxidant Capacity in Strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 4977-4982.
- Ward, G., Nussinovitch, A., 1996. Gloss properties and surface morphology relationships of fruits. *Journal of Food Science* 61, 973-977.
- Whitaker, B.D., Stommel, J.R., 2003. Distribution of hydroxycinnamic acid conjugates in fruit of commercial eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 3448-3454.
- Wieser, H., 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food microbiology* 24, 115-119.
- Willett, W.C., 1994. Diet and health: what should we eat? *Science* 264, 532-537.
- Woolf, A., Ferguson, I., 2000. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. *Postharvest Biology and Technology* 21, 7-20.
- Wuyts, N., Palauqui, J.-C., Conejero, G., Verdeil, J.-L., Granier, C., Massonnet, C., 2010. High-contrast three-dimensional imaging of the Arabidopsis leaf enables the analysis of cell dimensions in the epidermis and mesophyll. *Plant Methods* 6, 17-31.
- Xu, J., Wang, W., Li, Y., 2019. Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. *Journal of functional foods* 52, 629-639.
- Xuequn, P., Xuemei, H., Xiaotang, Y., 2008. Role of polyphenol oxidase in anthocyanin degradation of lychee pericarp. *Scientia Agricultura Sinica* 41, 540-545.
- Yahia, E.M., Brecht, J.K., 2012. Tomatoes, In: Rees, D., Farrell, G., Orchard, J. (Eds.), *Crop Post-Harvest: Science and Technology*. John Orchard Tomato fruits, Oxford,, pp. 5-23.

- Yamaki, S., Machida, Y., Kakiuchi, N., 1979. Changes in cell wall polysaccharides and monosaccharides during development and ripening of Japanese pear fruit. *Plant and Cell Physiology* 20, 311-321.
- Yeats, T.H., Rose, J.K., 2013. The formation and function of plant cuticles. *Plant physiology* 163, 5-20.
- Young, J., 2000. Functional foods and the European consumer. *Special publication-royal society of chemistry* 248, 75-81.
- Yousuf, B., Gul, K., Wani, A.A., Singh, P., 2016. Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: a review. *Critical reviews in food science and nutrition* 56, 2223-2230.
- Zaro, M.J., Chaves, A.R., Vicente, A.R., Concellón, A., 2014a. Distribution, stability and fate of phenolic compounds in white and purple eggplants (*Solanum melongena* L.). *Postharvest Biology and Technology* 92, 70-78.
- Zaro, M.J., Keunchkarian, S., Chaves, A.R., Vicente, A.R., Concellón, A., 2014b. Changes in bioactive compounds and response to postharvest storage conditions in purple eggplants as affected by fruit developmental stage. *Postharvest Biology and Technology* 96, 110-117.
- Zaro, M.J., Ortiz, L.C., Keunchkarian, S., Chaves, A.R., Vicente, A.R., Concellón, A., 2015a. Chlorogenic acid retention in white and purple eggplant after processing and cooking. *LWT-Food Science and Technology* 64, 802-808.
- Zaro, M.J., Vicente, A.R., Ortiz, C.M., Chaves, A.R., Concellón, A., 2015b. Eggplant, *Handbook of Vegetable Preservation and Processing* (second edition) CRC Press Boca Raton, Florida, U.S. , , pp. 500-515.
- Zhang, C., Tanabe, K., Wang, S., Tamura, F., Yoshida, A., Matsumoto, K., 2006. The Impact of Cell Division and Cell Enlargement on the Evolution of Fruit Size in *Pyrus pyrifolia*. *Annals of Botany* 98, 537-543.
- Zhu, F., 2015. Interactions between starch and phenolic compound. *Trends in Food Science & Technology* 43, 129-143.
- Zhu, F., Sakulnak, R., Wang, S., 2016. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread. *Food chemistry* 194, 1217-1223.
- Zia-ur-Rehman, Z., Islam, M., Shah, W., 2003. Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. *Food Chemistry* 80, 237-240.
- Zimmermann, P., Zentgraf, U., 2005. The correlation between oxidative stress and leaf senescence during plant development. *Cellular and Molecular Biology Letters* 10, 515-534.
- Zuleta, A., 2005. Efectos Nutricionales y Fisiológicos de las Fibras. *Reseña sobre Fibras Insolubles*, Primer Simposio Internacional sobre Alimentos Funcionales. Buenos Aires. Hotel Sheraton Libertador.