



UNIVERSIDAD  
DE ALMERÍA

DANIEL VALVERDE MIRANDA

APLICACIÓN DE REGRESIÓN LOGÍSTICA Y LINEAL PARA DEFINIR INDICADORES DE POTENCIAL  
DE COMERCIALIZACIÓN EN CULTIVARES DE PEPINO.

Enero de 2022



UNIVERSIDAD  
DE ALMERÍA



UNIVERSIDAD  
DE ALMERÍA

TESIS DOCTORAL

Escuela Superior de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería

APLICACIÓN DE REGRESIÓN LOGÍSTICA Y LINEAL  
PARA DEFINIR INDICADORES DE POTENCIAL  
DE COMERCIALIZACIÓN EN CULTIVARES DE PEPINO.

Doctorando: DANIEL VALVERDE MIRANDA  
Director: MANUEL DÍAZ PÉREZ

Almería, enero de 2022



**TESIS DOCTORAL**  
**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**  
Escuela Superior de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería

**APLICACIÓN DE REGRESIÓN LOGÍSTICA Y LINEAL PARA  
DEFINIR INDICADORES DE POTENCIAL DE  
COMERCIALIZACIÓN EN CULTIVARES DE PEPINO**

**APPLICATION OF LOGISTIC AND LINEAL REGRESSION TO  
DEFINE INDICATORS FOR MARKETABILITY POTENTIAL IN  
CUCUMBER CULTIVARS**

Autor:

Daniel Valverde Miranda

Director de tesis:

Doctorando:

Manuel Díaz Pérez

Daniel Valverde Miranda

**ALMERÍA, ENERO 2022**



## AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento profundo y sincero que trato de expresar en estas humildes líneas que anteceden al trabajo realizado difícilmente puede ser contenido en las letras que las componen. Aun así, quiero mostrar mi eterna gratitud al Dr. D. Manuel Díaz Pérez, persona absolutamente clave en la concepción y desarrollo de esta tesis, por su inestimable ayuda y paciencia demostradas, por su cercanía y vasto conocimiento de la investigación y la materia abordada puesto al servicio de mi formación.

Al Catedrático D. Ángel Jesús Callejón Ferre, por su consejo siempre acertado y su preocupación por mi trayectoria académica y profesional desde que entré por vez primera en la Universidad de Almería. Quede aquí constancia de mi viva admiración a su labor docente, su capacidad de trabajo y su valía personal.

A mis padres, Antonio y Amparo, por alfombrar siempre con esfuerzo e ilusión los caminos que en la vida he decidido recorrer.

A mi hermano, Alejandro, por ser mi pareja de remo que hace posible el avance constante.

A Noelia, mi mujer, y a mis hijos, Daniela y Álvaro, por compartir sueños, por su incondicional apoyo y por el incesante regalo de su tiempo para hacer realidad los proyectos que alborotan mi mente.

***“Buscad leyendo y hallaréis meditando”***  
San Juan de la Cruz (1542 -1591)

# ÍNDICES



## **Índice General**

1. CAPÍTULO 1. Introducción: Interés y objetivos.....	3
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Hipótesis .....	7
1.4 Objetivos.....	8
2. CAPÍTULO 2. Revisión bibliográfica.....	11
2.1 La comercialización de pepino .....	11
2.1.1 La exportación de frutos de pepino .....	11
2.2 Concepto de calidad de fruto para consumo en fresco .....	12
2.2.1 Calidad según el productor .....	13
2.2.2 Calidad según el consumidor.....	14
2.2.3 Calidad según el intermediario.....	16
2.3 Atributos de calidad de frutos de pepino y su valoración.....	17
2.3.1 Tamaño y forma del fruto.....	26
2.3.2 Color exterior del fruto .....	28
2.3.3 Firmeza y textura del fruto .....	31
2.3.4 Contenido de sólidos solubles y azúcares.....	33
2.3.5 Acidez .....	35
2.3.6 Materia seca .....	35
2.3.7 Ausencia de defectos .....	35
2.4 Métodos de conservación.....	44
2.4.1 Frigoconservación .....	44
2.4.2 Almacenamiento en atmósfera controlada / atmósfera modificada .....	46
2.4.3 Control del etileno.....	47

2.5	Deterioro y pérdidas de calidad en poscosecha.....	48
2.5.1	Deterioro de la calidad .....	48
2.5.2	Pérdidas durante la poscosecha .....	48
2.5.2.1	Tipos de pérdidas en poscosecha .....	51
2.5.2.2	Cuantificación de las pérdidas poscosecha .....	52
2.5.2.3	Causas que originan pérdidas en poscosecha .....	53
2.6	Factores influyentes sobre la calidad poscosecha.....	59
2.7	Deterioro del fruto: Factores biológicos y ambientales.....	60
2.7.1	Estado de madurez del fruto .....	61
2.7.2	Posición del fruto en la planta .....	65
2.7.3	Respiración.....	65
2.7.4	Transpiración de los frutos .....	67
2.7.5	Fisiopatías: Cambios fisiológicos y de composición.....	68
2.7.6	Enfermedades poscosecha.....	72
2.8	Deterioro del fruto: Factores no biológicos.....	78
2.8.1	Daños mecánicos producidos sobre los frutos .....	78
2.8.2	Factores ambientales que influyen en el deterioro .....	79
2.8.2.1	Temperatura.....	79
2.8.2.2	Humedad relativa .....	87
2.8.2.3	Luz .....	87
2.8.3	Composición atmosférica .....	88
2.8.3.1	Exposición a etileno .....	89
3.	CAPÍTULO 3. Materiales y métodos .....	95
3.1	Introducción.....	95
3.1.1	Localización del estudio .....	95

3.2	Material vegetal.....	96
3.3	Diseño experimental.....	97
3.3.1	Toma de datos.....	97
3.4	Análisis estadístico.....	100
3.4.1	Análisis de la varianza.....	100
3.4.2	Modelo lineal simple.....	101
3.4.3	Regresión logística binaria.....	101
4.	CAPÍTULO 4. Resultados y discusión.....	107
4.1	Resultados.....	107
4.1.1	Comportamiento de los sólidos solubles totales y materia seca del fruto de pepino respecto a los factores de influencia estudiados.....	107
4.1.2	Relación entre sólidos solubles totales y la materia seca en frutos de pepino.....	110
4.1.3	Probabilidad de comercialización en función de la materia seca del fruto en recolección.....	114
4.1.4	Materia seca y sólidos solubles totales del fruto como indicadores de vida comercial en pepino.....	116
4.2	Discusión.....	124
5.	CAPÍTULO 5. Conclusiones.....	131
6.	CAPÍTULO 6. Futuras líneas de investigación.....	135
7.	CAPÍTULO 7. Bibliografía citada.....	139
8.	CAPÍTULO 8. Producción científica derivada de la tesis.....	165



## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Efecto del ciclo de cultivo, mes de medida, tiempo de conservación y cultivar sobre los sólidos solubles totales (SST) y Materia Seca (MS) de los frutos de pepino. ....	109
Tabla 2. Estimación de parámetros de regresión logística múltiple para el tiempo de conservación (DDC) y la materia seca del fruto en recolección (% MS a 0DDC) como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. Los resultados provienen de considerar conjuntamente todos los cultivares de los dos estudios. ....	115
Tabla 3. Estimación de parámetros de regresión logística múltiple para los cultivares de pepino y tiempo de conservación como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización. ....	119
Tabla 4. Estimación de parámetros de regresión logística múltiple para la materia seca (MS, %), los sólidos solubles totales (SST, °Brix) y los cultivares de pepino como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. Los resultados provienen de considerar todos los valores de MS y SST a 0, 7, 14, 21 y 28 DDC. ....	122



## **Índice de Figuras**

- Figura 1. Diagrama del interés y la aplicación práctica del uso de los sólidos solubles totales (SST) y materia seca (MS) del fruto como indicadores de probabilidad de comercialización y vida comercial. .... 7
- Figura 2. Definición de tipo de producto. Tipo más común de pepinos cultivados bajo invernadero (izquierda) y al aire libre (derecha). Fuente: OECD (2008). .... 21
- Figura 3. Pepinos perfectos, bien formados y prácticamente rectos. Fuente: OECD (2008). .... 21
- Figura 4. Curvatura máxima del fruto de pepino. Fruto superior recto. Fruto medio sería el límite permitido en las categorías “Extra” y I. Fruto inferior sería el límite permitido en la categoría II. Fuente: OECD (2008). .... 22
- Figura 5. Diagrama de cómo medir la altura del arco en fruto de pepino. Fuente: OECD (2008). .... 22
- Figura 6. Límite permitido en categoría I de fruto con defectos cutáneos muy leves (arriba). Límite permitido en categoría I de fruto con leves grietas curadas debido a la baja temperatura durante el crecimiento (centro). Límite permitido en categoría II de fruto con grietas de crecimiento cicatrizadas (abajo). Fuente: OECD (2008). .... 23
- Figura 7. Pepinos de buena calidad, razonablemente bien formados y prácticamente rectos. Límite permitido en categoría I. Fuente: OECD (2008). .... 24
- Figura 8. Límite permitido en categoría I asociado a ligera deformación (arriba). Límite permitido para un pepino deformado en Categoría II (abajo). Fuente: OECD (2008). .... 24
- Figura 9. Aspecto externo e interno de la deformación leve causada por la ausencia de formación de semillas en el fruto de pepino. Los frutos mostrados se encuentran dentro del límite permitido. Fuente: OECD (2008). .... 25
- Figura 10. Límite permitido en categoría I (arriba) para fruto con leves defectos de coloración debido a una hoja que cubre el pepino durante el crecimiento. Límite permitido en categoría II (abajo) para fruto con defecto de coloración hasta un tercio de la superficie. Fuente: OECD (2008). .... 25
- Figura 11. Defecto leve de la piel debido al roce. Límite permitido en categoría I (arriba). Límite permitido en categoría II (abajo). Fuente: OECD (2008). .... 26
- Figura 12. Defecto leve de la piel debido a ataques por trips. Límite permitido en categoría I (arriba) y categoría II (abajo). Fuente: OECD (2008). .... 26
- Figura 13. Efecto de la posición del fruto en función del tiempo en relación a la longitud/circunferencia del fruto de pepino. Un fruto/planta en la axila 12 (punto negro) o la axila 6 (punto blanco). Fuente: Marcelis (1994b). .... 28
- Figura 14. Relación entre el ángulo hue y la clorofila total asociada a distintos estados de madurez en el momento de la cosecha. Frutos de mini-pepinos (cv. Manar)

durante su almacenamiento en ambiente normal o $10 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de etileno a $15^\circ\text{C}$ (Hurr, et al., 2009).....	29
Figura 15. Escala de clasificación de color de frutos de pepino de la universidad UC Davis. (Kader, s.f.).....	30
Figura 16. Diagrama de distribución de tejidos de una rodaja de pepino en corte transversal (Dan et al., 2004).....	32
Figura 17. Distribución de tensiones planas para cuatro cultivares de pepino en diferentes planos de deformación (0'1, 0'15, 0'2, 0'25 cm) y punto de ruptura. A la derecha se muestra la escala de estrés ( $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ) (Dan et al., 2004). .....	33
Figura 18. Cambios en los sólidos solubles en hojas (A), en la savia del floema (B), y los tejidos del mesocarpo (C) durante el desarrollo del fruto de pepino (Hu et al., 2009).....	34
Figura 19. Concentración del tejido del mesocarpo, savia del floema y azúcar en hojas a 20 días después de la antesis. Fuente: Hu et al. (2009). .....	34
Figura 20. Daño en fruto de pepino debido a pedúnculo arrancado. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	36
Figura 21. Daño en fruto de pepino producido por cortes. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	37
Figura 22. Contusiones severas en fruto de pepino. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	37
Figura 23. Aspecto interno y externo del daño producido por <i>Didymella ryoniae</i> = <i>Mycosphaerella itrullina</i> (Tizón gomoso del tallo) en fruto de pepino. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	38
Figura 24. Sarna producida por <i>Cladosporium cucumerinum</i> . Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	38
Figura 25. Enfermedad producida por virus en fruto de pepino . Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	39
Figura 26. Podredumbre blanda acuosa producida por <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> en fruto de pepino . Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).....	39
Figura 27. Moho gris producido por <i>Botrytis cinerea</i> en restos de flores y pepinos No permitido. Fuente: OECD (2008).....	40
Figura 28. Exudación de goma en fruto de pepino. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008). .....	40
Figura 29. Fruto no comercial consecuencia de daños por frío causados por bajas temperaturas o heladas durante la fase de cultivo. Fuente: OECD (2008)....	40
Figura 30. Frutos de pepino no comerciales por no estar libres de materias extrañas visibles en su superficie. No cumple el requisito mínimo de limpieza. Fuente: OECD (2008).....	41

Figura 31. Fruto de pepino no comercial por presentar suciedad visible en su superficie. No cumple el requisito mínimo de limpieza. Fuente: OECD (2008). .....	41
Figura 32. Fruto de pepino con resto de fumagina. No cumple el requisito mínimo de limpieza. Fuente: OECD (2008). .....	42
Figura 33. Detalle de amarilleo debido a la falta de frescura en frutos de pepino. No cumple el requisito mínimo de fresco y firme en apariencia. Fuente: OECD (2008). .....	42
Figura 34. Fruto de pepino no comercial como consecuencia del daño producido por babosas durante la fase de cultivo. No cumple con el requisito mínimo "libre de daños originados por insectos que afecten a la pulpa". Fuente: OECD (2008). .....	43
Figura 35. Frutos de pepinos no comerciales por no estar desarrollados suficientemente. No cumple el requisito mínimo de fruto suficientemente desarrollado. Fuente: OECD (2008). .....	43
Figura 36. Fruto de pepino con semillas duras. No cumple el requisito mínimo de fruto con semillas duras. Fuente: OECD (2008). .....	44
Figura 37. Vida comercial relativa de los frutos de pepino en función de la temperatura de conservación . Fuente: Kasmire & Cantwell (2002). .....	45
Figura 38. Recorrido que llevan los alimentos vegetales desde la recolección en campo hasta el consumidor (Fuente: Bourne (1977). .....	49
Figura 39. Principales operaciones realizadas después de la cosecha. Fuente: elaboración propia a partir de Bourne (1977); Salunkhe & Desai (1984) y Ramaswamy (2015). .....	58
Figura 40. Pérdidas en productos vegetales perecederos que se producen habitualmente desde el productor al consumidor. Fuente: elaboración propia a partir de Bourne (1977); Salunkhe & Desai (1984) y Ramaswamy (2015). .....	59
Figura 41. Detalle de la espina blanca (derecha) y espina oscura (izquierda) en frutos de pepino tipo español. .....	63
Figura 42. Vida útil de frutos de pepino cosechados en diferentes nudos y en diferentes lugares de la planta, en el tallo principal (cuadrados), en el primer tallo lateral (círculos) y en el segundo tallo lateral (triángulos) (Lim & Ehret, 1991). .....	65
Figura 43. Evolución de la producción de CO <sub>2</sub> (proceso de respiración). Diferencias entre frutos climatéricos y no climatéricos durante el proceso de desarrollo, crecimiento, maduración y recolección de productos vegetales. Fuente: Saltveit (2019). .....	66
Figura 44. Amarilleo en frutos de pepino. Fuente: Javanmardi & Pessaraki (2019). .....	70
Figura 45. Frutos de pepino con distinta intensidad de acolchado. Comparación de frutos no afectados y frutos que se clasifican como ligeramente acolchados (0-	

20%) o moderadamente acolchados (21% -40%). Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).....	71
Figura 46. Sección transversal de frutos acolchados en pepino. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).....	71
Figura 47. Síntomas de pudrición severa producida por <i>Colletotrichum orbiculare</i> . .....	75
Figura 48. Síntomas de pudrición producida por <i>Pseudomonas syringae</i> . ....	75
Figura 49. Síntomas de pudrición producida por <i>Cladosporium cucumerinum</i> . ....	75
Figura 50. Síntomas severos de infección por <i>Penicillium fungus</i> en fruto de pepino. .....	76
Figura 51. Pudriciones en frutos de pepino producidas por <i>Botrytis cinerea</i> . Fuente: PH Bulletin No. 28 y Palou & Smilanick (2019). ....	76
Figura 52. Pudrición en fruto de pepino originada por <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> . Fuente: Palou & Smilanick (2019). ....	76
Figura 53. Síntomas de pudrición producida por <i>Rhizoctonia solani</i> en frutos de pepino. ....	77
Figura 54. Síntoma de lesión por congelación en pepino. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).....	82
Figura 55. Daño por frío en pepino (primero 9 días de almacenamiento + 5 días a 20°C después) y propensión a la infección por hongos. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).....	83
Figura 56. Hundimientos (picaduras) severos en la superficie del fruto de pepino ocasionado por un daño por frío. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019). .	84
Figura 57. Daño por frío producido en frutos de pepino. Fuente: Yahia et al. (2019c). .....	84
Figura 58. Síntomas de la lesión por frío en frutos de pepino Beta Alpha. El fruto de la izquierda muestra el colapso tisular del fruto inducido por el almacenamiento a 5 °C durante 7 días. Fuente: Sargent & Maynard (2012). .....	84
Figura 59. Síntomas en frutos de pepino que producen los daños por frío durante 2 días de almacenamiento en frío (a1), 2 días almacenados en frío más 3 días a temperatura ambiente (a2), 5 días de almacenamiento en frío (b1) y 5 días de almacenamiento en frío más 3 días almacenados a temperatura ambiente (b2). Condiciones de almacenamiento en frío: 4°C, H.R 95%; y a temperatura ambiente a 20°C. Fuente: Cen et al. (2016). ....	85
Figura 60. Imágenes microscópicas de fruto de pepino sano (A) y (B). Fruto de pepino dañado por frío. (C) y (D). Fuente: Choi (2015).....	86
Figura 61. Amarillo entero (A) y cortes transversales de fruto de mini pepino inmaduro (B) (cv. Manar) después de la exposición al aire (izquierda) o 10 as e / L de etileno (derecha) durante 9 días a 15 ° C. Fuente: Hurr et al. (2009). .....	90

- Figura 62. Imagen izquierda: Amarilleamiento de pepinos debido a la exposición de etileno. Los frutos fueron expuestos al aire (fruto de la derecha), o 10 ppm de etileno por 2 días y luego almacenados 5 días a 12.5 °C (los 2 frutos de la izquierda). Imagen derecha: Detalle del amarilleamiento del fruto de pepino. Fuente: Kasmire & Cantwell (2002). ..... 91
- Figura 63. Efectos de la senescencia de frutos de pepino tipo Beta Alpha por exposición de etileno: colapso epidérmico seguido de infección secundaria. Fuente: Sargent & Maynard (2012). ..... 91
- Figura 64. Detalle del tipo de pepino (tipo “Almería” u “holandés”) evaluado en la presente tesis. .... 96
- Figura 65. Detalle de frutos de pepino no comerciales considerados en nuestro estudio. .... 98
- Figura 66. Refractómetro digital ATAGO PR-101 utilizado en nuestro estudio para determinar los sólidos solubles totales (°Brix)..... 98
- Figura 67. Estufa IDL.CD 208m utilizada en nuestro estudio para determinar la materia seca del fruto. Fuente: <https://www.labolan.es/es/>. .... 99
- Figura 68. Relación entre sólidos solubles totales (SST, °Brix) y materia seca (MS, %) para los frutos en el momento de la recolección (0 DDC) de todas las muestras del estudio (A), promedio de las muestras del ciclo 18-19 (B), promedio de las muestras del ciclo 19-20 (C), promedio de las muestras de los cultivares Levantino, Litoral y Montano (D), promedio de las muestras de los cultivares Braganza y Valle (E), promedio de los meses de octubre (F), noviembre (G), diciembre (H), enero (I) y febrero (J). La nomenclatura n.s., \*, \*\*, \*\*\* indica que el modelo lineal es no significativo o significativo para  $P \leq 0,05$ , 0,01 y 0,001, respectivamente. .... 112
- Figura 69. Relación entre sólidos solubles totales (SST, °Brix) y materia seca (MS, %) para todos los frutos estudiados a 0, 7, 14, 21 y 28 DDC en el estudio realizado de octubre a enero (A) y en el estudio de diciembre a febrero (C). Modelos de regresión lineal para los cultivares Levantino, Litoral y Montano (B) y cultivares Braganza y Valle (D). Los modelos (A) y (C) provienen de los frutos de todos los cultivares evaluados en cada estudio durante 0, 7, 14, 21 y 28 días de conservación (DDC). Los modelos (B) y (D) provienen de los frutos de cada cultivar evaluados en cada estudio durante 0, 7, 14, 21 y 28 DDC. La nomenclatura n.s., \*, \*\*, \*\*\* indica que el modelo lineal es no significativo o significativo para  $P \leq 0,05$ , 0,01 y 0,001, respectivamente. .... 113
- Figura 70. Evolución de la probabilidad de comercialización en función de la materia seca (MS, %) del fruto en recolección. Resultados del estudio realizado de octubre a enero (A), estudio de diciembre a febrero (B) y resultados considerando conjuntamente todos los cultivares de los dos estudios (C). 116
- Figura 71. Efecto de los cultivares de pepino sobre la materia seca (MS, %) y los sólidos solubles totales (SST, °Brix) del fruto en el momento de recolección. Los resultados en (A) y (C) provienen del análisis de la varianza según el modelo  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$ . Los resultados en (B) y (D) provienen del análisis del test T-Student para dos muestras independientes. Las barras de error se

corresponden con los valores de mínimas diferencias significativas según el test LSD.....	117
Figura 72. Evolución temporal de la probabilidad de comercialización de los cultivares de pepino.....	119
Figura 73. Efecto de la probabilidad de comercialización en función de los sólidos solubles totales (SST, °Brix) y materia seca (MS, %) del fruto durante su conservación, según se ve afectada por los cultivares de pepino. ....	123
Figura 74. Relación entre odds ratio y la materia seca (MS, %) y los sólidos solubles totales (SST, °Brix) del fruto en recolección para los cultivares Levantino, Litoral y Montano (A) y cultivares Braganza y Valle (B). Los resultados provienen del modelo de regresión logística binaria múltiple cuando se considera el cultivar y el tiempo de conservación como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. Se han considerado como referencia (odds ratio =1) los cultivares Litoral y Valle en sus correspondientes estudios.....	123

## **RESUMEN**



## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo el demostrar la relación entre el contenido de sólidos solubles totales (SST) y la materia seca (MS) en cosecha con la vida comercial de los frutos de pepino (*Cucumis sativus L.*). Durante dos campañas agrícolas se estudiaron dos grupos de cultivares con ciclos de producción distintos y durante varios meses consecutivos. Las muestras se conservaron durante 28 días en ausencia de luz a 10°C y 85 – 95% de humedad relativa. Se determinó en laboratorio la materia seca, sólidos solubles totales y calidad comercial de los frutos cada 7 días de conservación (DDC). Tras el análisis de datos, se obtuvo que el ciclo y mes de cultivo, tipo de cultivar y tiempo de conservación afectaron a la materia seca y sólidos solubles totales del fruto. La concentración de SST mostró una relación lineal con la MS del fruto, y esta relación se mantuvo desde la recolección hasta la senescencia. Además, una vez que los frutos fueron cosechados, la concentración de estos dos parámetros descendió progresivamente durante su conservación. La materia seca y SST del fruto en el momento de recolección son factores de influencia sobre la vida comercial de los frutos de pepino durante la poscosecha, y cuanto mayor sea su concentración en cosecha, mayor será la vida comercial. Por tanto, podrían ser utilizados el contenidos total de sólidos solubles y materia seca del pepino medidos en cosecha como indicadores de vida comercial.

**Palabras clave:** Pepino, *Cucumis sativus L.*, cultivar, calidad, materia seca, sólidos solubles totales, días de conservación, regresión logística binaria, probabilidad de comercialización.



## **SUMMARY**



## SUMMARY

The objective of the present study was to show the relationship between total soluble solids (TSS) and dry matter (DM) at harvest and the shelf life of cucumber fruit (*Cucumis sativus* L.). During two agricultural seasons, two groups of cultivars with different production cycles were studied and for several consecutive months. The samples were stored for 28 days in the absence of light at 10 °C and 85-95% relative humidity. The DM, TSS and commercial quality of the fruits were determined every 7 days of storage (DOS). After data analysis, it was found that the cycle and month of cultivation, type of cultivar and storage time affected the DM and TSS of the fruit. The TSS concentration showed a linear relationship with the DM of the fruit, and this relationship was maintained from harvest to senescence. In addition, once the fruits were harvested, the concentration of these two parameters decreased progressively during storage. The DM and TSS of the fruit at the time of collection are factors that influence the shelf life of cucumber fruit postharvest, and the higher their concentration at harvest is, the greater the shelf life. Therefore, the TSS and DM of fruit measured at harvest can be used as indicators of cucumber fruit shelf life.

**Keywords:** Cucumber, *Cucumis sativus* L., cultivar, quality, dry matter, total soluble solids, days of storage, binary logistic regression, probability of marketability.



## **1.- INTRODUCCIÓN**





## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN: INTERÉS Y OBJETIVOS**

En los últimos años, se ha prestado una atención considerable a reducir las pérdidas poscosecha. Identificar la naturaleza del deterioro, averiguar si un organismo está involucrado e investigar las posibles causas contribuyentes son necesidades importantes. El examen de todos los factores influyentes ayuda a tomar decisiones sobre las medidas de control adecuadas para reducir las pérdidas de productos frescos en el futuro.

Entre los diferentes tipos de pérdidas poscosecha, los trastornos fisiológicos se desencadenan por condiciones ambientales, genéticas y / o abióticas durante el período de crecimiento, cosecha, manipulación, transporte, almacenamiento y condiciones del producto hasta que llega a los consumidores. Mantener la calidad del cultivo después de la cosecha es una consideración importante para cualquier agricultor o manipulador de productos frescos del mercado, ya que los productos frescos tienen la máxima calidad cuando se recolectan y la calidad solo puede mantenerse (de lo contrario, deteriorarse) mientras se manipulan y almacenan.

El fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.) para consumo en fresco se considera uno de los productos hortícolas más populares del mundo; y su cultivo es considerado de los más antiguos. Pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, que incluye 90 géneros y 750 especies (Sitterly, 1972). Hay escritos de más de 5000 años en el que se describe este cultivo y la historia sitúa su origen en la India, extendiéndose después hacia China, Asia Menor, sur de Europa y norte de África (Whiteaker & Davis, 1962; Kroon et al., 1979; Esquinas-Alcazar & Gulick, 1983). Según escritos antiguos, el cultivo de pepino era realizado por los romanos y griegos 300 años antes de Cristo. En la Edad Media se cultivó en casi todo el continente europeo. El consumo de pepino era muy popular en el siglo IX en Francia. Más tarde (en 1327), su popularidad se extendió a Inglaterra (Murty & Subrahmanyam, 1989). Su extensión por todo el mundo se produjo de la mano de Colón, que en 1494 plantó en Haití el primer cultivo de pepino del que se tiene conocimiento en el nuevo mundo. Es muy probable, que

años después se extendiera a todo el continente americano hasta llegar a Estados Unidos (Wehner & Robinson, 1991).

El pepino se cultiva para consumo en fresco en casi todos los países de zonas templadas. Se trata de una planta termófila cuyo cultivo se desarrolla muy bien a T<sup>a</sup> superior a 20 °C. Además de su uso para consumo fresco, también es muy consumido como pepino encurtido (Tatlioglu, 1993).

### **1.1 ANTECEDENTES**

**E**l pepino (*Cucumis sativus* L.) para consumo en fresco es una de las hortalizas más populares del mundo y una fuente rica de vitaminas, minerales y antioxidantes (Patel & Panigrahi, 2019). El volumen de producción de pepinos en el mundo en 2018 fue de 75,22 millones de toneladas, produciéndose en Europa el 7,9 % (Faostat, 2020). En 2019 la producción en Europa fue de 2,44 millones de toneladas, de los cuales, el 30,3 % fue producido en España (Eurostat, 2020). En cambio, se estima que un tercio de la producción mundial se pierde o se desperdicia (FAO, 2013, 2018). Estas pérdidas se producen a lo largo de la cadena de valor, desde la producción y recolección, durante la manipulación, transporte y almacenamiento, la distribución y comercialización, hasta llegar al consumidor (Parfitt et al., 2010; Prusky, 2011; HLPE, 2014).

Se estima que un 40% (o más) de pérdidas y desperdicios en hortalizas y frutas ocurren desde la recolección hasta la distribución. Estas pérdidas son similares tanto en los países en desarrollo como en los industrializados, aunque con diferencias en el momento de la cadena de valor en el que se producen. En los países industrializados, la pérdida se produce en la venta minorista y el consumo, mientras que, en los países en desarrollo, se produce en las etapas de poscosecha y procesamiento (Gustavsson et al., 2011). Además, cuanto mayor sea el tiempo transcurrido desde la cosecha hasta el consumo, mayores serán estas pérdidas (Kader, 2008).

Las principales causas que originan mala calidad, pérdidas y desperdicios durante la poscosecha de los frutos de pepino sanos, saludables y con calidad óptima en recolección son marchitamiento (pérdida de agua), podredumbres, daño por frío,

decaimiento, pérdida de clorofila (color verde) que origina desarrollo de colores amarillo y anaranjado, hematomas y otras lesiones mecánicas (Kader, 1983; Snowden, 1992; Pareek, 2019; Valero & Serrano, 2010). La deformación de los frutos de pepino frescos durante la poscosecha es producida por cambios en el contenido de agua y polisacáridos que degradan la pared celular (Nishizawa et al., 2018).

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Una necesidad para los próximos años es aumentar el suministro, tal que se pueda satisfacer la demanda de alimentos y reducir las pérdidas y desperdicios (López-Barrera & Hertel, 2020). En el caso del pepino, en los últimos años se vienen realizando multitud de estudios asociados a aumentar el tiempo de poscosecha. Algunos estudios incluyen recubrimientos con ceras (Bhansawi & Khater, 2012) y recubrimientos comestibles para prolongar la vida comercial (Mohammadi et al., 2016; Odeyemi & Salau, 2017; Kahramanoğlu & Usanmaz, 2019; Patel & Panigrahi, 2019; Istúriz-Zapata et al., 2020). Otros estudian diferentes condiciones de conservación (Dhall et al., 2010; Lufu et al., 2020). Otros autores han estudiado cómo tratamientos cortos con agua caliente al inicio de la poscosecha pueden controlar la descomposición, reducir el daño por frío y mantener la calidad de los frutos de pepino (DeEll et al., 2000; McCollum et al., 1995; Adoma & Maalekuu, 2015; Nasef, 2018). El uso de atmósferas modificadas (Wang & Qi, 1997; Cantwell & Kasmire, 2002; Manjunatha & Anurag, 2012; Glowacz et al., 2015) y tratamientos químicos como el óxido nítrico (Yang et al., 2011; Dong et al., 2012) son otras alternativas estudiadas para prolongar la vida comercial del fruto de pepino.

Además de las condiciones y tratamientos aplicados durante la conservación para prolongar la vida comercial, el tipo de cultivar es una fuente de variación biológica clave en la longevidad de los frutos durante la poscosecha (Schouten et al., 2004). En consecuencia, el desarrollo genético de cultivares con mayor vida comercial es una de las mejores alternativas para aumentar la vida comercial del pepino (Díaz-Pérez et al., 2019a). Para facilitar y enriquecer estos procesos de mejora, sería interesante identificar indicadores de fácil aplicación que permitan seleccionar

fenotipos con mayor potencial de vida comercial durante los procesos de selección varietal.

Por otro lado, la calidad del fruto de pepino en la cosecha y su evolución durante la poscosecha se ve afectada por las condiciones agronómicas del cultivo, condiciones climáticas, carga de frutos y la edad del cultivo (Marcelis, 1993; Gómez-López et al., 2006). Uno de los principales problemas de calidad durante la cadena de suministro tiene su origen en la heterogeneidad de la calidad de los lotes de frutos comercializados, debido a mezcla de frutos de distintos orígenes (productores o campos), distintos cultivares y/o diferencias de madurez en la cosecha. Los frutos de pepino del mismo aspecto, forma y color en la cosecha, pueden presentar grandes diferencias en su vida comercial. Por tanto, se hace imprescindible el control de calidad en lotes en el momento de la cosecha que aseguren una mayor vida comercial (Schouten et al., 2004, 2002, 1997). En este sentido, el uso de indicadores fáciles y rápidos de medir serían útiles para caracterizar lotes de calidad y vida comercial homogéneos.

Finalmente, algunos estudios demuestran la influencia que varios factores pueden tener sobre el patrón de asignación de biomasa al fruto y la modelización del rendimiento del cultivo (Marcelis, 1992, 1993; Gómez et al., 2003; Gajc-Wolska et al., 2010). Otros estudios han descrito como varía la materia seca (MS) y los sólidos solubles totales (SST) durante la conservación del pepino (Davies & Kempton, 1976, Gómez-López et al., 2006; Verheul et al., 2013; Nasef, 2018; Kahramanoğlu & Usanmaz, 2019). Sin embargo, la influencia de la MS y los SST del pepino sobre el aumento del tiempo de vida comercial no ha sido estudiada de forma específica. Por consiguiente, el presente estudio tiene como objetivo el demostrar que la MS y los SST pueden ser utilizados como indicadores relacionados con la mayor o menor probabilidad de comercialización en frutos de pepino (Figura 1).

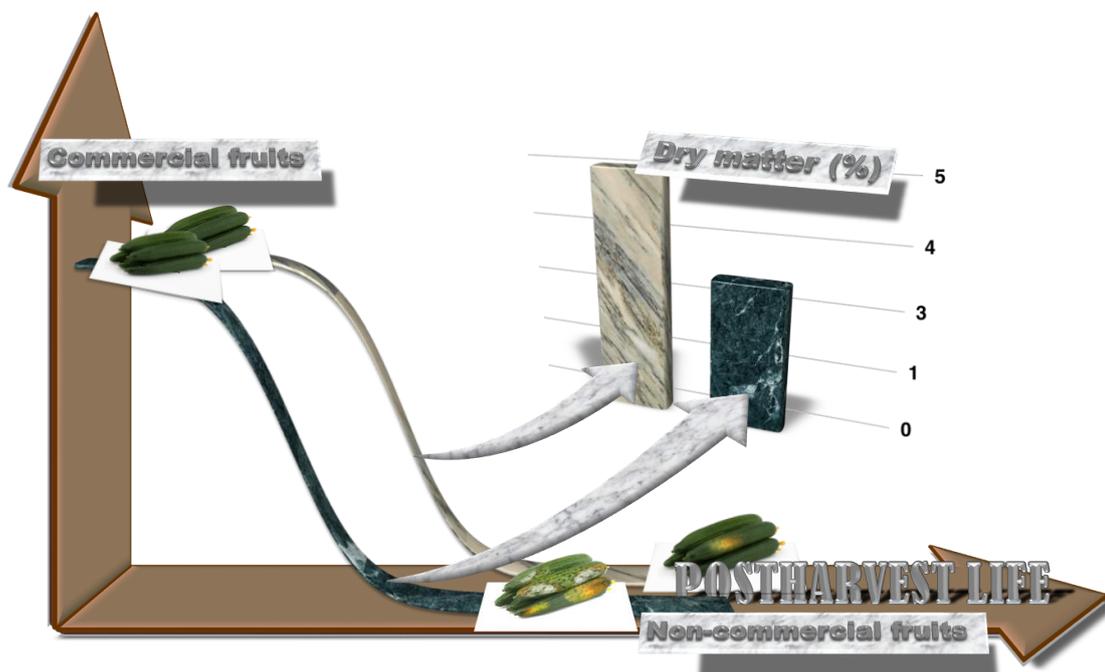


Figura 1. Diagrama del interés y la aplicación práctica del uso del contenido en sólidos solubles totales (SST) y materia seca (MS) del fruto como indicadores de probabilidad de comercialización y vida comercial.

### 1.3 HIPÓTESIS

Con la presente investigación se pretende demostrar la relación de los sólidos solubles totales (SST) y la materia seca (MS) en cosecha con la vida comercial de los frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.). El uso de estos indicadores de calidad y vida comercial ya han sido demostrados por otros investigadores en mango (Marques et al., 2016; Nordey et al., 2017, 2019), manzana (McGlone et al., 2003; Palmer et al., 2010), kiwi (Jordan et al., 2000; McGlone et al., 2002), tomate (Pedro et al., 2007) y pepinos encurtidos (Kavdir et al., 2007). En cambio, el uso de la materia seca y los SST como indicadores de vida comercial en frutos de pepino para consumo fresco aún no ha sido demostrado.

## **1.4 OBJETIVOS**

Esta tesis tiene como **objetivo general** el demostrar que la materia seca y los sólidos solubles totales pueden servir como indicadores para identificar frutos de pepino con mayor probabilidad de comercialización.

Para alcanzar el objetivo general, se plantea resolver los siguientes **Objetivos Específicos**:

1. Demostrar que la concentración de sólidos solubles totales está directamente relacionada con la materia seca del fruto.
2. Describir el comportamiento durante la vida poscosecha de la materia seca y los sólidos solubles totales del fruto.
3. Demostrar que la concentración de MS y SST del fruto en recolección son indicadores de longevidad poscosecha en frutos de pepino.

## **2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**





## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 LA COMERCIALIZACIÓN DE PEPINO**

#### **2.1.1 LA EXPORTACIÓN DE FRUTOS DE PEPINO**

**E**l pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo hortícola de gran importancia que ocupa una posición muy codiciada en el mercado de las hortalizas. Es originario de la India, y en la actualidad, su producción y comercialización para consumo en fresco se considera que está muy extendida en todo el mundo (Wan et al., 2010). Sus propiedades organolépticas la hacen que sea muy aceptada y popular entre los consumidores. Además, es una de las verduras más nutritivas, ricas en vitaminas (principalmente vitamina A y K), antioxidantes, minerales como fósforo, potasio, calcio y hierro; y una excelente hortaliza refrescante debido a su alto contenido de agua (alrededor del 95%) (Dhall et al. 2011; Adoma & Maalekuu, 2015; Patel & Panigrahi, 2019).

La producción de frutos de pepinos en el mundo en 2019 fue de 87,8 millones de toneladas, produciéndose en Europa el 7,9 % (Faostat, 2020). Según Eurostat (2020), la producción Europea en 2019 fue de 2,44 millones de toneladas, siendo el 30,3 % producido en España.

La producción y consumo de pepinos como verdura fresca ha ido en aumento de forma progresiva en las últimas décadas. Según Eurostat (2020), se pasó de una superficie de cultivo mundial de 1,4 millones de ha, con una producción de 21,7 millones de toneladas en 1994, a una producción de 87,8 millones de tn y 2,2 millones de ha en 2019. Siendo progresivo este aumento de superficie de cultivo y producción durante este periodo. En el caso de Europa, la producción se ha mantenido en el entorno de 6 millones de toneladas durante la última década. En cambio, la superficie

de cultivo se ha reducido un 21%. Esto es debido a la mejora y optimización de los sistemas de cultivo europeos (Eurostat, 2020).

Pese a la elevada producción mundial de pepino, las pérdidas durante la poscosecha y distribución son importantes. En Europa, se estima que el 36 % de las hortalizas y frutas se pierden o desperdician desde el inicio de la poscosecha hasta el consumidor (Gustavsson et al., 2011; 2012).

El pepino es de naturaleza muy perecedera y es muy susceptible de arrugarse y, por lo tanto, la humedad durante el almacenamiento, el transporte y la comercialización debe mantenerse entre el 90 y el 95% (Dhall et al. 2011; Manjunatha & Anurag, 2012).

El futuro de la exportación de frutas y hortalizas en general, y de pepino en particular en España, debe ir encaminada más a aportar valor al consumidor, que el aumentar el volumen de exportación (Álvarez, 2017). Por tanto, para la exportación de pepino durante las próximas décadas, es necesario la búsqueda de estrategias para reducir las pérdidas en poscosecha.

## ***2.2 CONCEPTO DE CALIDAD DE FRUTO PARA CONSUMO EN FRESCO***

En una agricultura moderna la palabra calidad más que un objetivo, es una exigencia. En general, la definición de calidad para las frutas y hortalizas es compleja, por lo que diferentes autores la han definido de diferentes formas (Roy, 2001; Shewfelt, 1999).

El término calidad fue definido en 1990 por Juran como "*aptitud para el uso*" (Brocket & Brocket, 1995). Deming (1993) indicó 3 años después que "*un producto o servicio posee calidad si ayuda a alguien y disfruta de un mercado bueno y sostenible*" (Brocket & Brocket, 1995). Otra acepción muy utilizada es la descrita por Luning & Marcelis (2009), los cuales indican que "*la calidad cumple o excede las expectativas del cliente*".

Definir la calidad en frutos de pepino para consumo en fresco es difícil. Por tanto resulta tanto más complicado por su propia naturaleza entender lo que es un producto de calidad al hablar de una hortaliza, frente a cualquier producto industrial, como un tornillo. Por otro lado, los métodos de producción y la toma de decisiones en la dirección técnica de cultivos están sometidos a pautas variables, cuyos efectos se dejan sentir en la propia variabilidad de la producción.

Mientras que el término calidad se ha definido de muchas maneras y contextos, hay discrepancias en cuanto a qué es, cómo puede medirse y cómo se relaciona con la aceptabilidad del consumidor (Shewfelt, 1999).

Por tanto, la calidad también tiene múltiples percepciones basadas en diferentes puntos de vista entre los usuarios finales. Se puede advertir desde una vista basada en productos como una función de una variable medible específica, desde una vista basada en el usuario como lo que el consumidor quiere y desde una vista basada en valores como la relación de utilidad o satisfacción con el precio (Batt, 2006; Luning & Marcelis, 2009). En consecuencia, la calidad es un concepto complejo y multidimensional que incluye varios criterios al juzgarla. Por tanto, el concepto de calidad debe ser analizado desde la cadena de producción-comercialización-consumo. Analizar el concepto de calidad desde la perspectiva de los distintos agentes que conforman la cadena de producción-comercialización-consumo es necesario para clarificar el concepto de calidad en productos hortícolas.

El consumidor se basa en múltiples aspectos y criterios para juzgar la calidad. Los atributos determinantes en la compra de calidad son el color, tamaño, firmeza al tacto, forma, ausencia de defectos y aroma. Por otro lado, el consumo de calidad se centra en aquellas características que determinan cuánto le ha gustado ese producto durante la comida (Shewfelt, 2009).

### **2.2.1 CALIDAD SEGÚN EL PRODUCTOR**

El factor principal que valora el agricultor a la hora de elegir entre una variedad u otra, es que éstas posean una buena productividad unida, desde luego, a una buena comercialización del producto obtenido. En la selección del material vegetal el productor deposita gran parte de sus expectativas de rentabilidad,

partiendo generalmente de referencias más o menos contrastadas, experiencias personales, y en ocasiones condicionado por la propia decisión de la entidad a través de la cual se procede a la comercialización del producto, entre una horquilla mucho más restringida que el abanico varietal existente en el mercado. Este segundo aspecto minimiza el error que una inadecuada selección puede ejercer sobre la rentabilidad del productor a título particular y transmite una mayor responsabilidad al equipo técnico-comercial de cuyos consejos se deriva la implantación extensiva de dicho material. Conceptos como kg m<sup>-2</sup> comercializables, porcentaje de producción de primera categoría, adaptación a los ciclos de cultivo y estructuras de producción usuales en la zona de producción y cada vez más, la incorporación de genes de resistencia y/o tolerancia frente a plagas y enfermedades son aspectos que de forma natural el agricultor asocia a la calidad de su cosecha. La ausencia de manchas, deformaciones y atributos externos como calibre y color acompañan a los anteriores.

Con el desarrollo de los sistemas de certificación de calidad, los requisitos de trazabilidad obligan cada vez más a la mayor concienciación del productor y a la ampliación de este concepto e inclusión en el término calidad de la ausencia de residuos de materias activas fitosanitarias, o su valoración siempre por debajo de los límites establecidos, al igual que los aspectos relacionados con la seguridad en el almacenamiento, manejo y aplicación de productos fitosanitarios, sin cuestionar el estricto cumplimiento y respeto a la normativa sobre materias activas autorizadas por cultivos, dosis, condiciones de aplicación, plazos de seguridad. La trazabilidad traslada la responsabilidad al propio productor, quien a su vez ha de contar, en caso de cultivos con trasplante, con un material vegetal sano, debidamente acreditado.

### **2.2.2 CALIDAD SEGÚN EL CONSUMIDOR.**

Se refiere a todas las cualidades del fruto que los consumidores pueden valorar de forma positiva para quedar satisfechos (Ruiz-Altisent & Valero-Ubierna, 2000). Dentro de estas cualidades o atributos distinguimos:

- **Atributos visuales.** Son aquellos que el consumidor puede distinguir por sus propios ojos para obtener una primera impresión del estado del producto, entre

ellos estarían la forma, el tamaño, el color y su uniformidad a lo largo del fruto, la ausencia de daños, cicatrices, manchas correspondientes a desórdenes fisiológicos etc.

- **Atributos táctiles.** Son aquellos que el consumidor aprecia a través del contacto físico previo a la ingesta del producto en sí y que le pueden hacer elegir entre un producto u otro, entre los que podríamos destacar la turgencia, firmeza y madurez. En algunas circunstancias esto tiene lugar una vez adquirido el producto, no existiendo posibilidad de tocarlo con carácter previo a la compra.
- **Atributos organolépticos.** Estos atributos están asociados directamente a la propia degustación del producto vegetal. Dentro de este grupo se engloban el sabor, el aroma, la textura, el contenido en azúcares, ejemplos de atributos que son valorados por el consumidor en el estricto momento de su consumo o en el ceremonial previo a su aprovechamiento (por el carácter volátil de los compuestos químicos que se asocian con el aroma). Sobre estos atributos las compañías obtentoras de variedades vegetales hortícolas poseen por lo general en la actualidad exhaustivos programas de investigación y desarrollo para introducir mejoras en dichos caracteres y compatibilizarlos con otros aspectos de interés agronómico.
- **Atributos saludables.** Puesto que la percepción sensorial tiene límites para el organismo humano, es preciso incluir un cuarto grupo de atributos en el que existe una gran influencia cultural. Hablamos de atributos que no son apreciados por la vista, ni por el tacto, ni valorados en el momento de su consumo y que redundan en un beneficio a largo plazo para la salud del consumidor. Dentro de este grupo quedarían encuadrados, entre otros, el valor nutritivo, el contenido vitamínico del producto, la ausencia de residuos de materias activas fitosanitarias, de metales pesados, la propia ausencia de propágulos infecciosos y microorganismos. Este último grupo goza de gran y creciente importancia en los países desarrollados en los que la concienciación por el equilibrio alimentario, el respeto al medio ambiente y la información e investigación permanentes no dejan de sensibilizar a los consumidores, llegando en ocasiones a las indeseable y por desgracia situación de crisis alimentaria.

Fuera de estos cuatro grupos también habría que citar el precio, ya que es una cuestión que se asocia con la calidad de un producto. Normalmente se relaciona un alto precio con una mayor calidad de un producto respecto a otro de la misma clase que posea un precio menor. No obstante, y en relación con el último grupo de atributos, esas diferencias de precios en destino basadas en un valor añadido al producto por su carácter más saludable, frente a los productos clásicos no siempre se trasladan a nivel de productor con la misma magnitud, hecho que desincentiva la extensión de esos nuevos métodos de producción y merma su crecimiento potencial.

### **2.2.3 CALIDAD SEGÚN EL INTERMEDIARIO**

El intermediario actúa como nexo de unión entre el productor y el consumidor, por lo que debe exigir al agricultor unos niveles mínimos de calidad de los productos recibidos para poder introducirlos en los canales de comercialización y que puedan ser aceptados por los consumidores. En función de su representatividad y volumen de contratación sus requerimientos pueden hacer que sus condiciones se puedan universalizar.

Esto hace que los productos llegados del campo deban cumplir la normativa legal, sobre todo en lo que respecta a residuos de productos fitosanitarios. Esto resulta de vital importancia en la actualidad, pues existe un profundo interés en los temas relacionados con la salud humana, lo que conduce, por ejemplo, a que los principales países importadores de productos hortícolas exijan cada vez más un menor contenido de residuos en los productos recibidos y limiten el campo de materias activas.

Igualmente es deseable por parte del intermediario que los productos procedentes de los agricultores tengan unas características que favorezcan los procesos de manipulación, envasado y comercialización y permitan introducir los productos en el mercado en las mejores condiciones posibles.

La minimización de las pérdidas en la manipulación y la respuesta a técnicas como frigo-conservación y aumento de la vida comercial de las frutas y hortalizas son aspectos que destacan ligados al concepto de calidad desde esta perspectiva.

Por otro lado, la presión social y la preocupación por el impacto medioambiental de la actividad agrícola se suman a las exigencias que se imponen desde el plano del agente comercializador, ampliando los requisitos no sólo al producto en sí, sino al entorno donde es producido y acondicionado. La higiene rural aparece como una imagen asociada al producto y se constituye en asignatura trascendental, que hoy llamaríamos troncal, para el tejido productivo. Unas buenas prácticas agrícolas, basadas en un asesoramiento técnico cualificado y orientadas hacia la minimización del impacto ambiental son cruciales. Aspectos como la limpieza y acondicionamiento de caminos y redes rurales, recogida de agua de lluvia para su aprovechamiento en el riego, adecuado control de malas hierbas, empleo de polinizadores naturales, uso eficiente de inputs de producción, disminución de los niveles de lixiviados, recirculación de soluciones nutritivas, reciclado de cubiertas plásticas y otros residuos agrícolas, empleo de materiales biodegradables, compostaje de residuos agrícolas, controles analíticos periódicos, métodos de control de plagas y enfermedades alternativos, incluyendo, por supuesto, el control integrado y la denominada lucha biológica, contribuyen a potenciar una sólida y profesional imagen en la que no sólo es posible hablar de calidad de productos, sino también de calidad del propio entorno en el que se produce.

### ***2.3 ATRIBUTOS DE CALIDAD DE FRUTOS DE PEPINO Y SU VALORACIÓN***

Muchas son las cualidades de los frutos relacionadas con la calidad. Los principales atributos que la definen son la firmeza, forma, color, acidez, dulzor y aroma (Valero & Serrano, 2010).

El resultado ideal de los atributos de calidad depende de cada producto en cuestión. Tomando por ejemplo la firmeza de los frutos, en pepino son deseables valores elevados mientras que para la judía verde, es deseable su ternura, lo cual obliga a una definición en virtud de cada producto.

Por otro lado, las exigencias de estos atributos varían según los mercados a los que se dirijan los frutos. Por ejemplo, el mercado holandés prefiere frutos de

pepino tipo “LET” (Long European Type). Este tipo de fruto se caracteriza por ser alargado y con la piel un poco asurcada o lisa, su peso y longitud puede oscilar entre 350 y 500 g y 25 y 40 cm, respectivamente. En cambio, en Francia son muy aceptados los frutos de pepino Tipo AST (American Slicer Type) o tipo “Slicer”. Estos son frutos medio-largos con una longitud entre 20 y 25 cm y 3 – 5 cm de diámetro (aunque hay cultivares que pueden tener un tamaño menor). El peso oscila en torno a 300 – 400 gramos. Finalmente, en España son muy consumidos los tipo “Español” o pickling type. Sus frutos son cortos. La piel posee granos y espinas (no son frutos de cáscara lisa). La longitud del fruto oscila entorno a 10 – 15 cm (aunque pueden alcanzar hasta 15 – 18 cm) y peso en torno a 150 – 300 g. El diámetro del fruto varía entre 4 y 5 cm.

En muchos casos los atributos de calidad reales no están incluidos por la normativa legal o ésta no es precisa. Por otra parte algunos parámetros no son usados en la comercialización de los frutos y sólo se utilizan en ensayos de investigación. Sólo en el caso de generarse una demanda en el consumidor, pasaría a incluirse como un nuevo requisito en el control de calidad del género.

A tenor de la clasificación de atributos de calidad anteriormente discutida, son los atributos visuales y táctiles los que presentan un mayor grado de aplicabilidad desde el punto de vista práctico y funcional. Los atributos sensoriales de la calidad son percibidos fácilmente por los sentidos humanos, pero hay atributos escondidos como la seguridad y la nutrición del producto que requieren instrumentos sofisticados para medirlos (Shewfelt, 1999).

En tal sentido, la medición de los parámetros que reflejan la calidad de los frutos exige la utilización de una serie de métodos para su medida, bien **objetivos o subjetivos**, teniendo estos últimos el inconveniente de la dependencia de la intervención humana y su sometimiento a variaciones entre operarios y a variaciones diarias dentro del mismo operario. Igualmente también se pueden clasificar en métodos **destructivos y no destructivos**. Los métodos destructivos suelen ser lentos y consumen excesivo tiempo, y a veces requieren la preparación de la muestra y pueden producir residuos (Nicolai, 2000).

El poder medir tiene dos aspectos a resolver: en primer lugar poder contar con los medios para la toma de datos necesarios y, en segundo lugar, el poder

introducir las medidas en los procesos productivos (Ruiz-Altisent & Valero-Ubierna, 2000). Los principales parámetros que desde el punto de vista clásico son necesarios para poder evaluar la calidad de los frutos son:

1. Forma del fruto y defectos superficiales.
2. Tamaño del fruto y calibre.
3. Color exterior e interior del fruto.
4. Firmeza.
5. Contenido de sólidos solubles.
6. Acidez.

La valoración de la calidad de las frutas y hortalizas deben realizarse mediante métodos que deben cumplir una serie de características:

- Que sean objetivos y fiables.
- Rápidos.
- Que puedan ser automatizados, ésto facilitaría obtención y transmisión de los resultados.
- Que no sean destructivos.
- Que se puedan usar en campo.
- Que tengan carácter predictivo.
- Que sean económicos.

Los principales atributos de calidad para la comercialización de los frutos de pepino para consumo en fresco son el tamaño (diámetro y longitud), forma, color, frescura, turgencia, madurez, tamaño y ausencia de defectos: cortes, pudriciones, cicatrices, daños por insectos, magulladuras y otros defectos. Otras características de la piel como el número de estomas, el grosor, etc. pueden influir en el sabor del fruto (Breene et al., 1972; Kingston & Pike, 1975; Kader, 1983; 2002a).

La clasificación del pepino en categorías de calidad agrupa los frutos en las clases Extra, primera (I), segunda (II) y tercera (III). La diferencia entre clases radica en los defectos del fruto, de acuerdo con las regulaciones europeas (UE, 1998). Los

frutos de la categoría Extra no presenta defectos, mientras que el resto de categorías admite algunos defectos (Clement et al., 2013). La normativa actual clasifica las categorías de calidad para la comercialización del pepino en las siguientes categorías (UE, 1998):

- ❖ **Categoría «Extra»:** Incluye los frutos que presentan calidad superior para las características morfológicas del cultivar (por ejemplo, ver Figura 2). Por tanto, serán frutos prácticamente rectos (por cada 10 cm de longitud tendrá 10 mm de altura máxima de arco), bien formados y desarrollados. Presentarán el color y brillo exterior típico del cultivar. No deben presentar defectos ni deformación, especialmente causadas por el desarrollo de semillas en el fruto.
- ❖ **Categoría I:** Incluye los frutos que presentan buena calidad para las características morfológicas del cultivar (Figura 2). Por tanto, serán frutos prácticamente rectos (por cada 10 cm de longitud tendrá 10 mm de altura máxima de arco), bien formados y con un desarrollo suficiente. Son frutos de características morfológicas similares a la categoría Extra, pero en los que se admiten algunos defectos:
  - Leve deformación, que incluye la producida por el desarrollo de semillas.
  - Leve defecto de color.
  - Leve defectos de la epidermis.
- ❖ **Categoría II:** Incluye frutos cuya calidad no permite que sean clasificados en las categorías anteriores, aunque pueden presentar las mínimas características descritas en las categorías Extra y I; admitiéndose los defectos siguientes:
  - Deformaciones no producidas por el desarrollo de las semillas.
  - Defectos de color con extensión máxima de 1/3 de la superficie del fruto. Para el caso de pepinos cultivados en invernadero, no se admiten defectos importantes de color.
  - Cicatrización de heridas.
  - Daños leves causados por roces o manipulación, pero que no afecten seriamente a su aspecto ni a la poscosecha.
  - La curvatura máxima por cada 10 cm de longitud del fruto será de 20 mm.

- ❖ **Categoría III:** Aquí se incluyen los frutos no clasificados en las categorías anteriores, pero que presentan características a las descritas en la categoría II.



*Figura 2. Definición de tipo de producto. Tipo más común de pepinos cultivados bajo invernadero (izquierda) y al aire libre (derecha). Fuente: OECD (2008).*

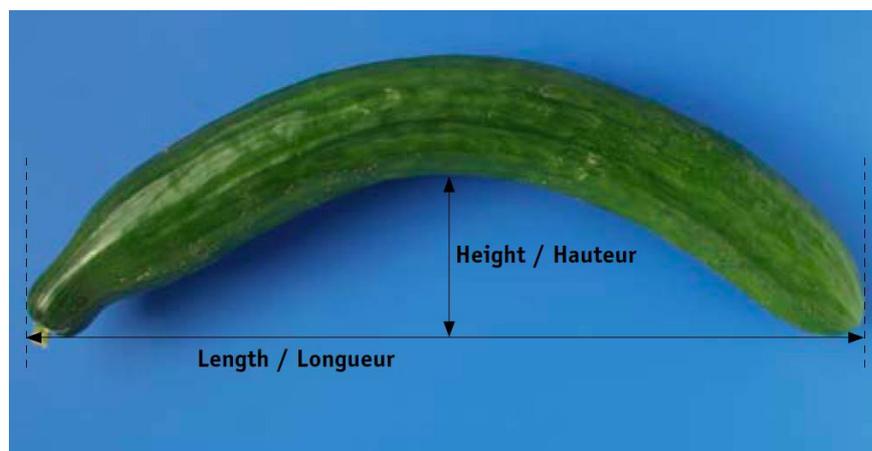
En las imágenes que van desde la Figura 3 a la Figura 12, se muestran algunos ejemplos de aplicación de clasificación del pepino en categorías de calidad según la normativa europea (OECD, 2008).



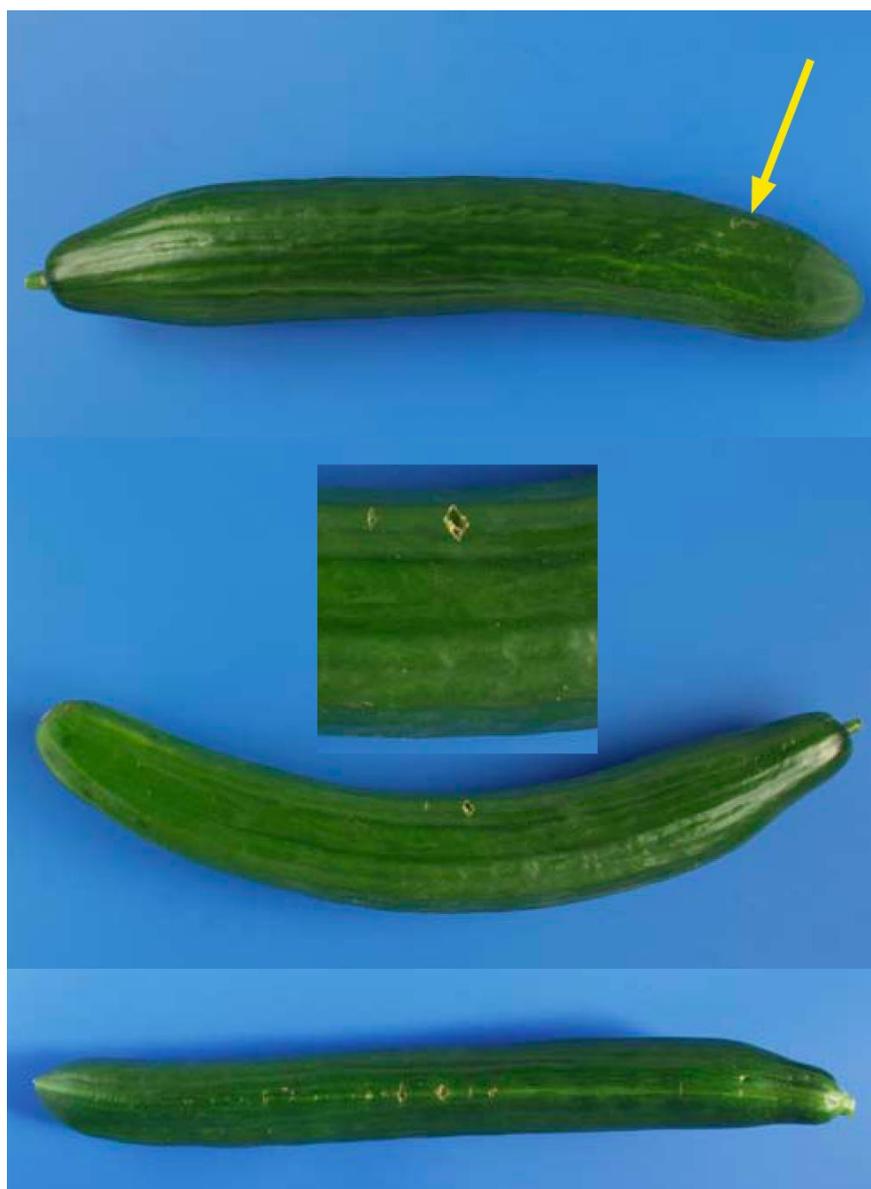
*Figura 3. Pepinos perfectos, bien formados y prácticamente rectos. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 4. Curvatura máxima del fruto de pepino. Fruto superior recto. Fruto medio sería el límite permitido en las categorías "Extra" y I. Fruto inferior sería el límite permitido en la categoría II. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 5. Diagrama de cómo medir la altura del arco en fruto de pepino. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 6. Límite permitido en categoría I de fruto con defectos cutáneos muy leves (arriba). Límite permitido en categoría I de fruto con leves grietas curadas debido a la baja temperatura durante el crecimiento (centro). Límite permitido en categoría II de fruto con grietas de crecimiento cicatrizadas (abajo). Fuente: OECD (2008).*



*Figura 7. Pepinos de buena calidad, razonablemente bien formados y prácticamente rectos. Límite permitido en categoría I. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 8. Límite permitido en categoría I asociado a ligera deformación (arriba). Límite permitido para un pepino deformado en Categoría II (abajo). Fuente: OECD (2008).*



*Figura 9. Aspecto externo e interno de la deformación leve causada por la ausencia de formación de semillas en el fruto de pepino. Los frutos mostrados se encuentran dentro del límite permitido. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 10. Límite permitido en categoría I (arriba) para fruto con leves defectos de coloración debido a una hoja que cubre el pepino durante el crecimiento. Límite permitido en categoría II (abajo) para fruto con defecto de coloración hasta un tercio de la superficie. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 11. Defecto leve de la piel debido al roce. Límite permitido en categoría I (arriba). Límite permitido en categoría II (abajo). Fuente: OECD (2008).*



*Figura 12. Defecto leve de la piel debido a ataques por trips. Límite permitido en categoría I (arriba) y categoría II (abajo). Fuente: OECD (2008).*

### **2.3.1 TAMAÑO Y FORMA DEL FRUTO**

El tamaño del fruto influye significativamente a la aceptación o no por el consumidor, a las prácticas de manejo, a su almacenamiento y conservación, a la selección del mercado de venta e incluso a su uso final. En algunos casos se utilizan

múltiples mediciones diferentes de tamaño para un solo producto, aunque antes de la cosecha o en ésta, la mayoría de las decisiones de discriminación de frutos en función del tamaño se realiza de forma visual, lo que conlleva al personal de campo a tomar una decisión individual de cada unidad de producto cuando la cosecha sea manual (Kays, 1999).

La forma del fruto es la estructura general del producto y se puede determinar con gran precisión realizando mediciones específicas o relaciones matemáticas. Sin embargo, lo más usual es determinar la forma de manera subjetiva. La forma también es muy importante en la distinción de diferentes tipos de pepino; por ejemplo, pepino tipo español, francés, Almería o midi (Figura 2) y cultivares (Kays, 1999).

Si el fruto tiene pequeñas irregularidades en la forma, generalmente no suele ser un factor crítico en la decisión de selección del consumidor final sobre el mismo. Sin embargo variaciones extremas de la forma sí influyen en las decisiones de compra, aunque normalmente son descartadas durante la cosecha cuando se hace a mano, o en el momento del envasado (Clement, et al., 2013).

Como los frutos de pepino son más o menos cilíndricos, su peso fresco varía en función de su longitud y su circunferencia o diámetro (Marcelis, 1992a). La relación entre la longitud y la circunferencia determinan en gran medida la forma del fruto, que es un factor de calidad muy importante. La relación longitud/diámetro alta va asociada a frutos de pepino de muy buena calidad (Marcelis, 1994b). Además, el número de semillas en los frutos de pepino puede afectar a su forma y aspecto. Aunque hoy en día los frutos que se cultivan son partenocárpico, también existe una gran variabilidad en la forma de éstos (Marcelis, 1994b).

La relación longitud/diámetro del fruto de pepino, depende de su estado de desarrollo, su posición en la planta y de la carga de frutos que tenga la planta (Figura 13). Se ve poco afectada por la  $T^a$  o la disponibilidad de asimilados cuando en la planta se encuentra un solo fruto. Pero cuando la cantidad de asimilados disponibles es mayor, se alcanzan valores de longitud/circunferencia más altos y de forma más precoz (Marcelis, 1994b).

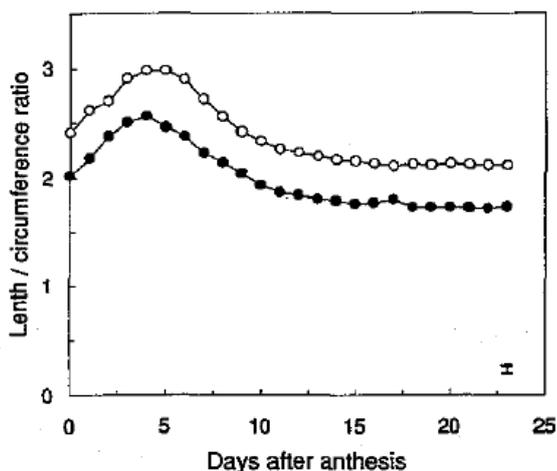


Figura 13. Efecto de la posición del fruto en función del tiempo en relación a la longitud/circunferencia del fruto de pepino. Un fruto/planta en la axila 12 (punto negro) o la axila 6 (punto blanco). Fuente: Marcelis (1994b).

### 2.3.2 COLOR EXTERIOR DEL FRUTO

La mayor longevidad de los frutos de pepino se asocia a una elevada concentración de clorofila en la cáscara (Lin & Jolliffe, 1995a; 1995b; Jolliffe & Lin, 1997). El problema básico es que los pepinos del mismo color en la cosecha pueden presentar grandes diferencias de color cuando llegan al consumidor (Schouten et al., 1997).

En la uniformidad de un lote, además del aspecto, forma y color del fruto, debe tenerse en cuenta la fecha de cosecha compartida, el cultivar y el productor (Schouten & van Kooten, 1998). En este sentido, Schouten et al. (2002) desarrollaron un modelo de color no destructivo, basado en procesos fisiológicos en la cáscara de pepino, que permite predecir la calidad a nivel de lote. Los procesos de la fisiología utilizados en el modelo por estos autores fueron parte de la vía de la clorofila, que describen específicamente la acumulación y descomposición de los componentes del color.

El color de las frutas y verduras probablemente contribuye más que ningún otro factor en la evaluación de la calidad de éstas. Cuando no hay otros defectos negativos visuales en los frutos de pepino, el color se convierte en un criterio muy importante para determinar la calidad del fruto después de su recolección. Cuando la piel de un fruto de pepino es de color verde oscuro, se le presupone mayor vida comercial que cuando el color es más claro (Lim & Ehret, 1991). Sin embargo, los

pepinos del mismo color en el momento de la recolección pueden presentar grandes diferencias en el color en el momento de compra del consumidor. Esto es consecuencia de muchos factores producidos antes de la recolección y durante la poscosecha (Schouten, et al., 1997).

El tamaño y un color verde oscuro de la superficie del fruto son los primeros criterios de selección de calidad para el fruto de pepino. Varios estudios muestran cómo frutos con un manejo agronómico adecuado, recolectados en una madurez óptima y con un color verde más intenso muestran mayor longevidad poscosecha (Kanellis et al., 1986; Lin & Ehret, 1991; Mattsson & Nilsson, 1996; Schouten, et al., 2002). Factores culturales influyen en el verdor de los frutos de pepino en la cosecha incluidos el suministro de nutrientes (Lin & Ehret, 1991), la intensidad de luz y los sistemas de formación, ya que afectan a la iluminación (Hurr et al., 2009).

El color del fruto cuando está recién recolectado es un indicador de la vida útil. La relación entre la vida útil y el color en el momento de recolección del fruto puede ser comercialmente útil en la predicción de la duración de la comerciabilidad del fruto (Lim & Ehret, 1991).

Un mayor contenido en clorofila en el fruto indica un color más verde, pero hasta un cierto punto, en el que cuando el fruto presenta altas concentraciones de clorofila el color parece mostrarse independiente (Figura 14) (Hurr, et al., 2009).

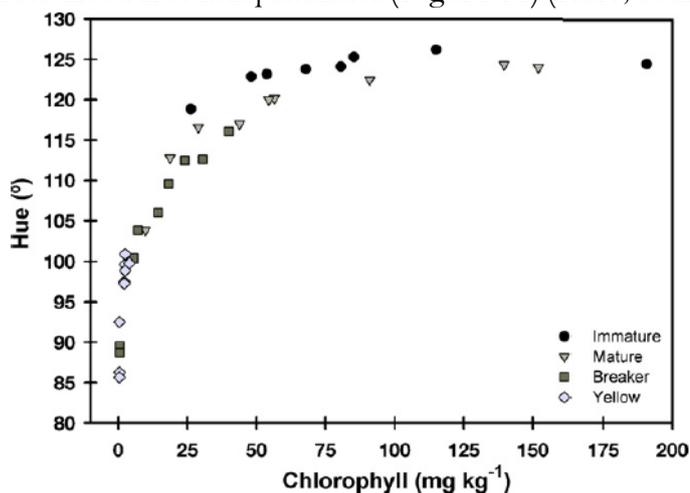


Figura 14. Relación entre el ángulo hue y la clorofila total asociada a distintos estados de madurez en el momento de la cosecha. Frutos de mini-pepinos (cv. Manar) durante su almacenamiento en ambiente normal o 10  $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  de etileno a 15 °C (Hurr, et al., 2009).

Hurr, et al., (2009), obtuvieron unos ángulos de color hue en la superficie de los frutos de estado inmaduro ( $124\pm 0,3^\circ$ ), “rompedor” (breaker) ( $123\pm 0,3^\circ$ ), maduro ( $125,8\pm 0,2^\circ$ ) y amarillo ( $102\pm 0,2^\circ$ ) característicos de cada una de estas fases de desarrollo de los frutos.

El color espacial  $L^*a^*b^*$  se usa de forma común para realizar mediciones de color de frutas y verduras (Nicolai et al., 2009). Además, se han desarrollado muchas escalas hedónicas o “cartas” de color para frutos de pepino, que permiten clasificar subjetivamente el estado de maduración (Figura 15). Estas definen diferentes estados de maduración, especificando de forma gráfica y descriptiva las distintas clases o tipos de frutos. Los sistemas de cartas visuales de colores se interpretan de forma subjetiva por una o varias personas. Esto origina en los resultados variaciones entre operarios y variaciones diarias dentro del mismo operario. Además, la separación visual de los frutos entre algunos estados como los verde-inmaduro y verde-maduro son particularmente difíciles, por lo que se producen diferencias en la evolución posterior y en el tiempo necesario para la maduración (Riquelme, 1995).

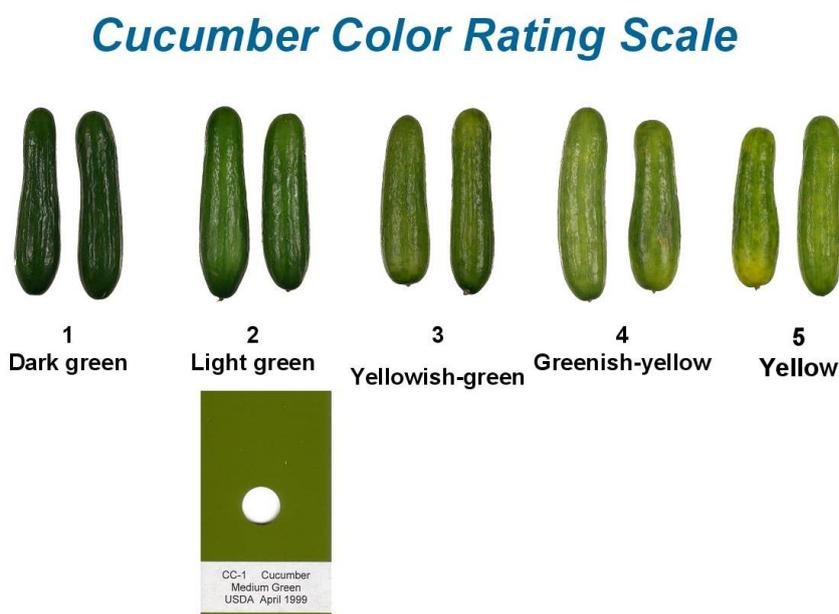


Figura 15. Escala de clasificación de color de frutos de pepino de la universidad UC Davis. (Kader, s.f.).

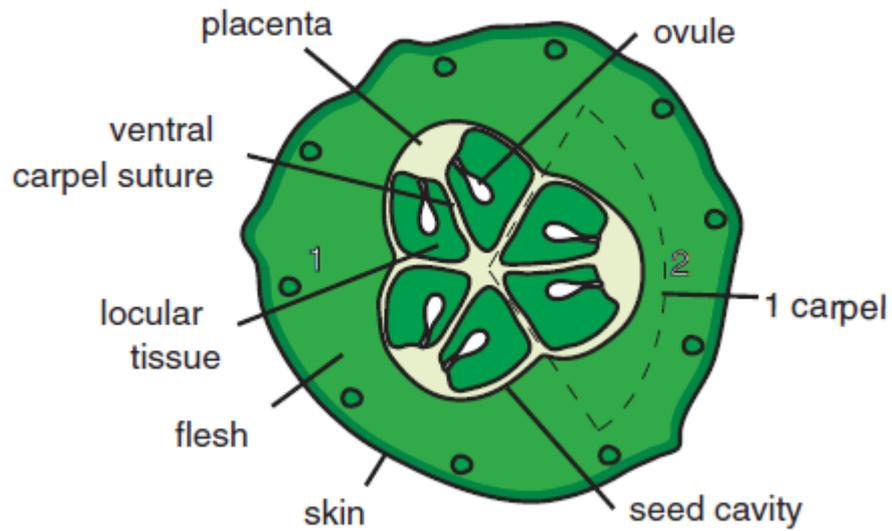
### **2.3.3 FIRMEZA Y TEXTURA DEL FRUTO**

La firmeza y textura del fruto de pepino es percibida por los consumidores como una manifestación sensorial de la estructura y propiedades mecánicas del fruto que son detectadas por medio de los sentidos de los consumidores, principalmente por medio del tacto, del oído y de la vista (Szczesniak, 2002).

Además del gusto y el sabor, es de gran importancia la textura de muchas frutas y verduras frescas con características crujientes. La textura también es una característica cualitativa muy importante de los pepinos crudos (Dan et al., 2005). En las últimas dos décadas, el interés en controlar la textura en alimentos de origen vegetal, tanto frescos como procesados, ha ido en aumento (Dan et al., 2003).

La textura es percibida durante el proceso dinámico de triturado en la boca de la comida. Morder y mascar los alimentos normalmente implica una deformación y rotura sustancial de la estructura de los alimentos (Dan et al., 2005).

La textura del pepino depende, principalmente, de la naturaleza y composición de la cavidad seminal situada en el interior del fruto, carne o parénquima y la piel exterior (Figura 16, Dan et al., 2004). La textura difiere entre los diferentes tejidos de la sección transversal. El centro de la sección transversal de la rebanada, donde se encuentra la cavidad seminal es la región de menor estrés, el área que la rodea, en el que se encuentra el cuerpo del fruto mostraron valores medios de tensión y la piel del fruto exhibió los mayores valores (Dan et al., 2004).



*Figura 16. Distribución de los tejidos en una rodaja de fruto de pepino en corte transversal (Dan et al., 2004).*

La medida de la textura es una herramienta potente en la que se puede establecer diferencias entre cultivares con la medición adecuada de ésta. Dan et al., (2004), examinaron la distribución de la tensión en frutos de pepino y determinaron rasgos característicos de cada cultivar mediante la comparación de la distribución de las tensiones gracias a la correspondencia entre los tejidos y las propiedades mecánicas, permitiendo esto discutir cómo las propiedades geométricas y mecánicas de los tejidos pueden afectar a la textura de los cultivares (Figura 17).

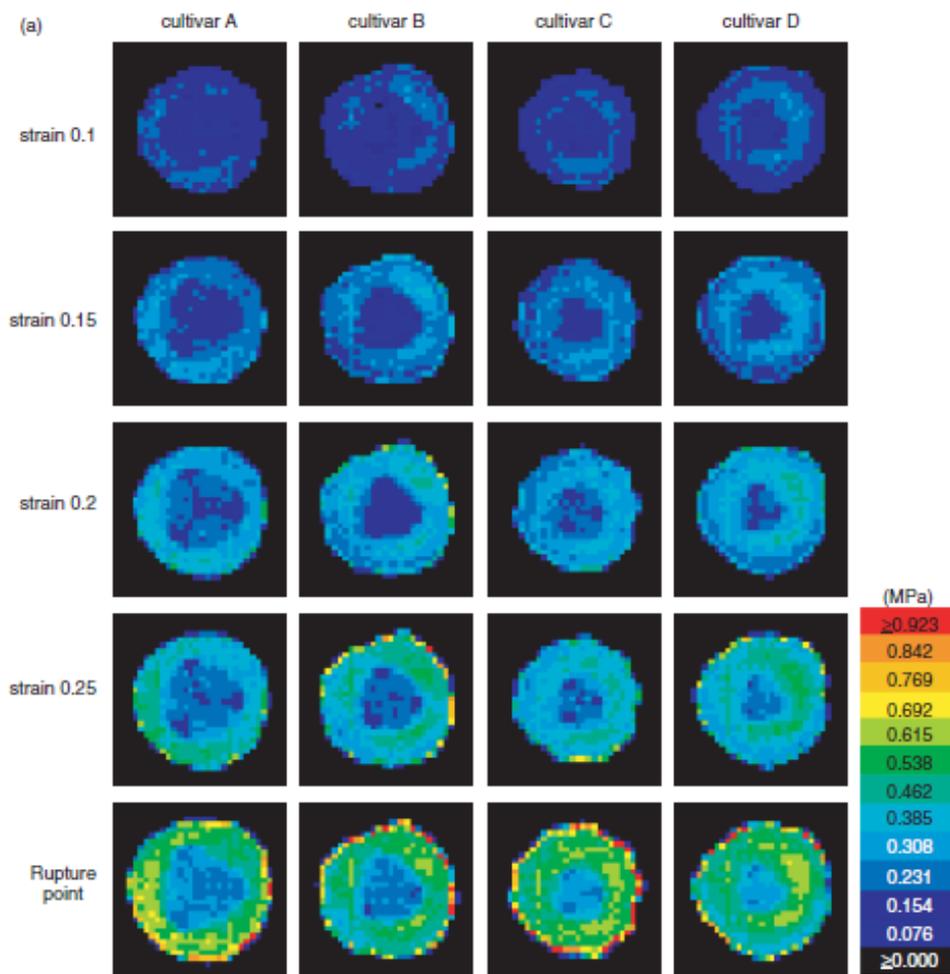


Figura 17. Distribución de tensiones planas para cuatro cultivares de pepino en diferentes planos de deformación (0'1, 0'15, 0'2, 0'25 cm) y punto de ruptura. A la derecha se muestra la escala de estrés ( $N \cdot mm^{-2}$ ) (Dan et al., 2004).

#### 2.3.4 CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES Y AZÚCARES

La concentración de sólidos solubles es un criterio utilizado para medir el grado de comercialización del fruto del pepino. El desarrollo del fruto, depende en gran medida del suministro de fotoasimilados importados al fruto a través del floema y captados por las hojas. Por lo tanto el metabolismo de hidratos de carbono en su origen en las hojas, la savia del floema y los frutos están altamente relacionados (Hu et al., 2009).

Como muestra la Figura 18y Figura 19, en cada parte estudiada de la planta por Hu et al., (2009) los azúcares que la componen se encuentran en diferentes proporciones y en el desarrollo de los frutos, la cantidad de cada azúcar sufre modificaciones. En las hojas los azúcares que se encuentran en mayor cantidad son la glucosa, fructosa y sacarosa, sin embargo en la savia del floema encontramos en mayor medida estaquiosa, sacarosa y rafinosa; composición totalmente diferente a la que encontramos en el fruto, que mayoritariamente se compone de glucosa y fructosa.

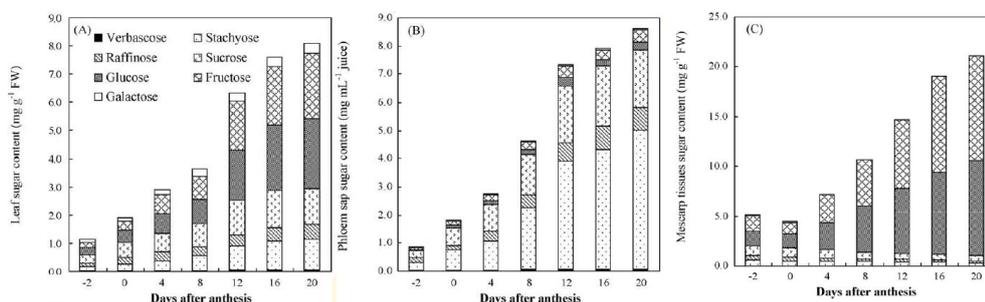


Figura 18. Cambios en los sólidos solubles en hojas (A), en la savia del floema (B), y los tejidos del mesocarpo (C) durante el desarrollo del fruto de pepino (Hu et al., 2009).

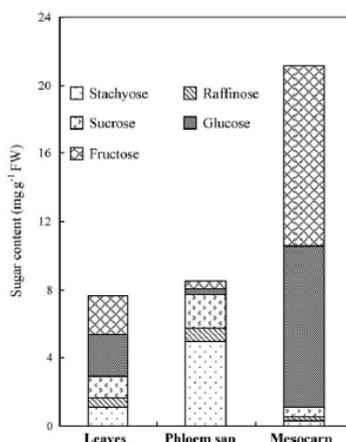


Figura 19. Concentración del tejido del mesocarpo, savia del floema y azúcar en hojas a 20 días después de la antesis. Fuente: Hu et al. (2009).

Davies & Kempton, (1976), obtuvieron las mismas proporciones de azúcares en el fruto, que Hu et al., (2009), siendo los mayoritarios la glucosa y la fructosa. El máximo contenido en el fruto de estos azúcares se encuentra a los 14 días después de floración.

### **2.3.5 ACIDEZ**

Los valores de acidez en pepino cultivado en invernadero son muy bajos, rara vez superiores a 1 mEq acid/100g de peso fresco. En base al peso seco la acidez titulable mostró cambios de pequeña significación durante los primeros diez días de desarrollo del fruto pero se incrementó durante la senescencia (Hu et al., 2009).

Handley et al. (1983), determinaron que los ácidos del fruto de pepino que predominan en el endocarpo son el ácido cítrico y el ácido málico (Figura 18). El análisis de los ácidos orgánicos malato y citrato por HPLC muestra que el ácido cítrico se acumula durante la disminución del pH en el endocarpo (incremento de madurez). La concentración de ácido málico no cambió para los diferentes valores de pH.

### **2.3.6 MATERIA SECA**

Además de la firmeza y el color de la piel, el contenido de materia seca se considera un parámetro de calidad importante para los frutos de pepino cosechados. La concentración de materia seca del fruto es potencialmente un buen indicador de la calidad de las hortalizas (Kavdir et al., 2007).

### **2.3.7 AUSENCIA DE DEFECTOS**

Entre los requerimientos mínimos de comercialización se incluyen la ausencia de defectos. Los principales defectos que suelen presentar los frutos de pepino durante la manipulación y envasado son (Breene et al., 1972; Kingston & Pike, 1975; Kader, 1983; 2002a; OECD, 2008):

- ❖ Cortes o mutilaciones producidos durante la recolección o manipulación (Figura 20, Figura 21).
- ❖ Daños por hongos y bacterias (Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27, Figura 28).

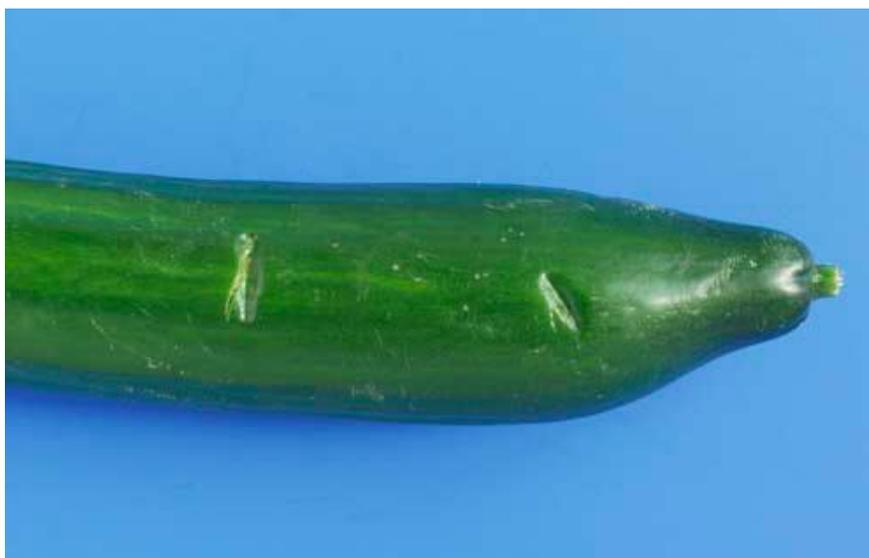
- ❖ Daños causados por bajas temperaturas o heladas durante el cultivo (Figura 29).
- ❖ Suciedad y/o presencia de restos de materias extrañas visibles en la superficie del fruto (Figura 30, Figura 31, Figura 32).
- ❖ Apariencia de falta de firmeza y frescura (Figura 33).
- ❖ Contusiones, magulladuras o golpes producidos durante la recolección o manipulación (Figura 22).
- ❖ Cicatrices de heridas producidas por insectos, o daños mecánicos durante el desarrollo del fruto (Figura 34).
- ❖ Frutos de pepino no desarrollados suficientemente (Figura 35). Los frutos de pepino que no están lo suficientemente desarrollados son puntiagudos y arrugados en el extremo de la cicatriz pistilar.
- ❖ Presencia de semillas duras (Figura 36). Los pepinos con semillas en desarrollo pueden mostrar deformación externamente. El desarrollo de semillas duras debe controlarse cortando los pepinos.



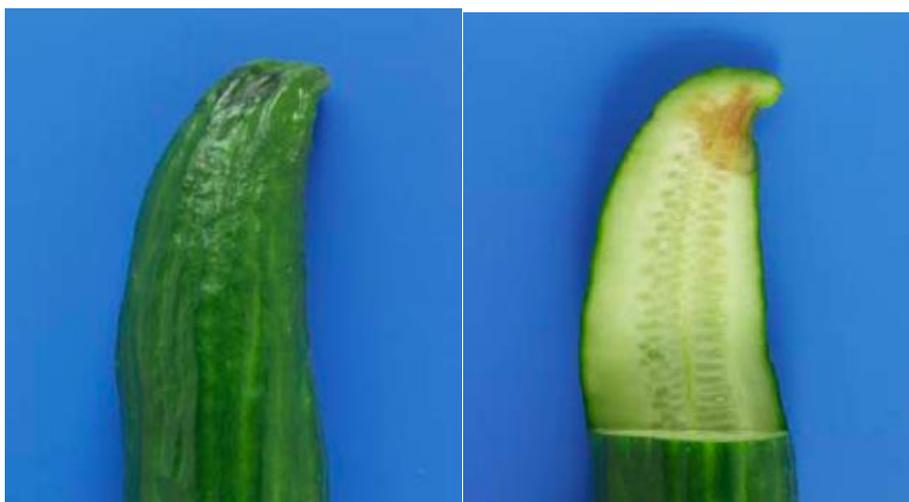
*Figura 20. Daño en fruto de pepino debido a pedúnculo arrancado. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 21. Daño en fruto de pepino producido por cortes. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 22. Contusiones severas en fruto de pepino. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 23. Aspecto interno y externo del daño producido por *Didymella ryoniae* = *Mycosphaerella itrullina* (Tizón gomoso del tallo) en fruto de pepino. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 24. Sarna producida por *Cladosporium cucumerinum*. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 25. Enfermedad producida por virus en fruto de pepino . Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 26. Podredumbre blanda acuosa producida por Sclerotinia sclerotiorum en fruto de pepino . Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 27. Moho gris producido por Botrytis cinerea en restos de flores y pepinos No permitido. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 28. Exudación de goma en fruto de pepino. Nivel de daño no permitido para la comercialización. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 29. Fruto no comercial consecuencia de daño por frío originado por temperaturas bajas o heladas durante la fase de cultivo. Fuente: OECD (2008).*



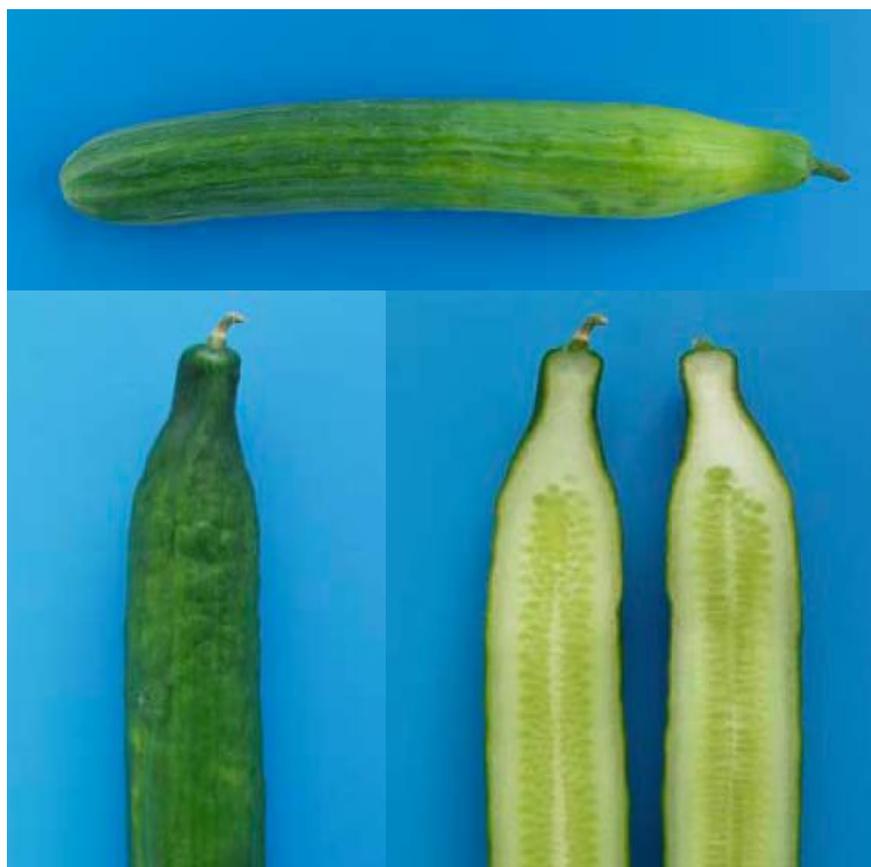
*Figura 30. Frutos de pepino no comerciales por no estar libres de materias extrañas visibles en su superficie. No cumple el requisito mínimo de limpieza. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 31. Fruto de pepino no comercial por presentar suciedad visible en su superficie. No cumple el requisito mínimo de limpieza. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 32. Fruto de pepino con resto de fumagina. No cumple el requisito mínimo de limpieza. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 33. Detalle de amarilleo debido a la falta de frescura en frutos de pepino. No cumple el requisito mínimo de fresco y firme en apariencia. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 34. Fruto de pepino no comercial como consecuencia del daño producido por babosas durante la fase de cultivo. No cumple con el requisito mínimo "libre de daños originados por insectos que afecten a la pulpa". Fuente: OECD (2008).*



*Figura 35. Frutos de pepinos no comerciales por no estar desarrollados suficientemente. No cumple el requisito mínimo de fruto suficientemente desarrollado. Fuente: OECD (2008).*



*Figura 36. Fruto de pepino con semillas duras. No cumple el requisito mínimo de fruto con semillas duras. Fuente: OECD (2008).*

## **2.4 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN**

Los frutos de pepino frescos requieren un esfuerzo considerable para mantener su alta calidad cuando son consumidos. Esto requiere el desarrollo y uso de tecnologías y prácticas de gestión poscosecha adecuadas que permitan ofrecer al consumidor estos importantes productos alimenticios con un nivel adecuado de calidad (Yahia, 2019a).

### **2.4.1 FRIGOCONSERVACIÓN**

Las condiciones de conservación ideales para los frutos de pepino son de 10-12°C de temperatura y 85 – 90% de humedad relativa (Kasmire & Cantwell, 2002; Thompson, 2002; Yahia et al., 2019c). En la Figura 37 se muestra cómo la vida comercial de los frutos de pepino se reduce cuando nos salimos del rango óptimo de temperatura.

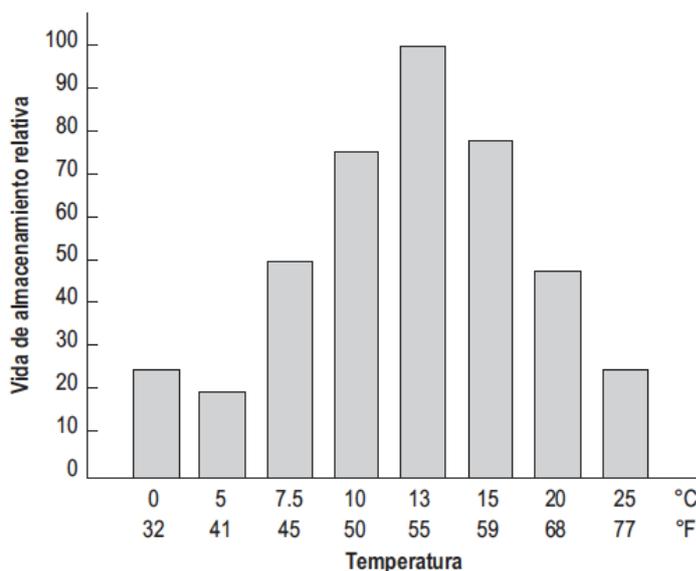


Figura 37. Vida comercial relativa de los frutos de pepino en función de la temperatura de conservación. Fuente: Kasmire & Cantwell (2002).

Muchos productos básicos autóctonos de las regiones tropicales y subtropicales, como es el caso del pepino, sufren un trastorno fisiológico llamado daño por frío cuando se exponen a temperaturas por debajo de los 10°C. El nivel de daño va a depender de la Tª y la duración de la exposición (Saltveit, 2019).

Durante la conservación de los frutos de pepino, se produce una fuerte interacción madurez-temperatura. Los pepinos prematuros y sobremaduros almacenados a 18 °C muestran un aumento más fuerte de β-caroteno en comparación con los almacenados a 5 °C; sin embargo, en los pepinos con madurez óptima, el β-caroteno no se ve afectado por la temperatura (Solovchenko et al., 2019).

El enfriamiento mediante corriente de aire húmedo (cooling system) aumenta la vida útil en pepino, siendo esta una práctica recomendable de las condiciones de conservación de los frutos de pepino (Elansari et al., 2019a; 2019b).

#### **2.4.2 ALMACENAMIENTO EN ATMÓSFERA CONTROLADA / ATMÓSFERA MODIFICADA**

El concepto de atmósferas modificadas (AM) se refiere al uso de atmósferas que contienen una composición de gas diferente al aire normal (20-21% O<sub>2</sub>, aproximadamente 0,03% CO<sub>2</sub>, aproximadamente 79% N<sub>2</sub> y trazas de otros gases) que se mantiene pasivamente mediante la respiración del producto y la difusión restringida del gas. En el caso de las atmósferas controladas (AC), se utilizan atmósferas distintas al aire normal, y que son controladas de forma activa y precisa en todo momento. Generalmente, las AC y AM comprenden una atmósfera con una baja concentración de O<sub>2</sub> y/o una alta concentración de CO<sub>2</sub>. Las AM y AC tienen varios efectos beneficiosos para la conservación de los productos hortícolas frescos, y se pueden utilizar durante el envasado, transporte y almacenamiento (Yahia, 2007; Yahia et al., 2019b).

Las atmósferas con concentración reducida de O<sub>2</sub> y aumento de CO<sub>2</sub> pueden mostrar efectos beneficiosos, pero también pueden producir efectos dañinos en la calidad de los frutos. Este daño depende principalmente de la concentración y duración de la exposición de los gases, la humedad y temperatura de conservación. Las condiciones bajas de O<sub>2</sub> reducen la tasa de respiración y la generación de etileno en los productos vegetales y prolongan la vida de almacenamiento. Si el O<sub>2</sub> cae a concentraciones por debajo de un cierto límite, se produce daño fisiológico consecuencia de la aparición de respiración anaeróbica del fruto (Kubo, 2015). El O<sub>2</sub> es necesario para la actividad oxidasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico y, por lo tanto, los bajos niveles de O<sub>2</sub> reducen la biosíntesis de etileno y la actividad de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico. El papel del CO<sub>2</sub> en la regulación de la biosíntesis y la acción del etileno es bastante complejo (Sevillano et al., 2009).

Las AM adecuadas y las AC (con concentraciones bajas de O<sub>2</sub>), reducen sus pérdidas en poscosecha (Solovchenko et al., 2019). Las condiciones óptimas de atmósfera controlada (AC) para los frutos de pepino son temperatura de 10-12°C, 3-5 kPaO<sub>2</sub> y ausencia total de kPaCO<sub>2</sub> (Yahia et al., 2019b). Las concentraciones muy altas de CO<sub>2</sub> producen daños en la coloración de los frutos de pepino (Solovchenko et al., 2019).

El uso de atmósferas modificadas para aumentar la vida comercial de los pepinos ha sido ampliamente estudiado por muchos autores (Wang & Qi, 1997;

Cantwell & Kasmire, 2002; Manjunatha & Anurag, 2012; Glowacz et al., 2015). Además, la combinación con tratamientos químicos como el óxido nítrico (Yang et al., 2011; Dong et al., 2012) y el plastificado del fruto son otras alternativas estudiadas para prolongar la vida comercial del fruto de pepino. El envasado con film en pepino muestra efectos beneficiosos, ya que mantiene los contenidos de  $\beta$ -caroteno y Cl (Solovchenko et al., 2019).

En el caso de un transporte prolongado, las atmósferas controladas es considerado un buen método de almacenamiento para mantener la calidad del fruto, debido a que reduce la respiración y la producción de etileno. El período máximo de almacenamiento del pepino es de unos 14 días a 13°C con una humedad relativa del 95% (Ojo, 2016).

### **2.4.3 CONTROL DEL ETILENO**

El etileno ( $C_2H_4$ ) es una hormona gaseosa simple en las plantas y se produce durante la maduración, la senescencia, el almacenamiento y el estrés biótico y abiótico (Golden et al., 2014). La aplicación y la evitación o eliminación del etileno, junto con la minimización de sus efectos en la poscosecha de frutas y verduras, son todos de gran importancia comercial en la agricultura. El etileno se usa en cámaras de maduración controladas para frutos climatéricos. Para evitar la maduración, senescencia y otros efectos no deseados del etileno inducidos por el etileno, se elimina o se limpia del entorno de poscosecha (Rees et al., 2012).

El etileno produce efectos en concentraciones muy bajas (en rangos de ppm a ppb). Se sabe que el fruto de pepino tiene una baja tasa de producción de etileno (rango bajo a 20°C de 0,1 a 1,0  $\mu$ l  $C_2H_4$ /kg-h) con respecto a un tomate (rango moderado a 20°C de 1,0 a 10,0  $\mu$ l  $C_2H_4$ /kg-h), un melón (rango alto a 20°C de 10,0 a 100,0  $\mu$ l  $C_2H_4$ /kg-h) o una chirimoya (rango muy alto a 20°C mayor de 100,0  $\mu$ l  $C_2H_4$ /kg-h) (Yahia et al., 2019b). Es bien sabido que la textura puede verse más o menos afectada por el etileno en pepino, si están expuestos al etileno, el atributo de textura crujiente disminuye o desaparece (Sañudo-Barajas et al., 2019).

## **2.5 DETERIORO Y PÉRDIDAS DE CALIDAD EN POSCOSECHA**

### **2.5.1 DETERIORO DE LA CALIDAD**

Los principales factores de calidad para la comercialización de frutos de pepino son el tamaño (diámetro y longitud), forma, color, frescura, turgencia, madurez, tamaño y ausencia de defectos: magulladuras, cortes, cicatrices, pudriciones, daños por insectos y otros defectos (Kingston & Pike, 1975; Kader, 1983; 2002a).

Una vez que se inicia el proceso de conservación en pepino, aumenta progresivamente la susceptibilidad a la descomposición por microorganismos y patógenos y el deterioro de la calidad. La calidad que se requiere en la cadena de distribución está influenciada por factores anteriores a la cosecha del fruto, durante la recolección, manipulación y procesado, envasado y, finalmente, la venta (Valero & Serrano, 2010). El fruto de pepino se considera un producto vegetal altamente perecedero. Las condiciones ambientales bajo las cuales se produce, transporta y se expone al consumidor, afectan significativamente en la calidad de conservación de este fruto y la cantidad que se pierde. Dependiendo del cultivar, el fruto de pepino de calidad más común debe ser de color verde oscuro (sin amarilleo) y firme, sin extremos arrugados (Gross et al., 2014).

### **2.5.2 PÉRDIDAS DURANTE LA POSCOSECHA**

Varias organizaciones nacionales e internacionales, incluidas las Naciones Unidas, estiman que las pérdidas poscosecha y el desperdicio de productos hortícolas son muy importantes, del orden del 5% al 25% en países más desarrollados y del 20% al 60% en países en proceso de desarrollo (Yahia, 2019a).

Es evidente que las pérdidas durante la poscosecha de frutas y hortalizas en la actualidad son muy elevadas y significativas. Pero este es un problema que persiste desde hace ya varias décadas. Bourne (1977) indicó que, durante el recorrido que

realizan las frutas y hortalizas desde su recolección hasta su consumo, se producen multitud de situaciones en las que se pierden o desperdician los productos vegetales, sin que lleguen a los consumidores (Figura 38). En la década de los setenta, ya se empezaba a entender la importancia del estudio de la conservación y el almacenamiento durante la poscosecha de los alimentos vegetales.

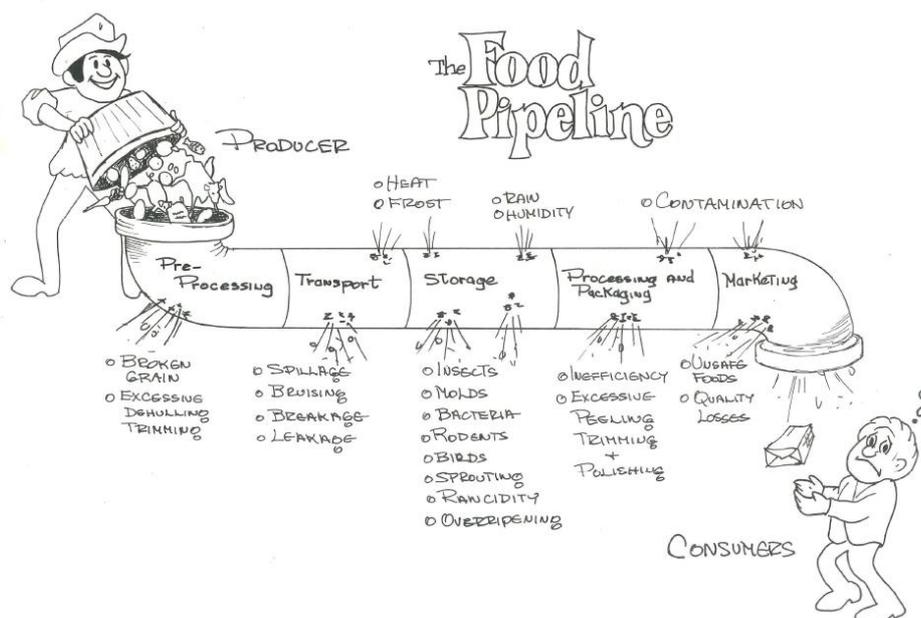


Figura 38. Recorrido que llevan los alimentos vegetales desde la recolección en campo hasta el consumidor (Fuente: Bourne (1977)).

Las pérdidas poscosecha en los países en desarrollo fueron una preocupación tan seria que las Naciones Unidas adoptó una resolución en su Séptima Sección Especial el 19 de septiembre de 1975, que estableció que la reducción de las pérdidas poscosecha de alimentos en los países en desarrollo debe ser considerada como un tema prioritario y debería reducirse en un 50% para 1985. En 2015, las Naciones Unidas lideraron una iniciativa nueva sobre el desarrollo de un grupo de “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS) en donde se estableció una nueva meta en materia de producir y consumir de forma responsable productos vegetales, y así, reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos en un 50% para 2030.

Las pérdidas durante la vida comercial de los productos vegetales son muy altas, generando grandes daños económicos a agricultores, intermediarios (mayoristas y minoristas) y consumidores. Por el contrario, el hambre en el mundo

va en incremento. También resulta contradictorio que, por un lado, se están realizando grandes esfuerzos durante la producción, recolección y poscosecha para obtener productos de calidad y buena vida comercial; mientras que, por otro lado, se están generando grandes pérdidas económicas y producción de residuos. Además, las pérdidas y desperdicios una vez que los frutos son recolectados, reducen la eficiencia en el uso de gran cantidad de recursos naturales (agua, tierra, etc.) y contribuyen al aumento de la contaminación ambiental. No obstante, hay que considerar que las pérdidas y el desperdicio poscosecha de productos hortícolas varían mucho entre productos, cultivares / variedades, estaciones, áreas de producción y sistemas de manipulación (Yahia et al., 2019a).

Las pérdidas son diferentes a los residuos, aunque suelen estar interrelacionadas. Tanto las pérdidas como los desperdicios tienen causas particulares, y, por tanto, soluciones específicas; y se pueden producir en todas las etapas desde la recolección hasta el consumo. Una de las diferencias entre las pérdidas como los desperdicios durante la poscosecha reside en que las pérdidas se producen en la cadena de suministro hasta antes del consumo; y se producen por fallos técnicos, institucionales y legales en la forma en los sistemas de la cadena de suministro (productor y mayorista). En cambio, los desperdicios son productos vegetales aptos para su consumo, que se desechan sin ser consumidos. Esta causa suele estar asociada a comportamientos de los minoristas y los consumidores (Yahia et al., 2019a).

Uno de los retos para los próximos años es reducir al máximo (o al cero) las pérdidas y/o desperdicios. Aunque en las condiciones actuales en el mundo, se debería aceptar un cierto nivel de pérdidas y desperdicios. De este modo se reduciría el coste económico que estaría asociado a reducirlas por completo. En ocasiones, las pérdidas y desperdicios podrían ser incluso deseables. Por ejemplo, al clasificar los productos dañados o en descomposición al principio de la cadena de poscosecha (por ejemplo, en la cosecha o durante el empaque inicial), se puede evitar que estos descartes causen más pérdidas poscosecha y desperdicio más adelante en la cadena de valor, cuando el coste económico y ambiental será mayor (Yahia et al., 2019a).

### **2.5.2.1 Tipos de pérdidas en poscosecha**

Las pérdidas y desperdicios de vegetales perecederos que se producen desde que son recolectados hasta que son consumidos, pueden originar reducción de la cantidad (pérdidas cuantitativas), o reducción de su valor (pérdidas cualitativas) (Kader, 1983; Yahia et al., 2019a).

#### **2.5.2.1.1 Pérdidas cuantitativas**

Las **pérdidas cuantitativas** se refieren a masa o volumen que pueden evaluarse y medirse, donde las pérdidas reducen la cantidad de producto disponible para el consumo (Kitinoja & Kader, 2002). Suelen expresarse en peso (kg), valor económico (€) y/o valor energético (calorías). Las unidades utilizadas para informar las pérdidas y el desperdicio pueden tener ventajas e inconvenientes. En resumen, el valor monetario a menudo no permite comparar el nivel de impacto en diversos lugares, dado que los precios son específicos del escenario y, con frecuencia, fluctúan mucho. El valor energético se usa para cuantificar la disponibilidad calórica del alimento, asociada a informes relacionados con el hambre o incertidumbre alimentaria. Pero en el caso de productos vegetales perecederos, suelen tener bajas unidades calóricas con respecto a otros alimentos. Además, pueden mostrar mucha variabilidad entre especies (por ejemplo, el aguacate es más calórico por unidad de peso que el pepino). En el caso del peso, no siempre refleja la dimensión completa de la pérdida, debido a que los frutos para consumo en fresco pierden agua muy rápidamente una vez recolectados. Este cambio de peso asociado a la pérdida de agua durante la poscosecha genera grandes pérdidas en el mercado. Asimismo, la mayoría de los productos vegetales frescos (como el pepino) muestran deterioros evidentes por la alta pérdida de agua por transpiración que producen (arrugamiento, pérdida de color, etc.) (Yahia et al., 2019a). Además, la deformación de los frutos de pepino frescos durante la poscosecha es producida por cambios en el contenido de agua y polisacáridos que degradan la pared celular, produciendo síntomas visuales que generan rechazo del consumidor (Nishizawa et al., 2018).

Por otro lado, cuando los frutos de pepino no son manipulados cuidadosamente, se producen golpes y cortes que provocan daños fisiológicos, ematómas, rajaduras en la piel, etc. (Kader, 2005). Esto, además del daño visual que produce directamente, acelera el proceso de degradación fisiológica, pérdida de agua y genera vías de entrada de patógenos que aceleran la descomposición del fruto (Grolleaud, 2002).

#### **2.5.2.1.2 Pérdidas cualitativas**

Las **pérdidas cualitativas** están asociadas a la reducción del valor nutricional, seguridad, aceptación del consumidor; con la consiguiente pérdida posterior del valor económico. Estas pérdidas son muy difíciles de medir y valorar ya que se producen principalmente como pérdidas económicas durante el suministro, que depende de la oferta y la demanda del mercado. Además, está muy afectado por manejos y técnicas poco adecuadas e ineficientes en toda la cadena desde la producción, hasta el consumo (Yahia et al., 2019a). Además, el deterioro fisiológico afecta a la calidad nutricional, comestibilidad y produce sabores desagradables que originan el rechazo de los consumidores (Kader, 1983; 2004; Knight & Davis, 2010).

Las pérdidas cualitativas a menudo se asocian con la falta de suministros y condiciones básicas para manejar adecuadamente los productos frescos, algo que es un problema menor para aquellos que pueden permitirse los medios para mejorar los sistemas logísticos (por ejemplo, información, contenedores, enfriamiento, almacenamiento, transporte y marketing) (Yahia et al., 2019a).

#### **2.5.2.2 Cuantificación de las pérdidas poscosecha**

Según Kader (1983), las pérdidas cualitativas son más complejas de cuantificar que las pérdidas cuantitativas. Conocer con precisión las pérdidas durante la poscosecha de los productos vegetales es complejo. Al ser productos perecederos, presentan gran dificultad durante la manipulación, y gran facilidad a generar pérdidas y desperdicios. Ante la escasez o falta de precisión en los datos de que se disponen, la

mayoría de la información disponible procede de estimaciones. No obstante, pese a la escasez de información, hay evidencias suficientes de la gran problemática mundial que suponen las pérdidas cualitativas. Así encontramos fuentes que indican que la pérdida en poscosecha se sitúan entre el 10 y el 70% (Lundqvist et al., 2008; FAO-Banco Mundial, 2010; FAO, 2018; Buzby et al., 2011). El desperdicio y las pérdidas de los productos hortícolas es alto tanto en los países en desarrollo como en los países desarrollados, pero varía en diferentes puntos de la cadena de manipulación. Es habitual que las mayores pérdidas sean en países en desarrollo como consecuencia de la ausencia de adecuadas técnicas de manipulado desde el campo hasta el consumidor, mientras que, a nivel minorista y del consumidor, los desperdicios vegetales son mayores en países desarrollados, especialmente en aquellas regiones donde utilizan estándares visuales de calidad orientados a la comercialización de frutas y vegetales, en donde se produce un mayor volumen de productos que son descartados por su aspecto (Yahia et al., 2019a).

Los productos hortícolas perecederos son la categoría de alimentos que representa la mayor cantidad de pérdidas y desperdicio cuando se mide en peso (FAO, 2011b). Según Kader (2005) durante la poscosecha se pierden en el entorno de 1/3 de las hortalizas y frutas que se producen en todo el mundo antes de que lleguen al consumidor.

### **2.5.2.3 Causas que originan pérdidas en poscosecha**

Una vez que los frutos de pepino son recolectados, se producen muchas situaciones que originan pérdidas durante su vida poscosecha. Las principales causas que originan mala calidad, pérdidas y desperdicios durante la poscosecha de los frutos de pepino sanos, saludables y con calidad óptima en recolección son marchitamiento (pérdida de agua), podredumbres, daño por frío, decaimiento, pérdida de clorofila (color verde) que origina coloración amarillo y anaranjado del fruto, hematomas y otras lesiones mecánicas (Kader, 1983; Snowden, 1992; Pareek, 2019; Valero & Serrano, 2010). Bourne (1977) clasificó las causas que originan pérdidas y desperdicios en primarias y secundarias.

**a) Causas primarias.**

Las siguientes cinco causas principales dan lugar a importantes pérdidas y desperdicios poscosecha:

- Biológicos o microbiológicos, producidos por ataque de hongos, bacterias, insectos, etc.
- Químicos o bioquímicos, producidos por cambios en la composición química durante la conservación.
- Mecánicos, producidos por golpes, cortes, etc.; producidos durante la cosecha, manipulación y transporte del producto.
- Físicos, producidos por malas condiciones climáticas o ambientales (por ejemplo: temperaturas y/o humedad relativa elevadas o muy bajas, quemaduras producidos por el sol, daños por viento o granizo, etc.).
- Fisiológicos, producidos por el desarrollo habitual de los frutos durante la maduración y senescencia; o por variaciones en la respiración y transpiración de los frutos.

**b) Causas secundarias.**

Las causas subyacentes o secundarias son aquellas no incluidas en las causas principales y que dan respuesta a la pregunta: “¿Por qué ocurren esas pérdidas (biológicas, químicas, físicas, fisiológicas) en primer lugar y qué se puede hacer para evitarlas?”

Se incluyen dentro de estas causas:

- Falta de formación en materia de manipulación adecuada de productos vegetales perecederos.
- Sistemas de transporte inadecuados.
- Sistemas de conservación inadecuados.

- Sistemas de comercialización inadecuados.

Cada una de estas puede ser de naturaleza socioeconómica, ambiental o biológica:

- *Causas biológicas*: Deterioro por respiración y transpiración de los frutos, presencia de etileno, etc. El deterioro biológico de los productos frescos se producirá más rápidamente a medida que aumente la temperatura.
- *Causas ambientales*: El deterioro biológico depende de la T<sup>a</sup>, Hr y composición de la atmósfera (concentraciones de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y etileno).
- *Causas socioeconómicas*: Si bien los factores biológicos y ambientales que contribuyen a la pérdida y desperdicio se comprenden relativamente bien y se han desarrollado muchas tecnologías basadas en este conocimiento para evitarlas; no siempre se han podido implementar en ciertas zonas debido a diversos factores socioeconómicos (cultura, religión, pobreza, etc.).

Kader (1983) describió que las causas (por orden de importancia) más habituales de pérdidas y desperdicio durante la vida poscosecha en productos hortícolas frescos eran las siguientes:

Durante la recolección:

1. Frutos inmaduros o muy madurados.
2. Uso de contenedores y envases inadecuados durante la recolección.
3. Prácticas y manejos inadecuados durante la recolección que producen daños mecánicos.
4. Demora en la entrega a la empresa de manipulación o transporte al mercado.

Durante la preparación, acondicionamiento y envasado para el mercado (en el campo o en la empresa de manipulación):

1. Fallos en la clasificación del fruto pueden producir defectos graves y deterioro.
2. Embalajes inadecuados que ocasionan daños mecánicos, mala ventilación o enfriamiento que facilitan de la descomposición y senescencia.
3. No reducir la temperatura alta de los frutos procedentes del campo.
4. Falta de limpieza e higiene.

Durante el transporte:

1. Manejo brusco que causa mayores lesiones mecánicas.
2. Falta de un manejo adecuado durante el transporte, especialmente en las condiciones de ventilación, temperatura y humedad relativa.
3. Mezcla de productos vegetales que no son compatibles con el vehículo de transporte utilizado (diferentes tipos de contenedores que no se pueden apilar fácilmente, diferentes requisitos de temperatura, productos que producen etileno, etc.).
4. Demoras durante el transporte.

Durante la manipulación en destino:

1. Manejos inapropiados y agresivos durante la carga y descarga.
2. Condiciones ambientales inapropiadas.
3. Retrasos innecesarios.
4. Prácticas y condiciones poco apropiadas de almacenamiento.
5. Falta de higiene y saneamiento.

Durante la manipulación en los hogares:

1. Excesivo tiempo desde la compra hasta el consumo.
2. Condiciones de conservación inadecuadas (ausencia de refrigeración, etc).

### ***2.5.2.3.1 ¿Dónde se producen las pérdidas en poscosecha?***

Todas las causas que originan pérdidas en productos perecederos pueden ocurrir en cualquier momento y lugar desde la recolección hasta su consumo (Figura 39). Según Yahia et al. (2019a), las principales causas que originan pérdidas desde la recolección hasta el consumo son las siguientes:

1. En la fase de campo, principalmente durante la recolección. Las causas suelen ser falta de formación y experiencia del personal de recolección, herramientas y contenedores de recolección inapropiados, métodos de manipulación en campo inadecuados, etc.
2. Durante el empaque en campo o en el centro de acopio o envasado, especialmente durante la selección y clasificación de productos, debido a daños mecánicos y cuando algunos de estos productos se clasifican por no cumplir con los estándares establecidos por el mercado, como el tamaño, peso, forma, color, etc.
3. Durante el transporte, afectándose por la forma y método de transporte, el tiempo, tipo de contenedores, condiciones ambientales, etc.
4. Durante el almacenamiento, dependiendo de la adecuación del producto al tipo de instalaciones, manejo de la T<sup>a</sup>, Hr, etc.
5. Durante la comercialización, según el estado en el que los productos llegan a los mercados, tipo de mercados (mercados abiertos, al aire libre o cubiertos, mercados interiores, con o sin expositores refrigerados), manipulación durante la comercialización, almacenamiento temporal, manejo de la temperatura, etc.
6. En los hogares de los consumidores, durante su manipulación, preparación y consumo.

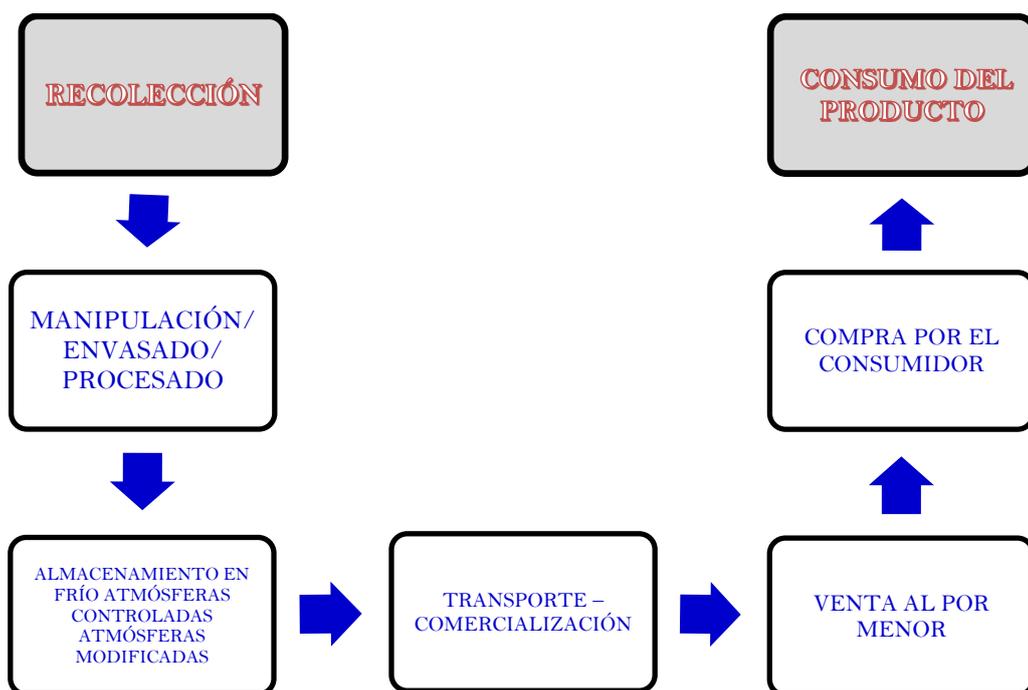


Figura 39. Principales operaciones realizadas después de la cosecha. Fuente: elaboración propia a partir de Bourne (1977); Salunkhe & Desai (1984) y Ramaswamy (2015).

Igualmente, en la Figura 40 se muestran las principales etapas y las principales pérdidas asociadas que se pueden producir durante las etapas de recolección – manipulación y envasado/procesado - almacenamiento<sup>1</sup> - transporte – comercialización<sup>2</sup> - compra por el consumidor – consumo del producto<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> A veces, se puede almacenar antes y/o después de la manipulación y envasado.

<sup>2</sup> Incluye toda la distribución y comercialización de intermediarios (mayoristas y minoristas).

<sup>3</sup> Desde que el consumidor compra el producto hasta que lo consume pueden pasar de varios días a dos semanas.

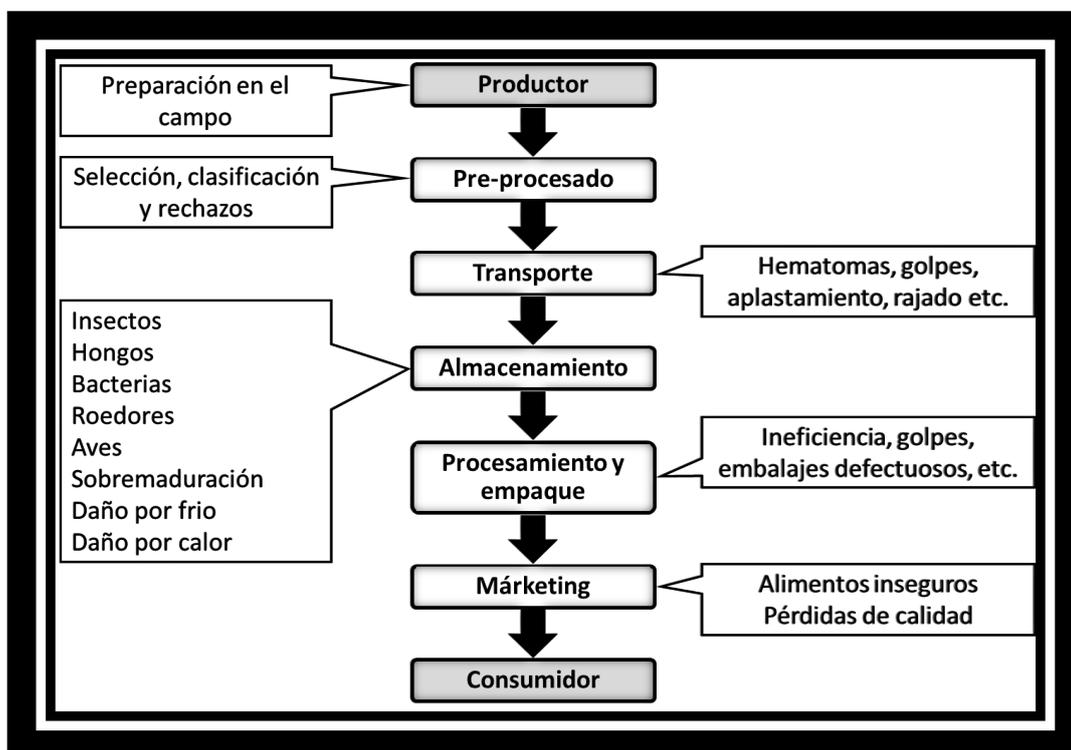


Figura 40. Pérdidas en productos vegetales perecederos que se producen habitualmente desde el productor al consumidor. Fuente: elaboración propia a partir de Bourne (1977); Salunkhe & Desai (1984) y Ramaswamy (2015).

## 2.6 FACTORES INFLUYENTES SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA

Los factores que influyen en el mantenimiento de la calidad después de la cosecha pueden ser muchos. Estos pueden ser previos a la cosecha o posteriores a la recolección. Kader (1983) los agrupó en los siguientes cinco factores:

1. **Factores genéticos:** La variación biológica de la calidad durante la poscosecha en pepino está influenciada por varios aspectos, entre los que se incluye el cultivar como una fuente de variación biológica (Schouten et al., 2004). Seleccionar cultivares de pepino con mayor vida comercial durante su poscosecha es una de las estrategias de vanguardia en la actualidad (Díaz-Pérez et al., 2019a).
2. **Factores previos a la recolección:**

- a. Condicionantes agronómicos: suelo, fertirrigación, poda, control de enfermedades y plagas, tiempo y método de recolección, etc.
- b. Condicionantes medioambientales: temperatura, humedad, cantidad y calidad de la luz, viento, lluvia, granizo, etc.
3. **Factores durante la recolección**: Cuidados y técnicas durante la recolección, estado de madurez y edad fisiológica, etc.
4. **Factores después de la recolección (poscosecha)**: condiciones de conservación (T°, luz, Hr, etc.), métodos y cuidados durante la manipulación, tipo de envasado, tiempo transcurrido desde la recolección al consumo, etc.
5. **Interacción** entre los anteriores **factores**.

La calidad en pepino exigida por los consumidores incluye principalmente la forma del fruto, color y brillo de la piel, la textura de la parte comestible, y ausencia de daños y defectos (Breene et al., 1972; Kingston & Pike, 1975). Asimismo, las causas que mayoritariamente originan pérdidas y desperdicios durante la vida poscosecha incluyen: podredumbres, frutos muy maduros en recolección, marchitamiento (pérdida de H<sub>2</sub>O), daño por frío, envejecimiento, amarilleo, golpes y cortes, etc. (Kader, 1983; 2002a; Valero & Serrano, 2010).

En general, todos los factores que afectan a la conservación de la calidad durante la vida comercial se pueden agrupar en factores biológicos y no biológicos. Estos dos grupos de factores se estudiarán en profundidad en los apartados 2.7 y 2.8.

## ***2.7 DETERIORO DEL FRUTO: FACTORES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES***

Los productos hortícolas frescos son órganos vivos capaces de continuar sus procesos de vida después de desprenderse de la planta. Durante toda su vida poscosecha, los frutos obtienen la energía necesaria para mantenerse vivos a través de procesos fisiológicos y bioquímicos (Javanmardi & Pessaraki, 2019).

Los productos hortícolas frescos están compuestos de células vivas, por tanto, respiran y producen calor. Al respirar, consumen O<sub>2</sub> y producen CO<sub>2</sub>. Una vez que los frutos son recolectados, entran en diferentes fases fisiológicas hasta llegar a la

senescencia y muerte celular. Los cambios en los pigmentos dan como resultado el desarrollo del color amarillo generalmente concomitantemente con la degradación y síntesis de la clorofila (Yahia, 2019b).

Todos estos cambios no pueden detenerse durante la poscosecha, y generalmente, no suelen ser deseables por los consumidores. En cambio, sí se puede actuar para reducir el deterioro asociado a estos cambios, pero siempre dentro de unos límites (Kader, 2002a).

La mayoría de las pérdidas poscosecha se deben a hongos patógenos, bacterias, etc. Sin embargo, los trastornos fisiológicos desencadenados por cambios no patológicos en los tejidos vegetales expresados en respuesta a la interacción entre el genotipo y el medio ambiente también pueden conducir a una menor calidad del producto y mayores pérdidas (Javanmardi & Pessarakli, 2019). Los métodos de manipulación / transporte poscosecha no adecuados y las condiciones de almacenamiento (temperatura alta o baja, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, etileno, ozono) pueden provocar diferentes trastornos, que incluyen agrietamiento, maduración excesiva, daño por frío y daño por congelación con o sin descomposición asociada (Fernández-Trujillo et al., 2008). A diferencia de los trastornos patológicos en frutas y verduras, la mayoría de los trastornos fisiológicos en los productos hortícolas pueden controlarse por medios físicos (Klein & Lurie, 1992).

### **2.7.1 ESTADO DE MADUREZ DEL FRUTO**

La etapa de madurez en el momento de la recolección tiene efectos profundos en la vida comercial y la susceptibilidad a los trastornos fisiológicos (Javanmardi, 2010). Sin embargo, los factores genéticos, ambientales y agronómicos a menudo complican la evaluación de la madurez al influir en la fisiología del fruto y los síntomas de madurez (Vallone et al., 2013).

Los frutos de pepino son no climatéricos, por tanto, no continúan madurando después de la cosecha. Su vida poscosecha no es muy larga, no superando más de 14 días (Bahnasawy & Khater, 2014). Durante su vida poscosecha, los frutos se ablandarán y se pudrirán debido a la pérdida de humedad, la descomposición y el

deterioro de los tejidos. Por lo general, se cosechan en la mejor madurez de consumo (es decir, la etapa de desarrollo en la que el fruto posee las características necesarias para ser consumidos) dependiendo de su comercialización. Esto podría tener lugar en cualquier etapa de madurez, desde muy inmaduro (pepino, calabaza de verano) hasta completamente maduro (sandía) (Javanmardi, 2010; Bahnasawy & Khater, 2014). Por lo tanto, los índices de cosecha son importantes porque aseguran la calidad sensorial (sabor, color, aroma y textura), calidad nutricional y una vida útil poscosecha adecuada, además de facilitar la programación de la cosecha y la comercialización (Javanmardi & Pessarakli, 2019).

Los índices de cosecha para la recolección de los frutos de pepino para consumo en fresco dependen de las variedades individuales y los requisitos de comercialización. En ensalada o rodajas de pepino, el color de la piel verde oscuro no debe volverse amarillo pardo o rojizo. El color blanco de la espina (Figura 41) también es una indicación útil de su madurez comestible. Además, los frutos sobremaduros muestran separación de carpelos en las secciones transversales de los frutos. Cuando los frutos para consumo en fresco son recolectados con fines comerciales, se cosechan antes de que estén completamente maduros. Por lo general, se cosechan en condiciones inmaduras de 5 a 7 días después de la polinización, según el cultivar. Si las plantas de pepino se cultivan verticalmente (entutoradas), sus frutos alcanzan el tamaño de cosecha uno o dos días antes. El pepino debe recogerse a intervalos de 2 días. Sin embargo, sus semillas maduran entre 25 y 30 días después de la polinización (Ojo, 2016).



*Figura 41. Detalle de la espina blanca (derecha) y espina oscura (izquierda) en frutos de pepino tipo español.*

Una vez recolectados, los frutos son preparados para su comercialización. En este proceso suelen agruparse frutos de diferentes orígenes en un mismo lote de comercialización (Tijssens & Konopacki, 2003). El estado de maduración durante la recolección influye de forma decisiva sobre la duración de la calidad del fruto durante la poscosecha (Hertog et al., 1997, Schouten et al., 1997).

Los frutos de pepino son carnosos, lo que hace que se acorte su vida comercial. El periodo de recolección es la etapa final del desarrollo del fruto. El estado fisiológico de madurez en cosecha puede influir de forma decisiva en la evolución de la calidad durante la poscosecha (Ahmad & Siddiqui, 2015). Los frutos de pepino alcanzan la mejor calidad para el consumo en fresco antes de la etapa de madurez completa, por lo que debe ser cosechada antes de que alcancen esta etapa de madurez (Erkan & Dogan, 2019). En los pepinos recolectados con madurez óptima, el  $\beta$ -caroteno no se afecta por la variación de la temperatura. En cambio, los frutos recolectados de forma prematura y los sobremaduros almacenados a 18 ° C producen un aumento de  $\beta$ -caroteno superior a los conservados a 5 ° C (Solovchenko et al., 2019).

Las principales desventajas de la cosecha temprana del pepino son (OECD, 2008):

- Es posible que no alcancen su tamaño, forma o peso óptimos finales debido al desarrollo incompleto del fruto, lo que puede resultar en rendimientos bajos (Figura 35).
- Pueden no desarrollar el color de piel deseado.
- Los frutos recolectados antes de su madurez óptima pueden desarrollar fisiopatías.

Las principales desventajas de la cosecha tardía del pepino son (OECD, 2008):

- Es posible que desarrollen un excesivo peso y tamaño, no aceptado por los mercados.
- Es posible que desarrolle semillas duras que originan deformaciones en el fruto con el consiguiente rechazo por los consumidores (Figura 36).
- La duración de la vida poscosecha del fruto recolectado tardíamente es relativamente más corta que la de la cosecha en las etapas óptimas. El amarilleo del fruto durante la poscosecha aparecerá antes que si el fruto se recolecta en su madurez óptima.
- El sabor puede alterarse con respecto al esperado por los consumidores.
- Son frutos más propensos a la descomposición por patógenos y pueden volverse sensibles a algunos trastornos fisiológicos.

Por todo lo expuesto, es clave el cosechar los frutos de pepino en su momento óptimo de madurez, con el fin de prolongar su calidad y frescura durante el mayor tiempo posible. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la recolección debe realizarse con el mayor cuidado posible y en el momento adecuado para evitar producir daños al fruto que puedan alterar su valor comercial y su vida poscosecha.

Finalmente, el control de calidad realizado durante toda la cadena de distribución persigue estimar rápidamente si los lotes de pepino cosechado son aceptables o no. Se define lote de frutos como aquel conjunto que comparte el mismo productor, cultivar y fecha de recolección para plantas con la misma fecha de plantación (Schouten & van Kooten, 1998). Si un lote es aceptable o no, es una decisión

que requiere del examen exhaustivo de una persona. Por lo tanto, los controladores de calidad deben inspeccionar una parte representativa de un lote (Schouten et al., 2004).

### 2.7.2 POSICIÓN DEL FRUTO EN LA PLANTA

La vida poscosecha de los frutos de pepino aumenta con la posición que este ocupa en el tallo principal, siendo mayor cuanto más alto es el nudo (Figura 42). Se producen fluctuaciones en los primeros tallos laterales y disminución en los segundos tallos laterales (Lim & Ehret, 1991).

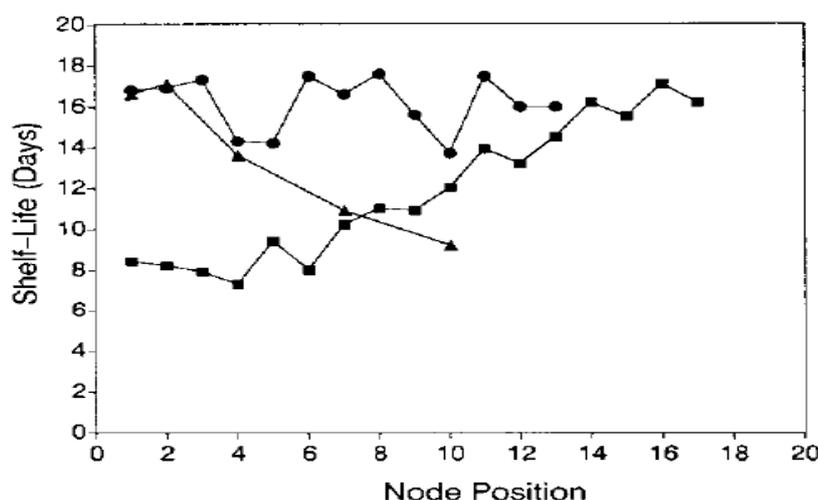


Figura 42. Vida útil de frutos de pepino cosechados en diferentes nudos y en diferentes lugares de la planta, en el tallo principal (cuadrados), en el primer tallo lateral (círculos) y en el segundo tallo lateral (triángulos) (Lim & Ehret, 1991).

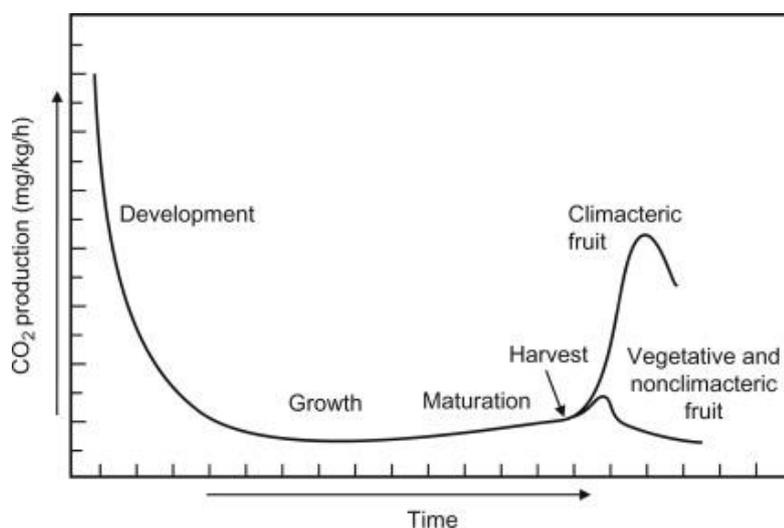
### 2.7.3 RESPIRACIÓN

Después de cosechar, los frutos siguen vivos, y por tanto respiran. La respiración es el proceso principal que debe controlarse para frenar la senescencia durante la poscosecha. En cambio, no se disponen de muchas opciones para frenar este proceso fisiológico (Saltveit, 2019).

Durante la respiración, se oxidan el almidón, azúcares y ácidos orgánicos; se libera energía (calor) para mantener el metabolismo celular, el tejido y la calidad del

producto. A lo largo del proceso, se genera  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y se consume  $\text{O}_2$  (Bhande et al., 2008). La disponibilidad de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) es muy esencial durante la respiración (proceso de respiración aeróbica (Uchino et al., 2004)). Durante la respiración se generan pérdidas en el fruto de reservas alimenticias almacenadas y aceleración de la senescencia. Esta aceleración varía según se agotan las reservas que proporcionan la energía necesaria para que el fruto se mantenga vivo. En consecuencia, se reduce el valor energético y alimenticio que percibiría el consumidor, se pierde el sabor (mayoritariamente el dulzor y la acidez) y se produce pérdida de materia seca (Rhodes, 1980b; Brady, 1987; Grierson, 1987). Además, la velocidad con la que se deterioran los productos vegetales es proporcional a la velocidad de su respiración (Fonseca et al., 2002).

La tasa de respiración cambia a lo largo de la vida útil del producto, aunque estos cambios se producen de forma diferente en los frutos climatéricos con respecto a los no climatéricos; tal y como se muestra en la Figura 43 (Saltveit, 2019).



*Figura 43. Evolución de la producción de  $\text{CO}_2$  (proceso de respiración). Diferencias entre frutos no climatéricos y frutos climatéricos durante el desarrollo, crecimiento, maduración y recolección de productos vegetales. Fuente: Saltveit (2019).*

En general, los frutos pueden ser climatéricos o no climatéricos según sean sus patrones de respiración y producción de etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) (Cortbaoui, 2005). Los frutos climatéricos muestran mayor incremento en la velocidad de generar  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  y, esta etapa, se corresponde con la maduración de consumo, mientras que, en esta misma etapa, los frutos no climatéricos no muestran variaciones en su velocidad

de producción de  $C_2H_4$  y  $CO_2$ ; además, generalmente, suelen ser bajas estas producciones (Rhodes, 1980a; Giovannoni, 2001).

Algunos autores clasifican los frutos de pepino como no climatéricos (Saltveit, 2019). En cambio, otros autores los clasifican dentro de la clase moderada, con un rango de respiración de  $10 - 20 \text{ mg } CO_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  (Cortbaoui, 2005).

La respiración de algunos frutos se ve muy afectada por la humedad relativa del ambiente (Golob et al., 2002). A medida que baja la temperatura, se produce un aumento de la humedad relativa del aire, reduciendo la tasa de respiración del producto (Yahia, 2005).

#### **2.7.4 TRANSPIRACIÓN DE LOS FRUTOS**

El principal componente de los productos vegetales perecederos es el agua. El contenido de agua en pepino para consumo en fresco oscila en torno a un 95%. La transpiración y la temperatura de conservación son los factores más determinantes del deterioro y la vida comercial de los frutos. Comprender bien los factores biológicos y ambientales que determinan y condicionan la transpiración y como la transpiración puede afectar a la calidad de los productos vegetales frescos es fundamental para gestionar la transpiración y prolongar la vida comercial de las frutas y hortalizas (Díaz-Pérez, 2019).

La transpiración en los frutos de pepino produce la pérdida de agua por evaporación (Kramer & Boyer, 1995; Becker & Fricke, 1996). La transpiración produce evaporación de las moléculas de agua desde la superficie celular a los espacios intercelulares del tejido vegetal y su difusión hacia el aire circundante. Por tanto, está altamente influenciada por la humedad y la temperatura del ambiente. La velocidad al perder agua dependerá del tamaño del fruto, temperatura, humedad relativa y velocidad del aire durante la conservación (Crisosto et al., 1993; Mitchell, 1987; Watkins, 2003).

La vida comercial poscosecha de frutas y verduras puede estar determinada por la transpiración, descomposición, desórdenes o procesos fisiológicos (daño por

frío, madurez excesiva, descomposición, cambios de color indeseables y sabores extraños), etc. (Ben-Yehoshua & Weichmann, 1987).

La pérdida de agua en los frutos produce estrés hídrico. Este estrés hídrico producido en sus tejidos puede aumentar o acelerar la senescencia en los productos básicos, probablemente debido a una mayor tasa de desintegración de la membrana celular y fuga de solutos (Ben-Yehoshua et al., 1983). Si la pérdida es elevada, el fruto de pepino se deshidrata y origina arrugamiento y ablandamiento del fruto (pérdida de firmeza del mesocarpio), pérdida de brillo de la cáscara y pardeamiento del cáliz (Risse & Miller, 1983).

La transpiración durante la poscosecha provoca una pérdida de turgencia celular. Los principales síntomas que se manifiestan tras la pérdida de agua del fruto de pepino son pérdida de peso, ablandamiento, marchitamiento y pérdida de brillo. Estos factores se consideran perjudiciales para la calidad del producto (Robinson, et al., 1975; Díaz-Pérez, 2019).

Según Kader (2002a), la pérdida de agua en frutos carnosos (como el pepino) produce pérdidas cuantitativas directas al reducirse el peso de la mercancía; y pérdidas cualitativas indirectas debido a que estos frutos no son aceptados por los consumidores. El rechazo de los mercados es producido principalmente por arrugamiento y marchitez del fruto, ablandamiento (pulpa menos crujiente, etc.), deterioro nutricional y pérdida de la jugosidad.

### **2.7.5 FISIOPATÍAS: CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y DE COMPOSICIÓN**

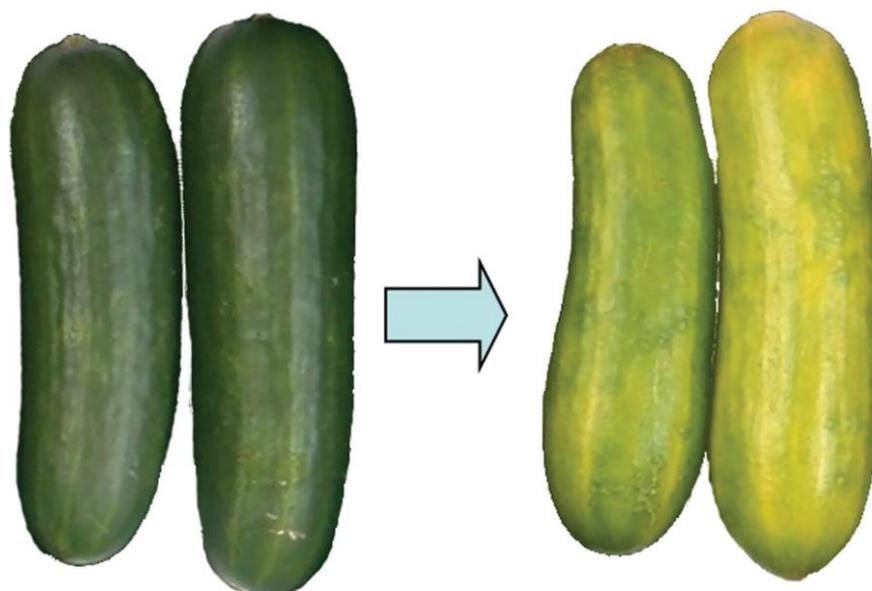
En el transcurso del desarrollo de los frutos de pepino ocurren cambios en su composición y aspecto. Muchos de estos cambios pueden continuar una vez han sido recolectados hasta llegar a la senescencia. En los pepinos, la pérdida de agua, el marchitamiento y también el amarilleo son síntomas de senescencia (Al-Juhaimi et al., 2012).

Los cambios producidos pueden ser deseables o no por los consumidores, según sea la modificación que se produce en el aspecto y el sabor. Los principales cambios que se producen durante la poscosecha son cambios en la pigmentación,

cambios en los carbohidratos, en proteínas y lípidos, en los ácidos orgánicos y en los aminoácidos. En pepino, los cambios en la pigmentación son indeseables por el consumidor. Además, en los frutos de pepino, se pueden producir ciertas fisiopatías (vitrescencias, frutos acolchados, etc.) que originan frutos no deseados por los consumidores (Kader, 2002a).

El amarillamiento de la piel del pepino es un síntoma de fruto envejecido. Este proceso está determinado por la temperatura de conservación, y el proceso se acelera en presencia de etileno. Los frutos de pepino producen muy poco etileno, aunque puede aumentar si el fruto sufre daños mecánicos o estrés por frío. Por lo general, el etileno acelera el amarilleo y el ablandamiento de los pepinos. Las fuentes de etileno más comunes suelen ser otros productos básicos como tomates, pimientos y melones, que suelen almacenarse y transportarse conjuntamente (Snowdon, 1990).

En los pepinos, como son muy sensibles al etileno exógeno, el amarilleo y la descomposición acelerados resultarán de niveles incluso bajos (1–5 mg/l) de etileno durante la distribución y el almacenamiento a corto plazo (Figura 44). La inmersión prolongada (30-60 min) a alta temperatura (45°C) o la inmersión en agua caliente (como un tratamiento poscosecha para reducir el daño por frío) también puede llevar al color amarillento de los pepinos verdes (Lurie, 1998). Los envases que acumulan CO<sub>2</sub> no más del 10% y mantienen un nivel de humedad relativa óptima de 92 a 97% inhiben el amarillamiento en el pepino.



*Figura 44. Amarilleo en frutos de pepino. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).*

La vitrescencia es un problema importante para los frutos frescos de pepino. Los principales síntomas son textura de la carne vítrea con exudación de agua, ablandamiento excesivo y sabor a fermentación alcohólica desagradable para el consumidor (Fernández-Trujillo et al., 2007). El tipo de cultivar o variedad comercial, junto a factores fisiológicos y ambientales, influyen en la aparición de vitrescencia en frutos. Además, cultivos en suelos compactos y con mala aireación, grandes diferencias entre las temperaturas entre el día y la noche; y manejos del cultivo poco adecuados (riego excesivo junto a insolación elevada, exceso de sombra, falta de calcio, fertilizaciones desequilibradas previo a la recolección) aumentan la incidencia de este trastorno (Du Chatenet et al., 2000).

El trastorno del fruto acolchado muestra una apariencia de mesocarpio de textura porosa, blanca opaca y similar a la espuma de poliestireno en la pulpa, y luego aparecen decoloraciones/lesiones empapadas de agua, de bronceado a marrón grisáceo en el producto refrigerado durante la noche, lo que reduce su calidad de textura. En pepino está relacionado con la deficiencia de calcio junto a estrés ambiental y poscosecha. El trastorno del pepino se puede alterar hasta cierto punto durante el almacenamiento (Thomas & Staub, 1992).

En los pepinos, la ausencia de hidrogenfriamiento después de la cosecha o el abuso del almacenamiento a altas temperaturas promueve la maduración y el ablandamiento (Navazio & Staub, 1994; Staub & Navazio, 1993) (Figura 45 y Figura 46).



*Figura 45. Frutos de pepino con distinta intensidad de acolchado. Comparación de frutos no afectados y frutos que se clasifican como ligeramente acolchados (0-20%) o moderadamente acolchados (21% -40%). Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).*



*Figura 46. Sección transversal de frutos acolchados en pepino. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).*

La severidad del fruto acolchado aumenta con el incremento de temperatura, menor humedad relativa y la exclusión del hidrogenfriamiento durante el manejo poscosecha. Las empresas de manipulación pueden reducir la incidencia y severidad del fruto acolchado asegurando que la humedad adecuada esté disponible para las plantas durante el crecimiento del fruto y que el fruto recolectado se enfríe con agua antes de su envío y almacenamiento (Navazio & Staub, 1994). Thomas y Staub (1992) indicaron que, de los regímenes de manejo poscosecha evaluados, 15,5 ° C y 85% de humedad relativa minimizaron las pérdidas poscosecha y 26,5 ° C y 60% de humedad relativa produjeron el nivel más alto de fruto acolchado.

La pulpa hueca es un trastorno que se ha descrito en frutos de pepino. Los síntomas de este trastorno se parecen al del fruto acolchado del pepino, pero sin el empapado de agua y el posterior pardeamiento de la pulpa. Es más probable que la pulpa hueca sea un trastorno relacionado con la senescencia, el suministro insuficiente de calcio durante la formación del fruto y la consiguiente expresión del trastorno en frutos completamente maduros (Fernández-Trujillo et al., 2007). Las medidas para prevenir que se produzca carne hueca en frutos de pepino son similares a las de inhibición del fruto acolchado (Javanmardi & Pessarakli, 2019).

#### **2.7.6 ENFERMEDADES POSCOSECHA**

Las características positivas que hacen que los frutos sean aptos para el consumo también los hacen vulnerables a enfermedades. Durante la poscosecha, los frutos son propensos a desarrollar pudriciones causadas por microorganismos que aceleran la maduración del producto, dañan su apariencia interna y / o externa, provocan malos olores, producen micotoxinas y contaminan a los productos que se encuentran muy próximos (Bautista-Baños, 2014).

Aunque los daños económicos debidos a la infección por hongos en los productos vegetales durante la cadena de poscosecha son variables y no están suficientemente documentados, generalmente alcanzan entre el 30 y el 50% y, en algunas ocasiones, las pudriciones pueden provocar la pérdida total del producto (FAO-World Bank, (2010). Tanto los hongos como las bacterias provocan pudriciones; sin embargo, en general, las infecciones por hongos tienen una mayor

capacidad para infectar una gama más amplia de hospedadores a lo largo de toda la cadena poscosecha (Sommer et al., 2002).

Los principales patógenos de la descomposición de los frutos de Cucurbitáceas almacenados en frío a 10-12°C son *E. carotovora*, *S. sclerotiorum*, *B. cinérea* y *A. alternata* (Palou & Smilanick, 2019).

Entre los hongos que afectan a los frutos de pepino, destaca *Alternaria alternata* y *Penicillium fungus*. Probablemente el aspecto más importante de los hongos mencionados anteriormente es que también se consideran alergénicos. Otro hongo importante es *Cladosporium cucumerinum*, que pueden ser altamente infecciosos con otras especies; mientras que *Rhizopus stolonifer* es un hongo saprofito que puede, además de los frutos de pepino, invadir totalmente frutas y verduras en menos de tres días (Snowdon, 1990).

La infección por estos hongos puede ocurrir durante la floración del cultivo, en la cosecha o durante las operaciones de manipulación. El control de estos hongos siempre ha incluido el uso de fungicidas. Para el control de estos hongos se han planteado otras alternativas comercialmente viables o posibles opciones futuras que funcionen integradas con otros productos sintéticos o solas. Incluyen medios físicos entre los que aparecen el calor, irradiación y bajas temperaturas, atmósferas hipobáricas, modificadas y controladas, control biológico con microorganismos antagonistas y compuestos GRAS (generalmente considerados seguros) como desinfectantes, sales, volátiles, etc. (Bautista-Baños, 2014).

Durante la poscosecha, el ataque de la mayoría de los microorganismos suele ser posterior a daños físicos o deterioro fisiológico en el fruto. Los patógenos, por sí mismos, en raras ocasiones son los causantes de las infecciones en los tejidos sanos. Generalmente, los productos vegetales para consumo en fresco muestran una resistencia considerable a patógenos durante la mayoría de su poscosecha. Los daños por frío (o calor) y los daños mecánicos son situaciones de estrés que reducen la resistencia de los productos vegetales al ataque de patógenos (Cappellini & Ceponis, 1984).

En el transcurso de la manipulación se pueden producir daños (heridas y magulladuras) que facilitan la penetración del patógeno al fruto. Además, las

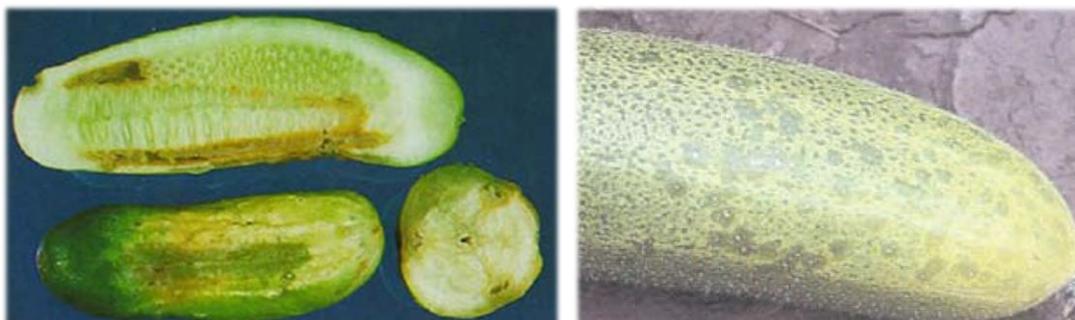
temperaturas extremas, humedad relativa y composición atmosférica pueden dañar la fisiología del fruto, haciéndolo más vulnerable al ataque de patógenos. Finalmente, la presencia de patógenos conforma el tercer componente del triángulo de la enfermedad (Sommer et al., 2002).

Las enfermedades más comunes en poscosecha de pepino y que generan las mayores pérdidas comerciales son producidas por los siguientes patógenos (Kader, 1986; Snowdon, 1990; Sommer et al., 2002; Sargent & Maynard, 2012; Zitter et al.;1996; Bautista-Baños, 2014; Palou & Smilanick, 2019):

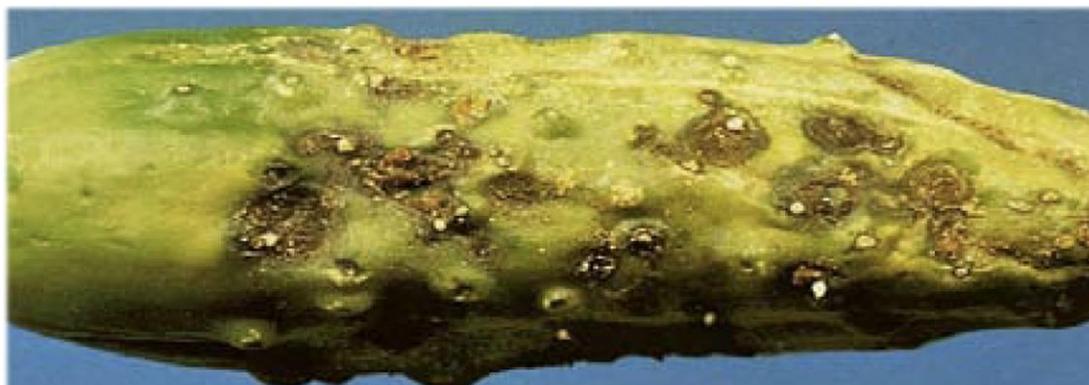
- Antracnosis producida por *Colletotrichum orbiculare* (Figura 47).
- *Pseudomonas syringae* (Figura 48).
- *Cladosporium cucumerinum* (Figura 49).
- Moho azul producido por *Penicillium fungus* (Figura 50).
- Pudrición del moho gris causada por *Botrytis cinerea*. (Figura 51)
- *Sclerotinia sclerotiorum* (Figura 52).
- *Rhizoctonia solani* (Figura 53).
- *Alternaria alternata*.
- *Botryodiplodia theobromae*.
- *Erwinia carotovora*.
- *Fusarium spp.*
- *Rhizopus stolonifer*.
- *Phytophthora capsici*.
- *Sclerotinia rolfsii*.
- *Pythium spp.*



*Figura 47. Síntomas de pudrición severa producida por Colletotrichum orbiculare.*



*Figura 48. Síntomas de pudrición producida por Pseudomonas syringae.*



*Figura 49. Síntomas de pudrición producida por Cladosporium cucumerinum.*



*Figura 50. Síntomas severeros de infección por *Penicillium fungus* en fruto de pepino.*



*Figura 51. Pudriciones en frutos de pepino producidas por *Botrytis cinerea*. Fuente: PH Bulletin No. 28 y Palou & Smilanick (2019).*



*Figura 52. Pudrición en fruto de pepino originada por *Sclerotinia sclerotiorum*. Fuente: Palou & Smilanick (2019).*



Figura 53. Síntomas de pudrición producida por *Rhizoctonia solani* en frutos de pepino.

Durante la poscosecha, los frutos de pepino suelen deteriorarse por putrefacción generalmente por la zona proximal, siendo menos frecuente que lo hagan por la zona distal del fruto. Esto se debe a que por esta zona es el mejor acceso que encuentran los microorganismos patógenos al cortar el fruto en la recolección (Schouten et al., 2002).

## **2.8 DETERIORO DEL FRUTO: FACTORES NO BIOLÓGICOS**

Los factores no biológicos que deterioran el fruto de pepino son los daños mecánicos, y los factores ambientales (temperatura, humedad, etc.) y factores atmosféricos (composición atmosférica: CO<sub>2</sub>, etileno, etc.).

### **2.8.1 DAÑOS MECÁNICOS PRODUCIDOS SOBRE LOS FRUTOS**

Se define daño mecánico al producido sobre el fruto por la acción de una fuerza excesiva que ocasiona alteraciones en la estructura interna y/o externa del fruto. Las consecuencias de estos daños son cambios físicos, deterioro y senescencia del fruto. Los daños mecánicos debidos a fuerzas externas son lesiones mecánicas en frutas y verduras, cereales, etc. (Mohsenin, 1986).

El daño mecánico en pepino se produce por aplastamientos, rajaduras o perforaciones. Generalmente se produce por utensilios de trabajo, envases defectuosos, maquinaria de manipulación, etc. (Valero & Serrano, 2010). En el tejido dañado, generalmente se produce oscurecimiento de la zona y ruptura de las membranas, lo que facilita la entrada de patógenos al fruto, estimula la senescencia (producción de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), y la entrada de los compuestos fenólicos a la acción de la polifenol oxidasa y aceleración de la pérdida de peso (Kader, 2002a).

Los daños mecánicos se suelen producir en los frutos durante la recolección, transporte, manipulación, envasado y comercialización (Mitchell & Kader, 1989). Los tejidos vegetales con daños mecánicos producen pérdida de calidad y deterioro del fruto (pérdida de textura, mala apariencia, sabores desagradables y pérdida de valor nutricional (Velderrain-Rodríguez et al., 2019). La degradación patológica causada por organismos que causan enfermedades (principalmente hongos y bacterias) puede iniciar la infección por las zonas con lesiones mecánicas (Kays & Paull 2004; Wills et al. 2007; Palou & Smilanick, 2019). Por tanto, las lesiones mecánicas y las heridas durante la cosecha pueden ofrecer un punto de penetración para los patógenos que causan la descomposición (Erkan & Dogan, 2019).

Durante el transporte del producto desde el campo hasta el consumidor se producen lesiones mecánicas graves en forma de magulladuras y cortes por impacto,

compresión y vibración, lo que lleva a un deterioro de la calidad y una vida útil reducida (Rahman, 2007).

Durante el transporte, la vibración es una condición que siempre está presente. El envío de frutos a mercados distantes generalmente tardan de 2 a 3 días (a temperatura ambiente) o de 15 a 20 días (como transporte en frío) y hay períodos adicionales antes de que los frutos finalmente lleguen a los consumidores. Este transporte extendido aumenta el riesgo de pérdidas de calidad (Fernández-Trujillo et al., 2008), ablandamiento y corta vida útil (Zhou et al., 2015). Además de la vibración, durante el transporte pueden producirse presión estática y compactación. Esto conduce a daños causados principalmente por deformación plástica y daños por histéresis causados por deformación viscoelástica. Se afirma que la principal razón del daño del fruto en poscosecha y la disminución de las propiedades de almacenamiento radica en el daño mecánico (Lu & Wang, 2004). Los experimentos revelaron que los melones tratados con vibración tenían una tasa de ablandamiento más alta (más del 52%), una conductividad eléctrica relativa más alta (como indicador de pérdida / daño de la membrana celular) y una mayor pérdida de peso del fruto (debido al daño de la piel del fruto) que los frutos de melón intactos durante el almacenamiento (Zhou et al., 2015).

## **2.8.2 FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO**

Los principales factores ambientales que influyen en el deterioro de los frutos de pepino son la temperatura, la humedad relativa y la luz.

### **2.8.2.1 Temperatura**

Uno de los factores más importante que afecta a la vida comercial durante la poscosecha es, sin lugar a dudas, la temperatura. La temperatura óptima de conservación para los frutos de pepino es de 10 a 12,5 °C (Hardenburg et al. 1986). La vida poscosecha en estas condiciones de temperatura y con una humedad relativa del 95%, permite que pueda ser comercializable durante 14 días. A partir de este tiempo de conservación, la calidad del fruto tanto visual como sensorial desciende rápidamente (& Saltveit, 1990). La conservación de frutos fuera del rango de 10 a 12,5

°C origina el deterioro rápido del fruto (Yahia, 2019a). La conservación del fruto durante 2 o 3 días por debajo de 10 ° C genera lesiones por frío. En cambio, si la conservación se realiza a temperaturas superiores a 15 ° C, el fruto se deteriora rápidamente (Cabrera et al.,1992). Mantener los pepinos sin refrigeración a temperatura ambiente resultará en un notable marchitamiento y descomposición después de una semana.

Entre los tipos más comunes de estrés poscosecha, los extremos de temperatura se pueden clasificar en estrés por baja y alta temperatura. Las bajas temperaturas pueden provocar lesiones por congelación y frío, mientras que las lesiones por altas temperaturas se producen a temperaturas superiores a 30 °C (Shewfelt, 1993; Concellón et al., 2007). Exponer los frutos de pepino a temperaturas por encima del valor óptimo aumenta la respiración y transpiración del fruto, acelera la senescencia, y favorece los daños por patógenos. Por tanto, reduce su vida comercial (Cappellini & Ceponis 1984).

El almacenamiento a baja temperatura es la herramienta más eficaz que se utiliza para prolongar la calidad y vida poscosecha. A medida que la temperatura de almacenamiento disminuye y se acerca al punto de congelación, las reacciones enzimáticas se ralentizan, incluidas las responsables de la respiración y la senescencia. Las bajas temperaturas también reducen la velocidad de crecimiento de los microorganismos en descomposición (Hardenburg et al., 1986).

Las bajas temperaturas solo se convierten en un problema en el sistema de poscosecha cuando provocan lesiones. Las lesiones por bajas temperaturas son más habituales en los sistemas de producción del sureste español que los daños causados por calor (muy poco habituales). Los síntomas de las lesiones por calor en pepino incluyen blanqueamiento, quemaduras o escaldaduras en la superficie, ablandamiento excesivo y desecación (Yahia et al., 2019c).

#### ***2.8.2.1.1 Lesiones por frío***

El factor ambiental más influyente para el control poscosecha de los frutos es la temperatura. Las temperaturas bajas suprimen un gran número de procesos metabólicos (incluida la respiración y generación de CO<sub>2</sub>), lo que prolonga drásticamente el almacenamiento y la vida útil (Cabrera & Saltveit, 1990).

La mayoría de los estudios sitúan la temperatura de conservación ideal para los frutos de pepino en 10-12°C. En cambio, temperaturas inferiores a 10°C pueden producir daño por frío. En concreto, temperaturas de conservación inferiores a 7 – 8°C producen daño por frío en pepino y la severidad del daño suele variar según el tipo de cultivar (Hakim et al., 1999; Kasmire & Cantwell, 2002; Thompson, 2002; Biswas & Brummell, 2019; Yahia et al., 2019c).

Los rangos de temperatura a los que se congelan los frutos de pepino son -0,9°C a -0,8°C. En cambio, la lesión por frío es diferente a la lesión por congelación, ya que ocurre por encima de las temperaturas de congelación. La congelación del fruto produce daños asociados a la formación de cristales de hielo en los tejidos vegetales. Los cristales de hielo son capaces de romper la pared celular y las membranas celulares, lo que permite que los fluidos celulares escapen y provoquen pérdida de humedad, degradación de la calidad o cambios de sabor. Por tanto, el daño que causa la formación de cristales de hielo en los frutos es tanto físico como químico. Hay dos procesos que provocan daños en las estructuras celulares y conducen a la pérdida de firmeza. La primera es cuando los cristales perforan las membranas celulares, lo que provoca una pérdida de turgencia. El segundo es cuando los cristales rompen la estructura de la pared celular, lo que provoca la degradación del tejido y la liberación de enzimas degradantes. Los tejidos dañados por congelación generalmente pierden rigidez, se vuelven blandos al descongelarse y parecen empapados de agua (Javanmardi & Pessarakli, 2019). En general, los frutos de pepino son de las cucurbitáceas más sensibles al daño por congelación, por lo que pueden resultar dañadas incluso por una congelación leve (Wang & Wallace, 2004).



*Figura 54. Síntoma de lesión por congelación en pepino. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).*

Los síntomas de lesiones por frío aparecen en los frutos durante el almacenamiento a temperaturas frías o cuando posteriormente se transfieren de temperaturas frías a cálidas o no frías. Incluyen la formación de áreas acuosas hundidas de color oscuro (hoyos) y una mayor sensibilidad a la descomposición y al crecimiento de hongos (Cabrera & Saltveit, 1990). Los síntomas típicos de daños por frío en las cucurbitáceas son picaduras y escaldaduras en la piel, lesiones que suelen ser colonizadas en pocos días por hongos saprofitos o necrotróficos (Fernández-Trujillo et al., 2007).

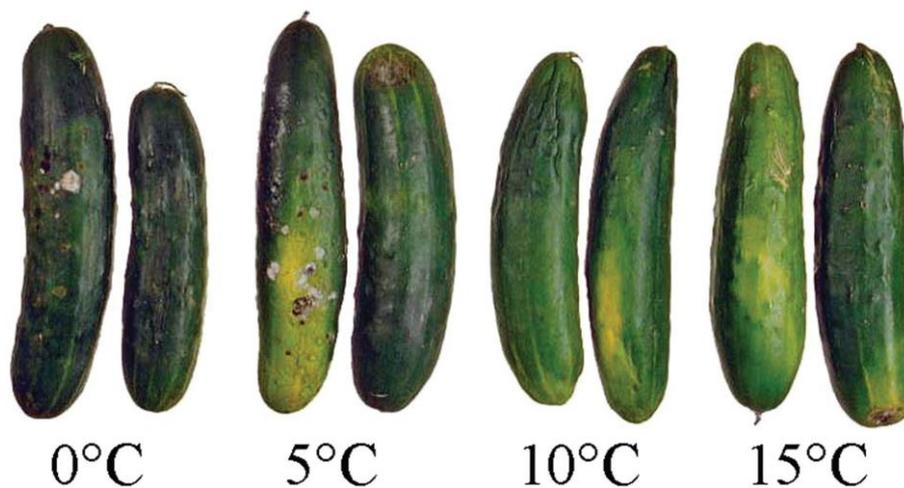
Cuando los frutos se mantienen a temperaturas por debajo de 10 ° C durante más de 3 días muestran síntomas de colapso de tejido, picaduras, manchas translúcidas empapadas de agua y áreas empapadas de agua cuando se retiran del almacenamiento a baja temperatura (Figura 55 y Figura 56) (Javanmardi & Pessarakli, 2019). Los síntomas son la senescencia rápida y aumento en la respiración, propensión a enfermedades, producción de CO<sub>2</sub> y etileno (Cabrera & Saltveit, 1990). La temperatura y humedad relativa de la atmósfera de almacenamiento está inversamente relacionada con la severidad de las picaduras causadas por el frío (Fernández-Trujillo & Martínez, 2012). Se ha afirmado que el desarrollo del daño

por frío en el fruto de pepino va acompañado de un aumento de la actividad de la lipoxigenasa (Mao et al., 2007).

Los síntomas más comunes que produce el daño por bajas temperaturas en el pepino son (Hardenburg et al., 1986; Kader, 1983;1986; Zong et al., 1992; Valero & Serrano, 2010; Fernández-Trujillo et al., 2007 y Zhang et al., 2015):

1. Ablandamiento del fruto.
2. Cambios de color en el exterior e interior del fruto (oscurecimiento).
3. Picaduras y hundimientos en la superficie, seguidos de lesiones pardas o negras.
4. Aparición de áreas acuosas.
5. Desarrollo de sabores extraños.
6. Mayor sensibilidad a la pudrición producida por hongos y bacterias.

En la Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58, y Figura 59 se muestran ejemplos de síntomas y consecuencias que produce el daño por bajas temperaturas en frutos de pepino.



*Figura 55. Daño por frío en pepino (primero 9 días de almacenamiento + 5 días a 20°C después) y propensión a la infección por hongos. Fuente: Javanmardi & Pessaraki (2019).*



Figura 56. Hundimientos (picaduras) severos en la superficie del fruto de pepino ocasionado por un daño por frío. Fuente: Javanmardi & Pessarakli (2019).



Figura 57. Daño por frío producido en frutos de pepino. Fuente: Yahia et al. (2019c).

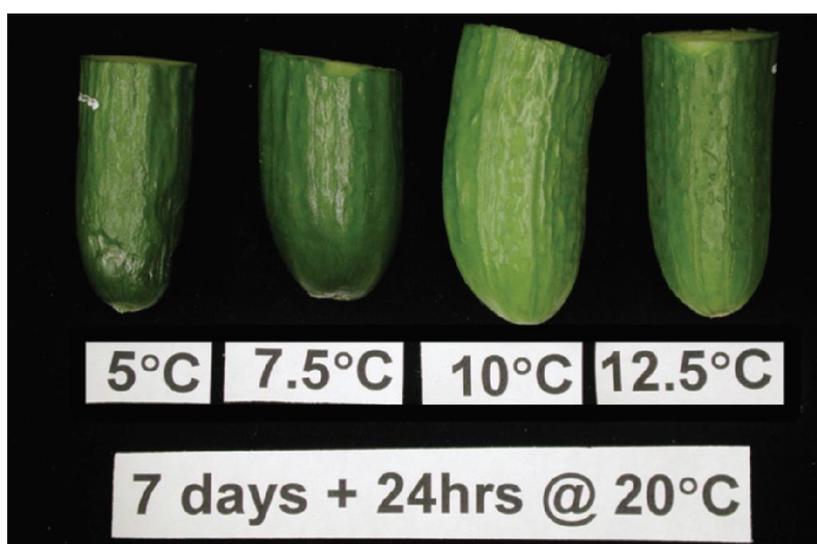


Figura 58. Síntomas de la lesión por frío en frutos de pepino Beta Alpha. El fruto de la izquierda muestra el colapso tisular del fruto inducido por el almacenamiento a 5 °C durante 7 días. Fuente: Sargent & Maynard (2012).

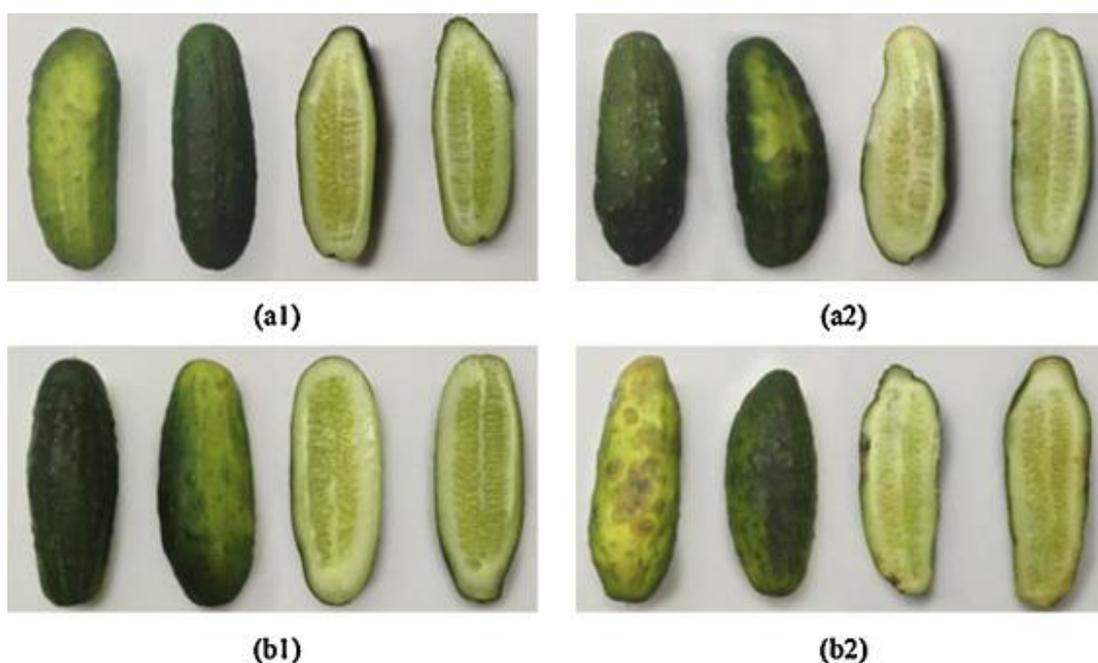


Figura 59. Síntomas en frutos de pepino que producen los daños por bajas temperaturas durante 2 días de conservación en frío (a1), 2 días almacenados en frío más 3 días a temperatura ambiente (a2), 5 días de conservación en frío (b1) y 5 días de conservación en frío más 3 días almacenados a temperatura ambiente (b2). Condiciones de almacenamiento en frío: 4°C, H.R 95%; y a temperatura ambiente a 20°C. Fuente: Cen et al. (2016).

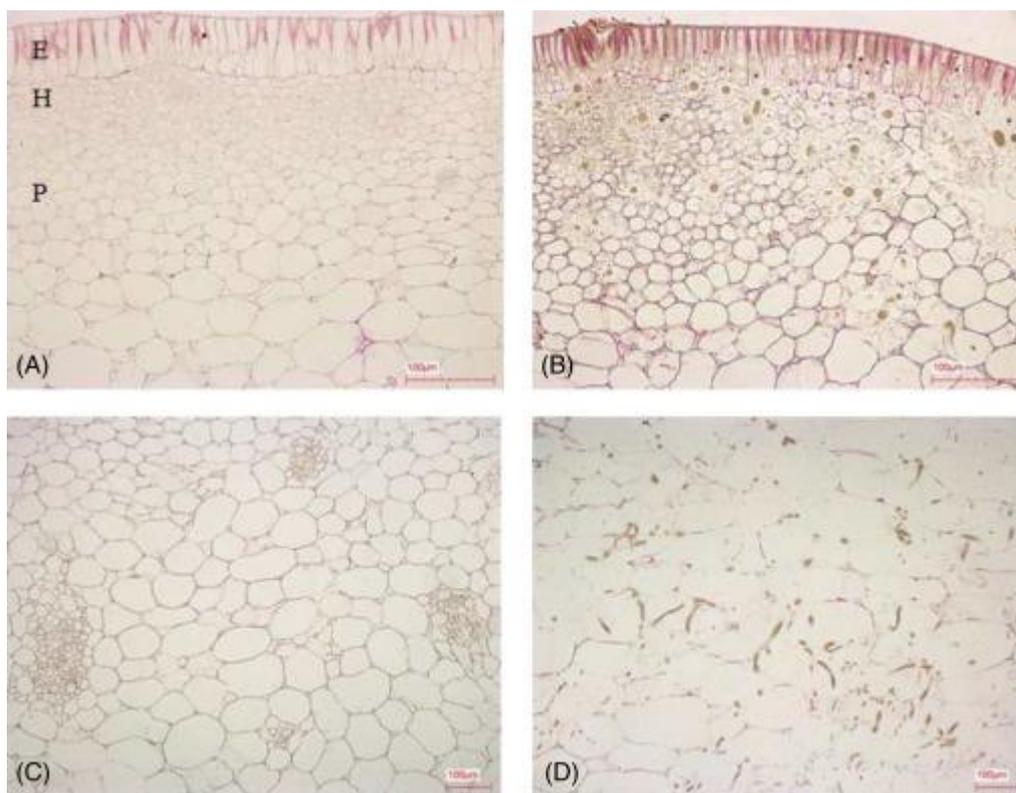


Figura 60. Imágenes microscópicas de fruto de pepino sano (A) y (B). Fruto de pepino dañado por frío. (C) y (D). Fuente: Choi (2015).

La severidad de la lesión por frío depende de la variedad comercial de pepino, la temperatura y la duración de la exposición en las condiciones de bajas temperaturas. Además, las lesiones que produce son más visibles después de mantener el producto a temperatura ambiente tras la exposición al frío (es un proceso acumulativo) (Wang, 1990; Yahia et al., 2019c).

Los frutos de pepino han mostrado una mayor tolerancia a los daños por frío después de haber sido expuestos a tratamientos de acondicionamiento de temperatura. Estos se pueden aplicar como tratamientos de uno o varios pasos, siendo el último más efectivo (Elansari & Siddiqui, 2016; Elansari et al., 2019a).

El acondicionamiento de pepinos a alta temperatura también beneficia respecto al frío. Muchos autores han estudiado como tratamientos cortos con agua caliente al inicio de la poscosecha pueden controlar la descomposición, reducir el daño

por frío y mantener la calidad del fruto (DeEll et al., 2000; McCollum et al., 1995; Adoma & Maalekuu, 2015; Nasef, 2018).

### **2.8.2.2 Humedad relativa**

El fruto de pepino está compuesto mayoritariamente por agua. Esto le confiere frescura y turgencia muy apreciada por los consumidores. Pero a su vez le confiere la característica de ser muy perecedero y proclives al marchitamiento durante su poscosecha debido a la pérdida de humedad durante la conservación. Por tanto, el control de temperatura y humedad son claves para prolongar la poscosecha (Dhall et al. 2011; Adoma & Maalekuu, 2015; Patel & Panigrahi, 2019).

La pérdida de agua en los frutos de pepino puede producir pequeñas lesiones hundidas en la superficie del fruto tras varios días a una humedad relativa baja. Además, el fruto pierde su textura firme y crujiente. Puede desarrollarse una pequeña depresión en el punto de unión del tallo. La humedad relativa recomendada durante la conservación de los frutos de pepino debería ser del 95% (Hardenburg et al. 1986; Thompson, 2002; Kasmire & Cantwell, 2002; Ojo, 2016). Si la humedad relativa es baja, se produce pérdida de agua del fruto de pepino al ambiente que rodea al fruto. Cuanto menor sea la humedad relativa ambiental, mayor será la pérdida de agua que se produce en los frutos. Por tanto, mayores serán las pérdidas cuantitativas directas (pérdida de peso) (Watkins, 2003). Además, la baja humedad en las condiciones de almacenamiento originan también pérdidas cualitativas de los frutos, tales como arrugamiento, ablandamiento y marchitez (FAO, 2007; Hung et al., 2011).

### **2.8.2.3 Luz**

La presencia o ausencia de luz durante el almacenamiento de los frutos de pepino altera su contenido fitoquímico, reduce su calidad y vida poscosecha (Sharkey & Pegg, 1984; Xiao et al., 2014).

La intensidad y la calidad de la luz adecuada durante el cultivo de pepino, también pueden influir en la calidad durante la vida comercial de los frutos. Durante

la fase de cultivo, especialmente si se cultiva en invernadero, puede reducir la concentración de la clorofila en la piel del fruto, y aumentar la susceptibilidad al amarilleo durante la poscosecha (Madani et al., 2019).

### **2.8.3 COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA**

La composición de la atmósfera que no ha sido modificada se corresponde con la del aire normal (20-21% O<sub>2</sub>, aproximadamente 0,03% CO<sub>2</sub>, aproximadamente 79% N<sub>2</sub> y trazas de otros gases). Esta composición del aire presente en una cámara de conservación sin modificar, puede alterarse de forma intencionada mediante el uso de atmósferas modificadas y atmósferas controladas para retrasar la senescencia de los frutos y controlar ataques de patógenos (Lougheed, 1987; Yahia, 2007). En otros casos, la composición de la atmósfera puede alterarse por la presencia de frutos que se encuentran en proceso de envejecimiento que pueden producir gases (etileno, etc.).

La combinación de atmósferas modificadas para retrasar la senescencia del fruto, en ocasiones pueden dar lugar a un deterioro más rápido de los frutos (Beaudry, 1999; 2000).

Las atmósferas modificadas en la conservación de pepino pueden presentar riesgos potenciales tales como producir o agravar algunas fisiopatías que a su vez facilitan el ataque y desarrollo de pudriciones por hongos y bacterias (El-Goorani & Sommer, 1981; Mattheis & Fellman, 2000).

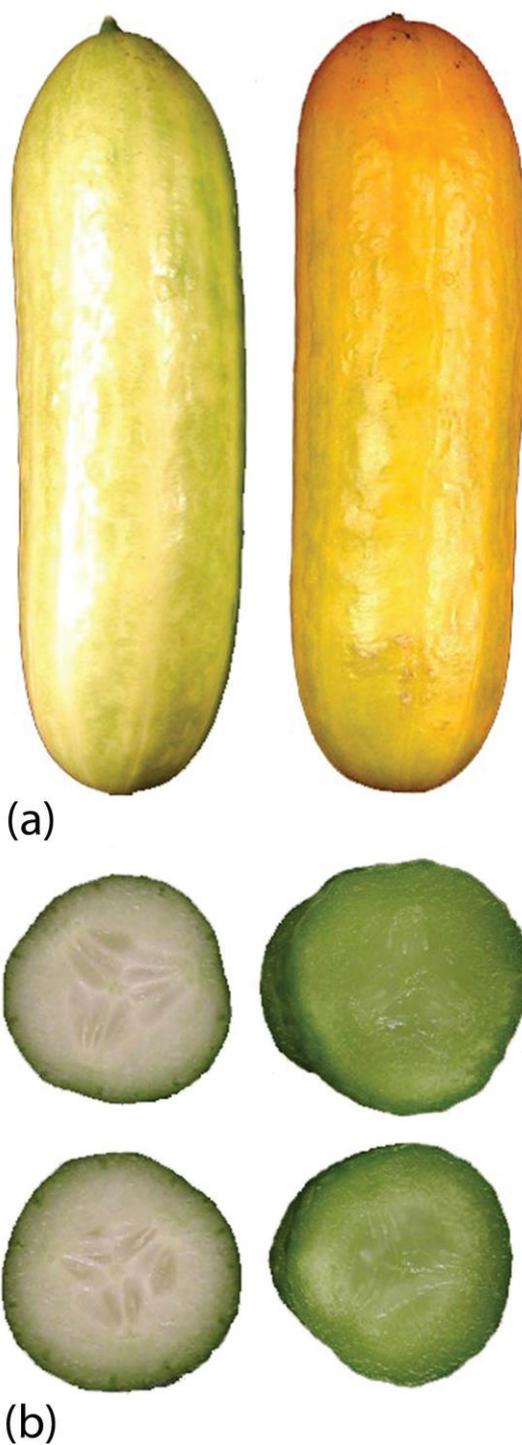
El aumento del contenido de CO<sub>2</sub> y la reducción de la concentración de O<sub>2</sub>, tanto de forma no intencionada (restricciones o averías en la ventilación del vehículo de transporte), como de forma intencionada (conservación en atmósferas controladas o modificadas); junto a la producción de etileno producido por otros frutos (climatéricos principalmente) que comparten atmósfera con frutos de pepino pueden acelerar el deterioro de los pepinos. La dimensión de los cambios, y por tanto del daño sobre la vida comercial, va a depender del cultivar de pepino, estado fisiológico, tipos de frutos en cargas mixtas (pepino + frutos climatéricos), condiciones ambientales (concentración de etileno, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y tiempo de exposición a estos gases (Brecht, 1980; Gorris & Peppelenbos, 1992; Yahia, 2007).

### **2.8.3.1 Exposición a etileno**

Los trastornos fisiológicos poscosecha, principalmente en frutos climatéricos, están directa o indirectamente influenciados por el etileno (Girardi et al., 2005). Las plantas de pepino se consideran de baja producción de etileno. Su producción se sitúa en un valor incluido en el rango de  $0,1 - 1,0 \mu\text{l C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ . La producción de etileno por los productos vegetales depende de condiciones ambientales ( $T^a$ , concentración de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) y factores genéticos. Además, en cucurbitáceas no se ha descrito relación entre la producción de etileno y el grado de deterioro de los frutos. En cambio, sí se ha descrito que la exposición de frutos a etileno acelera la senescencia (Wills et al., 1999; Kasmire & Cantwell, 2002).

Los efectos negativos del etileno durante el almacenamiento poscosecha incluyen senescencia, maduración excesiva, pérdida de calidad acelerada (Figura 61, Figura 62 y Figura 63) y mayor susceptibilidad a otros trastornos fisiológicos y patógenos del fruto (Martínez-Romero et al., 2007). La incidencia y gravedad de los trastornos depende de la edad fisiológica del producto, la temperatura, la concentración de  $\text{CO}_2$  y el tiempo de exposición a etileno (Kader, 1983).

Los pepinos son muy susceptibles a la exposición de etileno. Se ha demostrado que la presencia de etileno en el ambiente o en la biosíntesis de etileno inducida por estrés causa un amarilleamiento del fruto y un ablandamiento acelerado en el pepino (Kader & Kasmire, 1984). En ocasiones, los pepinos se transportan junto a otros productos vegetales (cargas mixtas). Cuando algunos de estos productos producen etileno, puede afectar a la longevidad poscosecha del pepino. Además, se pueden desarrollar pudriciones y amarilleamientos en los pepinos con largas exposiciones a etileno (Figura 62). En cambio, si la exposición es corta (durante el almacenamiento o el transporte), pueden ayudar a mantener el color verde del pepino (Kasmire & Cantwell, 2002).



*Figura 61. Amarillo entero (A) y cortes transversales de fruto de mini pepino inmaduro (B) (cv. Manar) después de la exposición al aire (izquierda) o 10 as e / L de etileno (derecha) durante 9 días a 15 ° C. Fuente: Hurr et al. (2009).*



*Figura 62. Imagen izquierda: Amarilleamiento de pepinos debido a la exposición de etileno. Los frutos fueron expuestos al aire (fruto de la derecha), o 10 ppm de etileno por 2 días y luego almacenados 5 días a 12.5 °C (los 2 frutos de la izquierda). Imagen derecha: Detalle del amarilleamiento del fruto de pepino. Fuente: Kasmire & Cantwell (2002).*

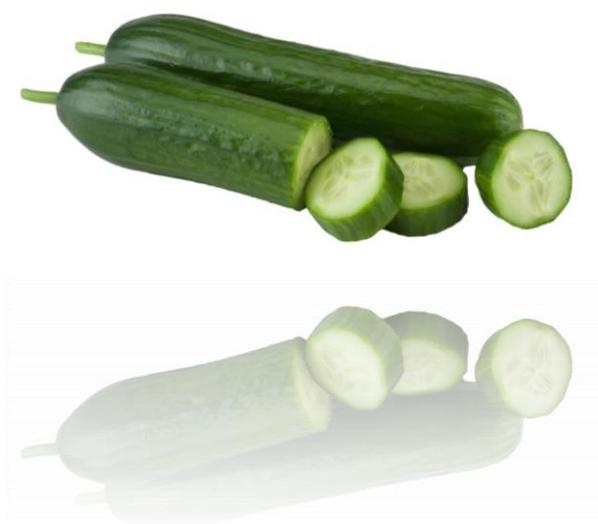


*Figura 63. Efectos de la senescencia de frutos de pepino tipo Beta Alpha por exposición de etileno: colapso epidérmico seguido de infección secundaria. Fuente: Sargent & Maynard (2012).*

La exposición de los frutos de pepino al etileno durante la conservación, disminuye el atributo de textura crujiente, pudiendo llegar hasta desaparecer completamente (Sañudo-Barajas, et al., 2019).



### **3.- MATERIALES Y MÉTODOS**





## **CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***3.1 INTRODUCCIÓN***

**P**ara demostrar que la materia seca y los sólidos solubles totales pueden servir como indicadores para identificar frutos de pepino con la mayor probabilidad de comercialización, se realizaron dos estudios independientes durante las campañas agrícolas 2018-2019 y 2019-2020. Uno de los estudios se realizó sobre variedades cultivadas en el ciclo medio de otoño-invierno. El otro estudio se realizó sobre variedades cultivadas en el ciclo medio de invierno.

#### **3.1.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO**

El estudio se realizó sobre cultivares de pepino cultivados en invernaderos del sureste español. En concreto, en la zona de levante de la provincia de Almería. Los invernaderos sobre los que se recogieron las muestras eran propiedad de agricultores profesionales dedicados a la producción y exportación de pepino. Por tanto, las condiciones climáticas y el manejo agronómico de los cultivos (trasplante, poda, entutorado, clima, riego, fertilización, etc.) fueron las condiciones estándar en la zona de producción.

Una vez recogidas las muestras de las zonas de producción, los frutos se transportaron y evaluaron en el laboratorio 1.160 situado en el edificio CITE IV de la Universidad de Almería, perteneciente al Departamento de Ingeniería. Además, se hizo uso de las instalaciones y equipos de los Servicios Centrales de la Universidad de Almería.

### **3.2 MATERIAL VEGETAL**

El estudio se realizó sobre frutos de pepino tipo “LET” (Long European Type) cultivados bajo invernaderos en diferentes zonas productoras de Almería (España). Este tipo de fruto se caracteriza por ser alargado y con la piel un poco asurcada o lisa, su peso y longitud puede oscilar entre 350 y 500 g y 25 y 40 cm, respectivamente (Vasco-Morcillo, 2003; Carnide & Barroso, 2006). En la Figura 64 se muestra el detalle del tipo de fruto de pepino considerado en nuestro estudio.



*Figura 64. Detalle del tipo de pepino (tipo “Almería” u “holandés”) evaluado en la presente tesis.*

Se realizaron dos estudios independientes durante las campañas agrícolas 2018-2019 y 2019-2020. Uno de los estudios se realizó sobre frutos de los cultivares ‘Levantino’, ‘Litoral’ y ‘Montano’; cuya recolección típica en el sureste español va desde octubre a enero sobre plantas trasplantadas del 20 de agosto a 15 de septiembre (este ciclo es conocido en el sureste español como “*ciclo medio de otoño-invierno*”). El otro estudio se realizó sobre frutos de los cultivares ‘Braganza’ y ‘Valle’, cuyo trasplante suele realizarse del 25 de septiembre al 25 de octubre y la recolección suele ser entre diciembre y febrero (conocido como “*ciclo medio de invierno*”).

### **3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se realizó un diseño factorial completo en ambos estudios, que consta de cuatro factores (diseño 24, Montgomery, 2017) formados por dos ciclos productivos (2018-2019 y 2019-2020), diferentes meses de estudio (octubre, noviembre, diciembre y enero en un estudio; y diciembre, enero y febrero en el otro estudio), distintos cultivares de pepino, y días de conservación (DDC). Para cada cultivar y mes evaluado se tomaron muestras de 125 frutos. Las muestras se etiquetaron y transportaron a la Universidad de Almería (Almería, España) para su estudio en laboratorio. Cada muestra de 125 frutos fue dividida en 5 sub-muestras de 25 frutos cada una, a las cuales se le evaluó la calidad comercial semanalmente, es decir, a 0, 7, 14, 21 y 28 DDC. Las condiciones de conservación fueron: ausencia de luz, 10°C de temperatura y 85 – 95% de humedad relativa. Estas son las condiciones estándar durante el transporte, almacenamiento y distribución de frutos de pepino (Thompson, 2002; Cantwell & Kasmire, 2002).

#### **3.3.1 TOMA DE DATOS**

Los parámetros medidos en laboratorio a cada fruto individualmente fueron la pérdida de calidad comercial, materia seca (%) y contenido en sólidos solubles totales (°Brix) del fruto. Para evaluar la pérdida de valor comercial se consideraron los parámetros descritos por Kader (1983, 2002a) y Valero & Serrano (2010): daños por frío, envejecimiento y marchitamiento del fruto, pérdida de color (amarilleo) y daños por hongos o bacterias. Estas suelen ser las causas principales de pérdida de valor comercial de los pepinos que se producen a lo largo de la cadena de distribución (Díaz-Pérez et al., 2019a). En función de estos parámetros, cada fruto se clasificó como comercial o no comercial en función del deterioro originado durante la conservación y se codificó con 1 y 0, respectivamente. En la Figura 65 se muestran detalles del aspecto de considerados en nuestro estudio como no comerciales.

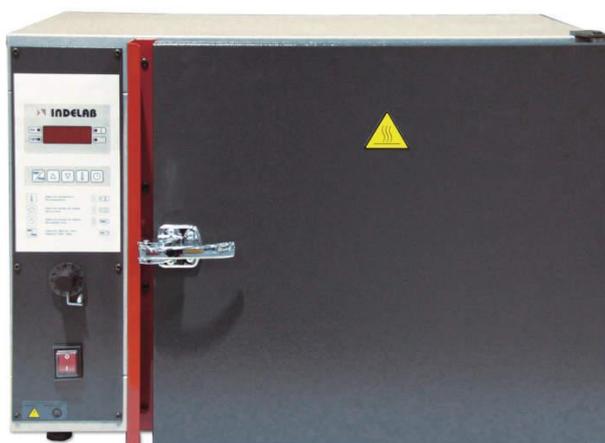


Figura 65. Detalle de frutos de pepino no comerciales considerados en nuestro estudio.

Para determinar el contenido de materia seca (MS) y los sólidos solubles totales (SST), se trituró cada fruto entero mediante una batidora convencional hasta obtener un triturado homogéneo. Del triturado resultante se extrajo una sub-muestra de 45 gramos aproximadamente, se centrifugó a 3000 rpm durante 20 minutos y se extrajo el líquido transparente sobre el que se midieron los SST mediante un refractómetro digital ATAGO PR-101 $\alpha$  (Tokyo, Japan), cuyo intervalo de medida es 0-85% y su precisión de 0,1% (Figura 66). La medida de la MS se hizo siguiendo el método oficial AOAC 920.151. Se extrajo otra sub-muestra de 45 g de triturado y se secó a 70°C hasta que las oscilaciones de las pesadas consecutivas realizadas a intervalos de 2 h eran inferiores al 0,1% (AOAC, 1995).



Figura 66. Refractómetro digital ATAGO PR-101 utilizado en nuestro estudio para determinar los sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix).



*Figura 67. Estufa modelo IDL.CD 208m utilizada para determinar la materia seca del fruto de nuestro estudio. Fuente: <https://www.labolan.es/es/>.*

### 3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA), análisis de regresión lineal simple y regresión logística binaria múltiple. Los software utilizados para los análisis estadísticos fueron IBM SPSS Statistics Versión 23 para la regresión logística binaria; y Statgraphics Centurion XVII-X64 para los análisis de la varianza y regresión lineal.

#### 3.4.1 ANÁLISIS DE LA VARIANZA

El análisis de la varianza aplicado a los datos medidos en laboratorio se realizaron según el modelo lineal aditivo de la ecuación (1):

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\tau)_{ik} + (\alpha\gamma)_{il} + (\beta\tau)_{jk} + (\beta\gamma)_{jl} + (\tau\gamma)_{kl} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

donde  $Y_{ij}$ : es la  $ij$ -ésima observación,  $\mu$ : es la media global,  $\alpha_i$ : es el  $i$ -ésimo cultivar (primer estudio: Levantino, Litoral y Montano. Segundo estudio: Braganza y Valle),  $\beta_j$ : es el efecto del  $j$ -ésimo ciclo de cultivo (2018-19 y 2019-20),  $\tau_k$ : es el efecto del  $k$ -ésimo mes de estudio (Primer estudio: octubre, noviembre, diciembre y enero. Segundo estudio: diciembre, enero y febrero),  $\gamma_l$ : es el efecto del  $l$ -ésimo día de conservación (0, 7, 14, 21 y 28 DDC),  $(\alpha\beta)_{ij}$ : es la interacción entre cultivar y ciclo de cultivo,  $(\alpha\tau)_{ik}$ : es el efecto de la interacción entre cultivar y mes de estudio,  $(\alpha\gamma)_{il}$ : es el efecto de la interacción entre cultivar y días de conservación,  $(\beta\tau)_{jk}$ : es el efecto de la interacción entre ciclo de cultivo y mes de estudio,  $(\beta\gamma)_{jl}$ : es la interacción entre ciclo de cultivo y días de conservación  $(\tau\gamma)_{kl}$ : es la interacción entre mes de estudio y días de conservación y  $\varepsilon_{ijkl}$ : es el error experimental. Se consideró la orden de interacción 2 para evitar el fenómeno de confusión de interacción entre factores (Montgomery, 2017).

Por otro lado, para comparar la materia seca y los sólidos solubles totales del pepino en el momento de recolección de los cultivares Levantino, Litoral y Montano, se realizó un análisis simple de la varianza siguiendo el modelo lineal aditivo  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$ . Donde  $Y_{ij}$ : observación  $ij$ -ésima,  $\mu$ : media global,  $\alpha_i$ : efecto del

i-ésimo cultivar y  $\varepsilon_{ij}$ : error experimental. Para el caso del estudio de Braganza y Valle; al tratarse de la comparativa de dos cultivares, el análisis realizado fue el test T-Student para muestras independientes (Montgomery, 2017).

Finalmente, las hipótesis de normalidad y homocedasticidad se verificaron en todos los análisis estadísticos. Se aplicó el test LSD (Least significant difference) para comparar y discriminar entre las medias de cada tratamiento.

### **3.4.2 MODELO LINEAL SIMPLE**

La relación entre los sólidos solubles totales y la materia seca se estudió mediante el análisis de regresión lineal simple. La estimación de los parámetros del modelo se obtuvo mediante el método de mínimos cuadrados, que consiste en calcular aquellos estimadores de los coeficientes del modelo que minimizan la suma de los cuadrados de los residuos. Además, el ANOVA para el contraste de la regresión fue calculado para determinar la significación del modelo lineal simple. Finalmente, para verificar la bondad de los modelos lineales, se calculó el coeficiente de correlación ( $r^2$ ), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) correspondiente con la cantidad de variabilidad explicada por la variable independiente  $x_i$  ( $y_i = \alpha + \beta_{ix_i}$ ); y se comprobó el cumplimiento de las hipótesis de linealidad, ausencia de autocorrelación de los residuos estudentizados, normalidad de los residuos tipificados y homocedasticidad mediante el test de Goldfeld-Quandt.

### **3.4.3 REGRESIÓN LOGÍSTICA BINARIA**

Los modelos de regresión logística binaria son métodos estadísticos muy apropiados cuando la variable dependiente es dicotómica. Este modelo explica los factores que influyen en que la variable respuesta se incluya en un determinado grupo, como por ejemplo que un fruto no sea comercializable o que sí lo sea, tras un periodo en condiciones de frigo-conservación. Los fenómenos asociados a la pérdida de vida comercial en frutos suelen ser complejos, y una sola variable independiente

por lo general no basta para resolver los estudios de poscosecha, por lo que es recomendable abordar estos estudios mediante modelos con múltiples variables. En nuestro estudio se aplicó la regresión logística binaria múltiple según la ecuación (2) (Agresti, 1996; Hosmer et al., 2013), y siguiendo la metodología descrita por Díaz-Pérez et al. (2018, 2019a, 2019b).

$$\pi(x) = \frac{e^{\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i}}{1 + e^{\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i}} \quad (2)$$

Siendo  $\pi(x)$  la probabilidad de comercialización de los pepinos y  $x_1, x_2, \dots, x_n$  son las variables independientes DDC, cultivar, materia seca y sólidos solubles totales del pepino.

La estimación de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta_i$  del modelo múltiple se realizó mediante el método de máxima verosimilitud (Kleinbaum & Klein, 2010). Para verificar que el coeficiente  $\beta_i$  es distinto de 0, se aplicó contraste de Wald, cuyo estadístico se muestra en la ecuación (3) (Agresti, 1996).

$$Z_{\text{wald}} = \frac{\hat{\beta}}{SE(\hat{\beta})} \quad (3)$$

Donde  $\hat{\beta}$ : estimación del parámetro  $\beta$ ,  $SE(\hat{\beta})$ : error estándar de  $\hat{\beta}$

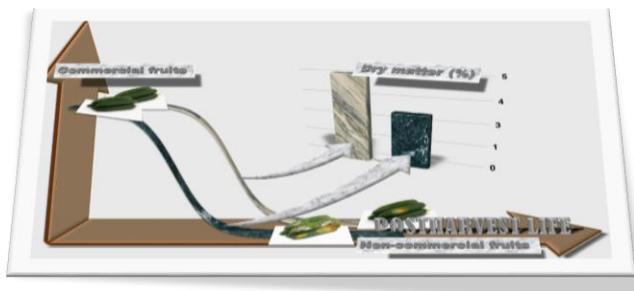
$Z_{\text{wald}}$  es un estadístico que se distribuye según una  $\chi^2$ . Para que su valor sea significativo, tiene que ser mayor a 4 (un  $Z_{\text{wald}} > 4$ ).

Además, se calcularon los odds ratios aplicando la ecuación (4) que calcula el cociente de los odds entre dos sucesos. Los odds ratio “ $\theta$ ” ayudan a interpretar los coeficientes de regresión logística binaria. El odds es la relación de probabilidades entre que ocurra un suceso ( $\pi(x)$ ) respecto de que no ocurra ( $1-\pi(x)$ ). Su valor muestra la relación y la fuerza de asociación entre variables y permite cuantificar su fuerza de asociación (Agresti 1996; Rudas, 1998).

$$\theta = \frac{\text{odds}_1}{\text{odds}_2} = \frac{\frac{\pi(1)}{1-\pi(1)}}{\frac{\pi(2)}{1-\pi(2)}} \quad (4)$$

Finalmente, se estudió la bondad del ajuste de los modelos mediante el cálculo de diferentes indicadores utilizados en regresión logística binaria. Se determinó la bondad de ajuste del modelo basado en el estadístico de Bondad de ajuste de Hosmer-Lemeshow (Hosmer et al., 2013). Este contraste evalúa la bondad del ajuste del modelo mediante una tabla de contingencia a la que se le aplica un contraste tipo  $\chi^2$ . Esto se consigue calculando los deciles de las probabilidades estimadas y agrupa los datos observados en 10 categorías. La hipótesis nula del contraste se da cuando no se producen diferencias entre los valores observados y los pronosticados, frente a la hipótesis alternativa de que sí hay diferencias. Se considera que el modelo no está bien ajustado cuando  $p\text{-valor} < 0,05$  (rechazo de la hipótesis nula). La prueba ómnibus descrita por Maroof (2012) fue calculada para determinar la significación general del modelo. Otras pruebas de bondad de los modelos estimados fueron la  $R^2$  de Nagelkerke y la  $R^2$  de Cox y Snell. El coeficiente de determinación  $R^2$  de Cox y Snell estima la cantidad de varianza de la variable respuesta que es explicada por las variables independientes. Su estimación se basa en la comparación del logaritmo de la verosimilitud para el modelo completo respecto al logaritmo de la verosimilitud para un modelo de línea base. Sus valores oscilan entre 0 y 1, aunque tiene un valor máximo inferior a 1, incluso para un modelo "perfecto", por tanto, cuanto más se aproxime a 1, mejor será el modelo (Cox & Snell, 1989). La  $R^2$  de Nagelkerke mejora la  $R^2$  de Cox y Snell corrigiendo el problema de escala asociado al estadístico. El rango de su valor oscila entre 0 y 1, y cuanto más se aproxime a 1, mejor será el modelo (Nagelkerke, 1991).





## **4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 RESULTADOS**

Los resultados se presentan de forma independiente para los cultivares estudiados en el periodo de octubre a enero (cultivares Levantino, Litoral y Montano) y de diciembre a febrero (cultivares Braganza y Valle). El motivo de su estudio independiente es por tratarse de ciclos de cultivo distintos, por tanto, se trata de cultivares con una mejor adaptación y mayor desarrollo de su potencial agronómico en sus correspondientes ciclos de cultivo. Los resultados que se exponen en este apartado proceden del análisis de la varianza, análisis de regresión logística binaria múltiple y regresión lineal simple.

#### **4.1.1 COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES Y MATERIA SECA DEL FRUTO DE PEPINO RESPECTO A LOS FACTORES DE INFLUENCIA ESTUDIADOS**

Se analizaron los efectos individuales de los factores ciclo de cultivo, mes, cultivar y tiempo de conservación; junto al efecto causado por sus interacciones entre ellos. La interacción se analizó en todas las combinaciones de dos factores (orden 2) para conocer la dependencia o independencia entre factores (presencia o no de interacción). De este modo se ha evitado el fenómeno de confusión entre factores asociado a interacciones de más de dos factores. En la Tabla 1 se puede observar que los contenidos totales en sólidos solubles y materia seca de los pepinos se afectaron por los factores cultivar, tiempo de conservación, el ciclo de cultivo y mes estudiado en ambos estudios. Además, para estas mismas variables se produjeron interacción en ambos estudios entre los factores cultivar - ciclo, cultivar - DDC, ciclo - mes de estudio y ciclo - DDC. El hecho de que la interacción sea significativa, indica que los factores no influyen de forma independiente, por lo que nos obliga a estudiar de forma combinada los efectos principales y sus interacciones. La interacción mostrada por los factores estudiados evidencia que el contenido en materia seca y sólidos

solubles totales entre los cultivares, mes y tiempo de conservación mostraron distinto comportamiento entre los dos ciclos de cultivo evaluados. Además, los sólidos solubles totales y materia seca durante los DDC no mostraron el mismo comportamiento en los cultivares evaluados. Por el contrario, no se produjeron interacciones entre los factores mes de estudio - DDC y cultivar - mes evaluado. Por tanto, los cultivares y los DDC tuvieron un comportamiento similar durante los meses de estudio.

Tabla 1. Efecto del ciclo de cultivo, mes de medida, tiempo de conservación y cultivar sobre los sólidos solubles totales (SST) y Materia Seca (MS) de los frutos de pepino.

	SST (°Brix)	MS (%)		SST (°Brix)	MS (%)
A: Cultivar			A: Cultivar		
Levantino	3,3b	4,07b	Braganza	3,7a	4,55a
Litoral	3,1c	3,87c	Valle	3,5b	4,25b
Montano	3,5a	4,32a			
Significación	***	***	Significación	***	***
B: Ciclo			B:Ciclo		
2018 - 19	3,2b	4,12b	2018 - 19	3,7a	4,60a
2019 - 20	3,4a	4,22a	2019 - 20	3,5b	4,29b
Significación	***	***	Significación	***	***
C: Mes <sup>(i)</sup>			C: Mes <sup>(ii)</sup>		
Octubre	3,5ab	4,16b	Diciembre	3,4b	4,15b
Noviembre	3,2bc	3,85c	Enero	4,0a	4,90a
Diciembre	3,1c	4,02c	Febrero	3,5b	4,30b
Enero	3,6a	4,43a			
Significación	***	***	Significación	***	***
D: DDR			D: DDR		
0	3,6a	4,44a	0	3,8a	4,65a
7	3,5b	4,29b	7	3,7b	4,50b
14	3,3c	4,10c	14	3,5c	4,29c
21	3,2d	3,96d	21	3,5c	4,24cd
28	3,0e	3,74e	28	3,4d	4,07d
Significación	***	***	Significación	***	***
A x B	***	***	A x B	***	***
A x C	n.s.	n.s.	A x C	n.s.	n.s.
A x D	***	***	A x D	**	*
B x C	***	***	B x C	***	***
B x D	***	***	B x D	*	*
C x D	n.s.	n.s.	C x D	n.s.	n.s.

Análisis de la varianza según el modelo:  $Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\tau)_{ik} + (\alpha\gamma)_{il} + (\beta\tau)_{jk} + (\beta\gamma)_{jl} + (\tau\gamma)_{kl} + \epsilon_{ijkl}$ . La nomenclatura n.s., \*, \*\*, \*\*\* indica no significativo o significativo para  $P \leq 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$ , respectivamente. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para  $P < 0,05$  según el test de LSD.

<sup>(i)</sup> Ciclo de cultivo cuya recolección va de octubre a enero.

<sup>(ii)</sup> Ciclo de cultivo cuya recolección va de diciembre a febrero.

En el segundo estudio (cultivares Braganza y Valle) produjeron valores de sólidos solubles totales y materia seca mayores que el primer estudio (cultivares Levantino, Litoral y Montano). El mes de enero fue el que mostró mayores valores en contenido total de materia seca y sólidos solubles. En cuanto a la evolución durante la poscosecha, los mayores sólidos solubles totales y materia seca se mostraron en el momento de recolección (0 DDC), y sus valores fueron

descendiendo progresivamente (y con diferencias significativas) durante el transcurso del tiempo de conservación a 7, 14, 21 y 28 DDC, respectivamente. En el estudio realizado en el periodo de octubre a enero, los sólidos solubles totales y materia seca a los 28 DDC, descendieron respectivamente un 16,7 % y 15,8 % con respecto a 0 DDC; lo que supuso un descenso diario del 0,6% de ambos parámetros. En el estudio sobre los cultivares Braganza y Valle el descenso a 28 DDC fue de 10,5 % para los SST y de 12,5 % para la MS con respecto a 0 DDC; lo que supuso un descenso cada día de conservación de 0,4 %, respectivamente (Tabla 1).

#### **4.1.2 RELACIÓN ENTRE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES Y LA MATERIA SECA EN FRUTOS DE PEPINO**

En la Tabla 1 se puede observar cómo la relación entre los valores de sólidos solubles totales y la materia seca entre los factores estudiados (cultivar, ciclo de cultivo, mes y tiempo de conservación) fue proporcionalmente similar. Por ejemplo, Montano con 3,5 °Brix y Braganza con 3,7 °Brix fueron los cultivares con los mayores sólidos solubles totales, y estos mismos cultivares produjeron la mayor concentración de materia seca en sus respectivos estudios (4,32 % y 4,55% respectivamente). Por el contrario, los cultivares con valores bajos en sólidos solubles totales, también produjeron % de materia seca bajos. Por tanto, los cultivares que mostraron mayores sólidos solubles totales, también lo hicieron para el porcentaje de materia seca; y viceversa. Además, el comportamiento asociado a que valores altos de sólidos solubles totales va ligado a valores elevados en materia seca; y sólidos solubles totales bajos se asocia igualmente a baja concentración de materia seca; ocurrió igualmente en los factores ciclo de cultivo, mes de estudio, y días de conservación de los dos estudios realizados (Tabla 1).

Para estudiar la relación existente entre la materia seca y los sólidos solubles totales de forma específica, se realizó un análisis de regresión. Entre estas dos variables se obtuvo que hay una relación lineal significativa. Se calculó el modelo de regresión lineal sobre todos los frutos de pepino recién recolectados (0 DDC) incluyendo todas las muestras del estudio (Figura 68 A). Este mismo análisis se realizó igualmente para los ciclos de cultivo 18-19 (Figura 68 B) y 19-20 (Figura 68 C), para el promedio de los cultivares Levantino, Litoral y Montano (Figura 68

D) y cultivares Braganza y Valle (Figura 68 E), y el promedio de octubre (Figura 68 F), noviembre (Figura 68 G), diciembre (Figura 68 H), enero (Figura 68 I) y febrero (Figura 68 J). En todos los casos se obtuvo que el modelo lineal era significativo, y presentaron coeficientes de correlación de Pearson próximos a uno ( $r^2 \geq 0,87$ ), lo que demuestra una buena adecuación a la recta lineal. Asimismo, los  $R^2$  fueron cercanos a 1 ( $R^2 \geq 0,76$ ; en el peor de los casos), lo que evidencia que, al menos, el 76% de la variabilidad de la materia seca de los pepinos lo explica el contenido total de sólidos solubles.

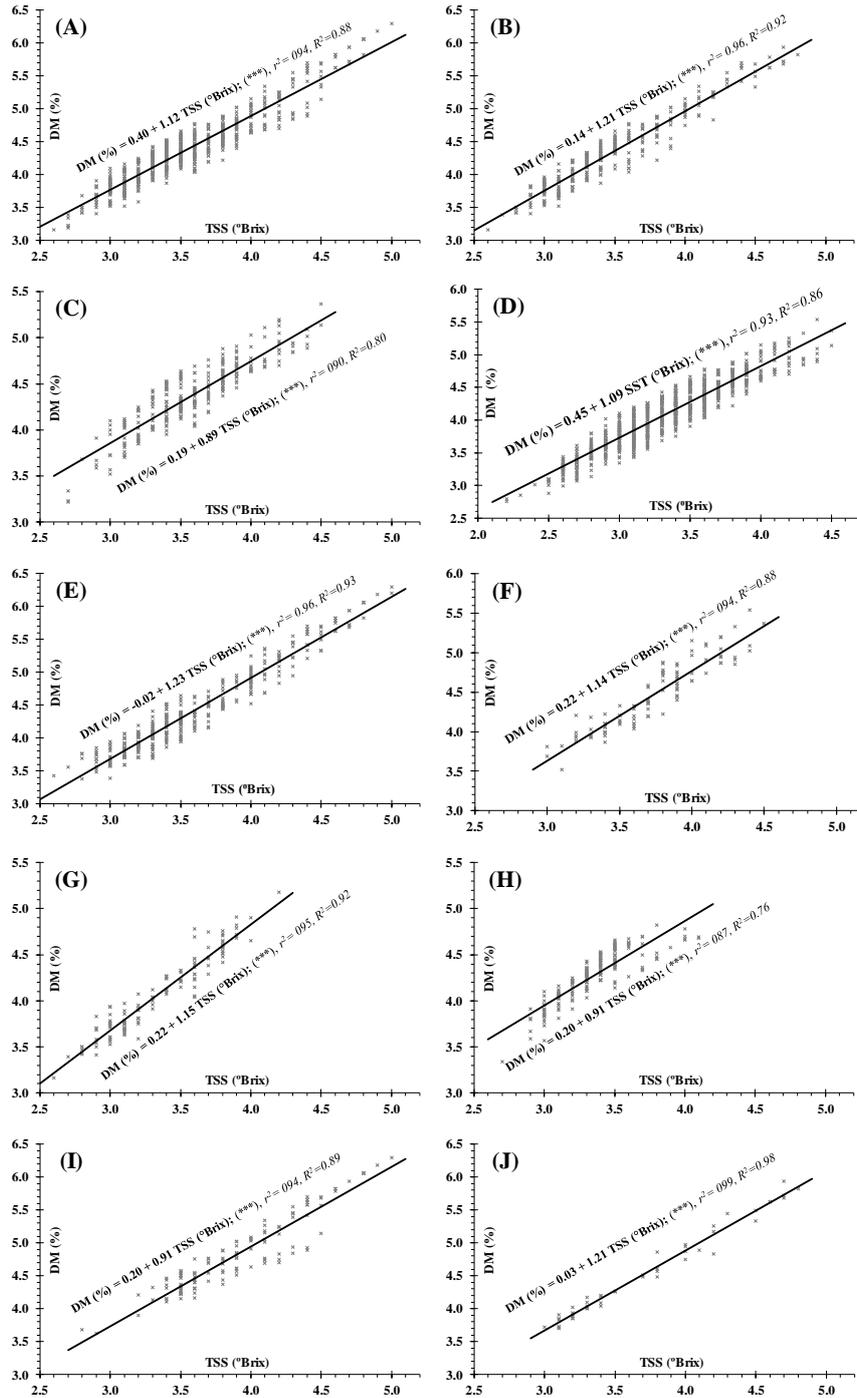


Figura 68. Relación entre sólidos solubles totales (SST, °Brix) y materia seca (MS, %) para los frutos en el momento de la recolección (0 DDC) de todas las muestras del estudio (A), promedio de las muestras del ciclo 18-19 (B), promedio de las muestras del ciclo 19-20 (C), promedio de las muestras de los cultivares Levantino, Litoral y Montano (D), promedio de las muestras de los cultivares Braganza y Valle (E), promedio de los meses de octubre (F), noviembre (G), diciembre (H), enero (I) y febrero (J). La nomenclatura n.s., \*, \*\*, \*\*\* indica que el modelo lineal es no significativo o significativo para  $P \leq 0,05, 0,01$  y  $0,001$ , respectivamente.

Por otro lado, se calculó el modelo de regresión lineal sobre todos los frutos de pepino evaluados en poscosecha, tanto para el estudio realizado en el periodo de octubre a enero (Figura 69A) como para el realizado de diciembre a febrero (Figura 69C). Los modelos obtenidos muestran una relación lineal estadísticamente significativa cuando en el ajuste del modelo se utilizan los resultados de todos los frutos evaluados a 0, 7, 14, 21 y 28 DDC. Además, sus coeficientes de correlación de Pearson ( $r^2$ ) y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron próximos a la unidad ( $r^2 \geq 0,91$  y  $R^2 \geq 0,83$ ). Este mismo análisis se realizó de forma independiente para los cultivares Levantino, Litoral y cv 1,3 (Figura 69B); y los cultivares Braganza y Valle (Figura 69D). En este caso también se obtuvo un ajuste lineal significativo con  $r^2$  y  $R^2$  próximos a uno ( $r^2 \geq 0,91$  y  $R^2 \geq 0,83$ ).

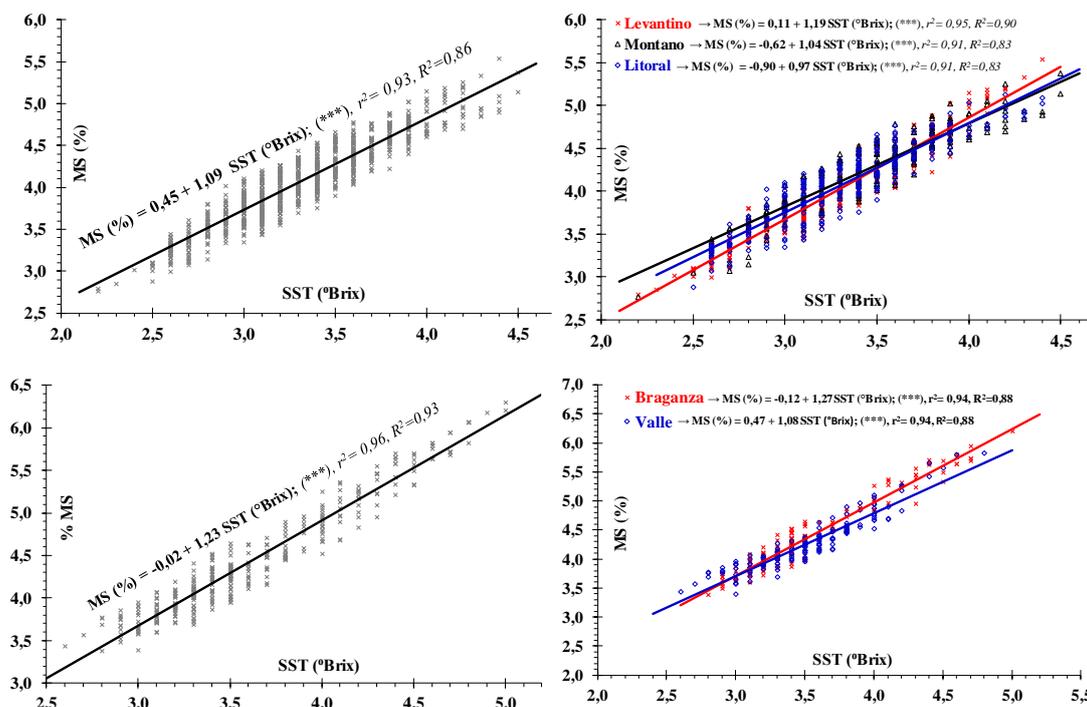


Figura 69. Relación entre sólidos solubles totales (SST, °Brix) y materia seca (MS, %) para todos los frutos estudiados a 0, 7, 14, 21 y 28 DDC en el estudio realizado de octubre a enero (A) y en el estudio de diciembre a febrero (C). Modelos de regresión lineal para los cultivares Levantino, Litoral y Montano (B) y cultivares Braganza y Valle (D). Los modelos (A) y (C) provienen de los frutos de todos los cultivares evaluados en cada estudio durante 0, 7, 14, 21 y 28 días de conservación (DDC). Los modelos (B) y (D) provienen de los frutos de cada cultivar evaluados en cada estudio durante 0, 7, 14, 21 y 28 DDC. La nomenclatura n.s., \*, \*\*, \*\*\* indica que el modelo lineal es no significativo o significativo para  $P \leq 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$ , respectivamente.

#### **4.1.3 PROBABILIDAD DE COMERCIALIZACIÓN EN FUNCIÓN DE LA MATERIA SECA DEL FRUTO EN RECOLECCIÓN**

Se realizaron análisis de regresión logística binaria múltiple considerando el tiempo de conservación (DDC) y la materia seca del fruto de pepino en el momento de la cosecha (% materia seca a 0 DDC). Para simplificar su estudio como factor de influencia, la materia seca en el momento de la cosecha de los frutos se agruparon en las variables continuas discretas de 3,5 %, 4,0%, 4,5%, 5,0% y 5,5%. Para estudiar la evolución de la probabilidad de comercialización durante el periodo de frigo-conservación (DDC) para cada grupo de porcentaje de materia seca de los pepinos, se aplicó de forma independiente la regresión logística binaria en cada estudio (Figura 70A y B). Además, para conocer este mismo comportamiento de forma general para todo el estudio, se realizó este mismo análisis considerando conjuntamente todos los cultivares evaluados (Tabla 2 y Figura 70C). En todos los casos se alcanzó un buen ajuste de los modelos logísticos, tal y como describen las pruebas de bondad de ajuste de los modelos (pruebas de Hosmer-Lemeshow, omnibus,  $R^2$  de Nagelkerke y  $R^2$  de Cox y Snell). Además, los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  de los modelos muestran un ajuste significativo para DDC y materia seca del fruto (estadístico de Wald,  $p < 0,001$ ). Esto demuestra que las variables explicativas (DDC y % de materia seca en recolección) influyen y explican el comportamiento en la variable respuesta (probabilidad de comercialización), por tanto,  $\beta \neq 0$  y  $\text{Exp}(\beta) \neq 1$  en todo el intervalo de confianza para  $\text{Exp}(\beta)$ . En el caso de los coeficientes  $\beta$  del periodo de poscosecha estudiados, los valores fueron negativos ( $\beta < 0$ ), lo que demuestra que la probabilidad de comercialización desciende cuando aumenta el tiempo de conservación de los frutos de pepino (Tabla 2 y Figura 70).

La relación y la fuerza de asociación entre variables dentro del análisis de regresión logística binaria, lo muestran los odds ratio. El odds ratio para los DDC fue de 0,721, lo que evidencia que por cada día de almacenamiento, la probabilidad de comercialización se reduce en un 27,9%. Por otro lado, si consideramos DDC fijo y 5,5% de materia seca como valor de referencia con respecto al resto de valores de materia seca; vemos que los coeficientes  $\beta$  del resto % de materia seca son negativos,

y su valor es menor, cuanto menor es el % de materia seca. Esto quiere decir que a medida que disminuye la materia seca del fruto en recolección, su probabilidad de comercialización también disminuye. Por tanto, pasar de 3,5% de materia seca del fruto en cosecha a 4,0%, aumenta 1,7 veces más la probabilidad de comercialización del fruto de pepino. El aumento en cosecha de la materia seca del fruto de 4,0% a 4,5%, incrementa 4,9 veces más la posibilidad de comercialización. Si el aumento de los frutos en recolección es de 4,5% a 5,0% o de 5,0% a 5,5%, aumenta respectivamente en 2,7 y 2,9 la probabilidad de que los frutos sean comercializables. Por tanto, incrementar el 0,5 % la materia seca del fruto en el momento de la recolección, puede aumentar (en promedio) 3 veces su probabilidad de comercialización (Tabla 2).

*Tabla 2. Estimación de parámetros de regresión logística múltiple para el tiempo de conservación (DDC) y la materia seca del fruto en recolección (% MS a ODDC) como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. Los resultados provienen de considerar conjuntamente todos los cultivares de los dos estudios.*

Variables	Coeficientes		p	Odds ratio (Exp( $\beta$ ))	95% IC para (Exp( $\beta$ ))	
	( $\alpha$ , $\beta$ )	Wald $\chi^2$			Inferior	Superior
Constante	8,313	916,449	<0,000			
DDC	-0,327	1287,436	<0,000	0,721	0,708	0,734
% MS a 0 DDC						
3,5%	-3,672	321,981	<0,000	0,025	0,017	0,038
4,0%	-3,159	191,648	<0,000	0,042	0,027	0,066
4,5%	-2,076	126,936	<0,000	0,125	0,087	0,180
5,0%	-1,071	27,060	<0,000	0,343	0,229	0,513
5,5%		Referente				

*DDC: Días de conservación. IC: Intervalo de confianza.*

*Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,091$ ).  $R^2$  de Cox y Snell: 0,520;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,720.*

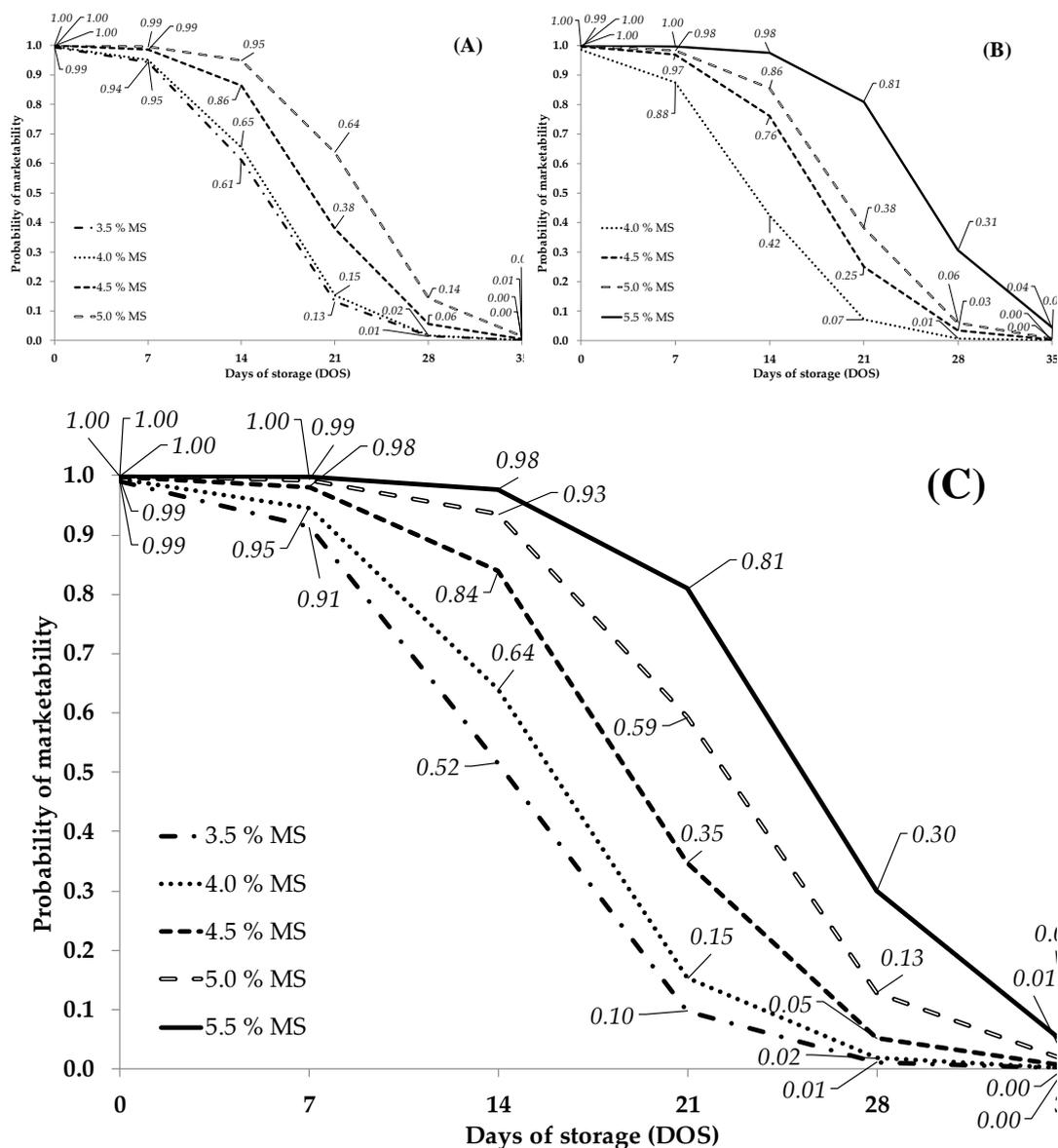


Figura 70. Evolución de la probabilidad de comercialización en función de la materia seca (MS, %) del fruto en recolección. Resultados del estudio realizado de octubre a enero (A), estudio de diciembre a febrero (B) y resultados considerando conjuntamente todos los cultivares de los dos estudios (C).

#### 4.1.4 MATERIA SECA Y SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES DEL FRUTO COMO INDICADORES DE VIDA COMERCIAL EN PEPINO

Los cultivares y los DDC tuvieron un similar comportamiento durante los meses de estudio, consecuencia de la ausencia de interacción entre los factores

cultivar - mes (Tabla 1). Por tanto, vamos a considerar el cultivar como principal lote de estudio entre todos los factores considerados a la hora de estudiar los SST y MS como indicadores de vida comercial. Los SST y MS del pepino en el momento de la cosecha mostraron diferencias significativas entre los cultivares estudiados, excepto entre los cultivares Levantino y Montano. Los mayores sólidos solubles totales y materia seca de cada estudio se obtuvieron en los cultivares Montano y Braganza. Los menores valores de estas variables se produjeron en Litoral y Valle (Figura 71).

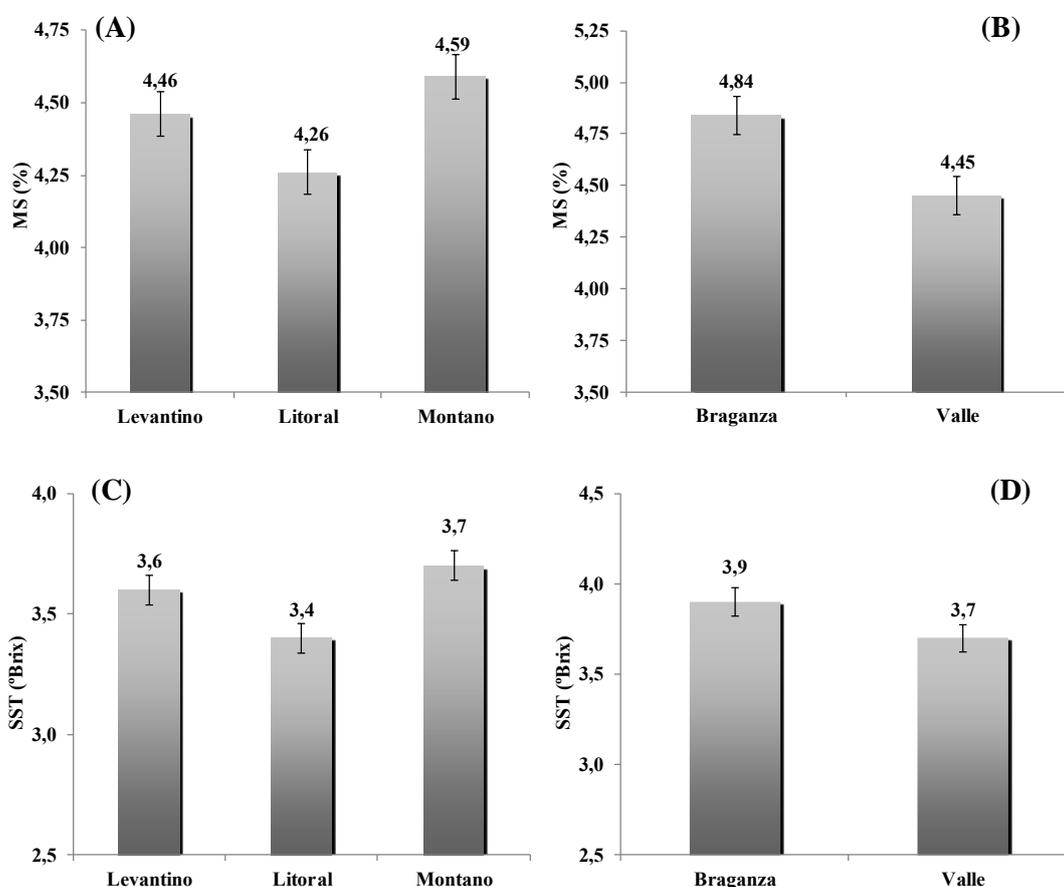


Figura 71. Efecto de los cultivares de pepino sobre la materia seca (MS, %) y los sólidos solubles totales (SST, °Brix) del fruto en el momento de recolección. Los resultados en (A) y (C) provienen del análisis de la varianza según el modelo  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$ . Los resultados en (B) y (D) provienen del análisis del test T-Student para dos muestras independientes. Las barras de error se corresponden con los valores de mínimas diferencias significativas según el test LSD.

En la Tabla 3 se muestran los parámetros de regresión logística binaria para el modelo múltiple cuando se considera el cultivar y el tiempo de conservación como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. La calidad del ajuste de los modelos obtenidos es buena, tal y como demuestran los indicadores de bondad del ajuste estudiados (Prueba de Hosmer y Lemeshow con  $p > 0,05$ ); (ómnibus con  $p < 0,05$ ; y valores altos para la  $R^2$  de Cox y Snell y  $R^2$  de Nagelkerke). Se muestran los resultados del ajuste del modelo para cada uno de los estudios de cultivares con el mismo periodo de cosecha. Los  $\beta$  para el factor cultivar de pepino fueron significativos ( $p < 0,05$ ) en todos los casos (excepto en Montano cuando Levantino era la variedad de referencia, y viceversa). Esto demuestra que la probabilidad de comercialización es estadísticamente distinta entre estos cultivares, por tanto, sus coeficientes  $\beta$  son distintos de cero, y el odds ratio distinto de uno. En cambio, esta probabilidad es igual entre los cultivares Levantino y Montano ( $p > 0,05$ ,  $\beta = 0$  y  $\text{Exp}(\beta) = 1$ ) y estadísticamente mayor a la probabilidad de comercialización de Litoral. El odds ratio entre cultivares, cuando se combina con el tiempo de conservación como factores de influencia, muestran la relación de la probabilidad de comercialización de un cultivar con respecto al de referencia durante el transcurso del tiempo de conservación. Por ejemplo, Levantino y Montano tuvieron 1,3 y 1,5 veces más probabilidad de comercialización que Litoral (Tabla 3).

Las diferencias en la probabilidad de comercialización entre los cultivares estudiados son coincidentes con las diferencias encontradas en la materia seca y los sólidos solubles totales en cosecha. Por ejemplo, los SST y la MS en el momento de recolección de Braganza fueron estadísticamente superiores a los de Valle (Figura 71), y la probabilidad de comercialización de Braganza fue 1,8 veces mayor que la de Valle (Tabla 3). Esta proporción entre la materia seca y los sólidos solubles totales con respecto a la probabilidad de comercialización se produjo igualmente entre los cultivares Levantino, Litoral y Braganza (Figura 71 y Tabla 3). Finalmente, los coeficientes  $\beta$  para el tiempo de conservación (DDC) fueron negativos ( $\beta < 0$ ), lo que indica que la posibilidad de comercialización desciende con el tiempo tal y como se puede observar en la Figura 72.

Tabla 3. Estimación de parámetros de regresión logística múltiple para los cultivares de pepino y tiempo de conservación como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización.

Variables	Coeficientes			Odds ratio (Exp (β))	95% IC para (Exp (β))	
	(α, β)	Wald $\chi^2$	p		Inferior	Superior
Constante	5,735	753,841	<0,000			
DDC	-0,295	867,075	<0,000	0,744	0,730	0,759
<u>Cultivar<sup>(i)</sup></u>						
Levantino	-0,138	1,007	0,316	0,871	0,666	1,140
Litoral	-0,430	9,663	0,002	0,650	0,496	0,853
Montano		Referente				
Constante	3,830	422,914	<0,000			
DDC	-0,233	536,903	<0,000	0,792	0,777	0,808
<u>Cultivar<sup>(ii)</sup></u>						
Braganza	0,571	17,941	<0,000	1,769	1,359	2,304
Valle		Referente				

DDC: Días de conservación. IC: Intervalo de confianza.

<sup>(i)</sup> Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,068$ ),  $R^2$  de Cox y Snell: 0,488;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,685.

<sup>(ii)</sup> Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,084$ ),  $R^2$  de Cox y Snell: 0,445;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,605.

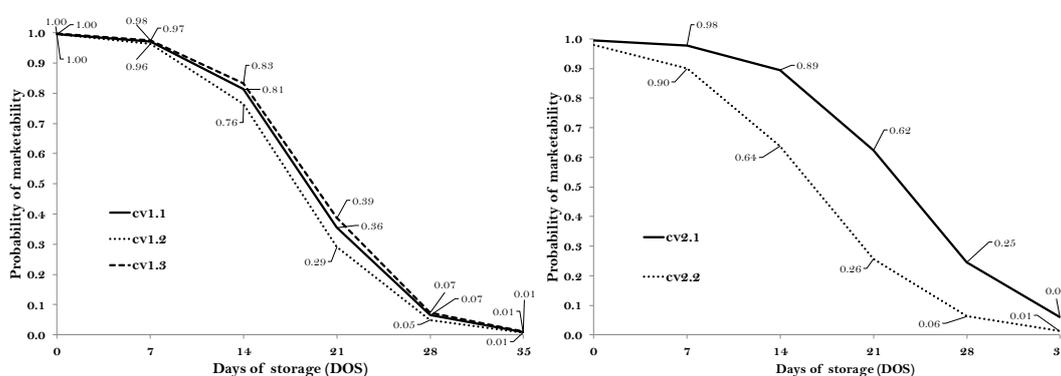


Figura 72. Evolución temporal de la probabilidad de comercialización de los cultivares de pepino.

Anteriormente hemos visto que la materia seca y sólidos solubles totales del fruto están linealmente relacionados y tienen una fuerte influencia en la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino (Figura 68, Figura 70 y Tabla 2). Además, los valores de estos parámetros descienden durante el transcurso de la poscosecha (Tabla 1). Igualmente, sus diferencias entre los distintos cultivares

también quedaron demostradas (Tabla 1 y Figura 71). Por tanto, para profundizar en estos aspectos, se estudió la probabilidad de comercialización de los cultivares basadas en el contenido en sólidos solubles totales y materia seca del pepino. Por un lado, se analizó el efecto combinado de la materia seca del fruto y el tipo de cultivar sobre la probabilidad de comercialización. Por otro lado, se hizo el mismo análisis para el efecto combinado del cultivar y los sólidos solubles totales del fruto. (Tabla 4 y Figura 73).

La calidad del ajuste de los parámetros de regresión obtenidos fue adecuada según muestran la prueba de Hosmer y Lemeshow, ómnibus,  $R^2$  de Cox y Snell y  $R^2$  de Nagelkerke. Los coeficientes  $\beta$  para la materia seca y sólidos solubles totales fueron significativos y mayores que cero, lo que demuestra que la probabilidad de comercialización aumenta cuando aumentan los SST y la MS de los frutos de pepino tal y como se observa la Figura 73. En el caso de los coeficientes  $\beta$  para los cultivares, fueron significativos, excepto los de Levantino cuando Montano era el cultivar de referencia, y viceversa. Esto demuestra que la materia seca y los sólidos solubles totales de los pepinos influyen en la mayor vida comercial de los distintos cultivares, aunque en el caso de Levantino y Montano tuvieron un comportamiento similar (Tabla 4 y Figura 73).

Los odds ratio entre cultivares cuando se combinan con la materia seca y el contenido en sólidos solubles totales como factores de influencia, muestran la relación de la probabilidad de comercialización de un cultivar con respecto al de referencia cuando aumenta o disminuye la concentración de sólidos solubles totales y materia seca en el fruto. En la Figura 74 se relaciona los odds ratio de los diferentes cultivares con respecto al promedio del contenido en sólidos solubles totales y materia seca del pepino en el momento de recolección. Se ha considerado como referencia el cultivar Litoral en un estudio y Valle en el otro por mostrar los menores odds ratio con respecto al resto de cultivares. El cultivar Braganza produjo un aumento de 8,8% de materia seca y 5,4% de sólidos solubles totales con respecto a Valle. Esto se relaciona con que Braganza mostrara 1,8 veces más probabilidad de comercialización que Valle. En Levantino se produjo, respectivamente, 4,7% y 5,9% más materia seca y sólidos solubles totales que en Litoral, y esto va asociado a un aumento de 1,3 veces más probabilidad de comercialización. En el caso de Montano

con respecto a Litoral (cultivar de referencia), el aumento en materia seca y sólidos solubles totales fue del 7,7% y 8,8%, respectivamente, produciendo un 1,5 veces más probabilidad de comercialización (Figura 74). En general, los cultivares con menor promedio de materia seca y sólidos solubles totales del fruto en cosecha estudiados muestran los menores odds ratio. A medida que aumenta el de sólidos solubles totales y la materia seca del pepino en cosecha, la odds ratio aumenta linealmente con respecto al valor del cultivar de referencia. Esto demuestra que, para los frutos de los cultivares estudiados, a mayor cantidad de sólidos solubles totales y materia seca en cosecha, mayor es la probabilidad de comercialización del fruto (Figura 74).

Tabla 4. Estimación de parámetros de regresión logística múltiple para la materia seca (MS, %), los sólidos solubles totales (SST, °Brix) y los cultivares de pepino como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. Los resultados provienen de considerar todos los valores de MS y SST a 0, 7, 14, 21 y 28 DDC.

Variables	Coeficientes			Odds ratio (Exp (β))	95% IC para (Exp (β))	
	(α, β)	Wald $\chi^2$	p		Inferior	Superior
Constante	-10,940	150,480	<0,000			
% MS	2,571	154,042	<0,000	13,079	8,715	19,629
<u>Cultivar</u> (i)						
Levantino	0,211	1,203	0,273	1,235	0,847	1,801
Litoral	0,700	11,989	0,001	2,013	1,355	2,992
Montano		Referente				
Constante	-5,375	38,119	<0,000			
% MS	1,267	39,209	<0,000	3,551	2,388	5,279
<u>Cultivar</u> (ii)						
Braganza	-0,558	5,678	0,017	0,572	0,362	0,906
Valle		Referente				
Constante	-8,503	125,515	<0,000			
SST	2,475	128,243	<0,000	11,888	7,745	18,246
<u>Cultivar</u> (iii)						
Levantino	0,098	0,273	0,601	1,103	0,764	1,593
Litoral	0,384	4,123	0,042	1,468	1,013	2,127
Montano		Referente				
Constante	-3,965	22,812	<0,000			
SST	1,133	23,672	<0,000	3,105	1,967	4,901
<u>Cultivar</u> (iv)						
Braganza	-0,364	4,056	0,048	0,695	0,449	0,977
Valle		Referente				

IC: Intervalo de confianza.

<sup>(i)</sup> Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,291$ ).  $R^2$  de Cox y Snell: 0,530;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,734.

<sup>(ii)</sup> Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,120$ ).  $R^2$  de Cox y Snell: 0,492;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,680.

<sup>(iii)</sup> Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,097$ ).  $R^2$  de Cox y Snell: 0,428;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,591.

<sup>(iv)</sup> Prueba de razón de verosimilitud (ómnibus;  $p < 0,000$ ). Prueba de Hosmer y Lemeshow ( $p = 0,059$ ).  $R^2$  de Cox y Snell: 0,467;  $R^2$  de Nagelkerke: 0,646.

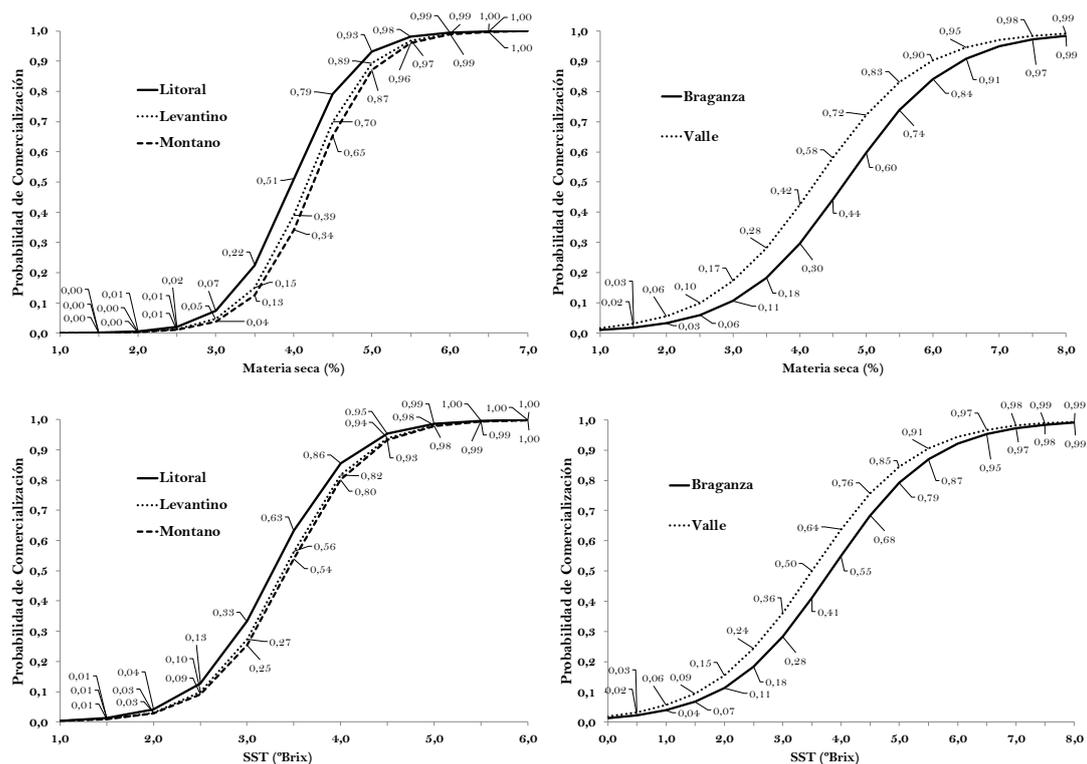


Figura 73. Efecto de la probabilidad de comercialización en función de los sólidos solubles totales (SST, °Brix) y materia seca (MS, %) del pepino durante su conservación, según se ve afectada por los cultivares de pepino.

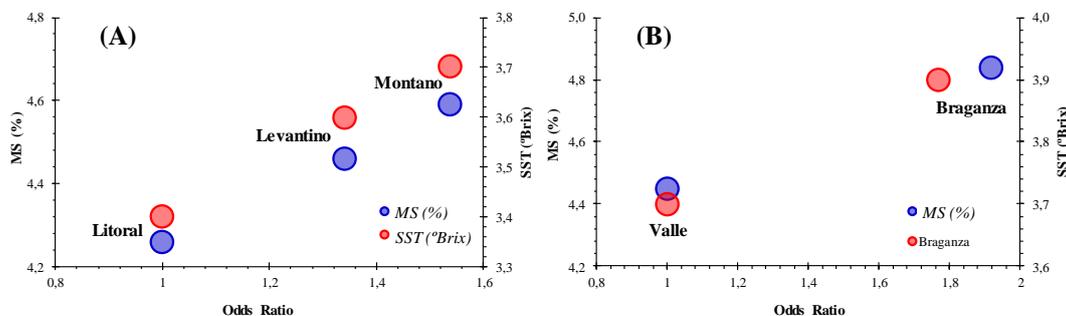


Figura 74. Relación entre odds ratio y la materia seca (MS, %) y los sólidos solubles totales (SST, °Brix) del fruto en recolección para los cultivares Levantino, Litoral y Montano (A) y cultivares Braganza y Valle (B). Los resultados provienen del modelo de regresión logística binaria múltiple cuando se considera el cultivar y el tiempo de conservación como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino. Se han considerado como referencia (odds ratio =1) los cultivares Litoral y Valle en sus correspondientes estudios.

## **4.2 DISCUSIÓN**

La materia seca y sólidos solubles totales en los pepinos recién cosechados mostraron diferencias entre los ciclos y meses de cultivo, los cultivares evaluados y durante el tiempo de conservación. En el estudio que va de diciembre a febrero se produjeron más sólidos solubles totales y materia seca que el estudio que va de octubre a enero. Nuestros resultados corroboran lo ya indicado por Gajc-Wolska et al. (2010) los cuales obtuvieron mayor materia seca y concentración de azúcares totales en los frutos cosechados en primavera que los recolectados en otoño. Igualmente, Gómez et al. (2003) obtuvieron mayor concentración de materia seca en frutos de pepino recolectados en primavera con respecto a los cosechados en invierno.

En nuestra investigación, una vez que los frutos de pepino fueron recolectados, los SST y la MS descendieron progresivamente durante el tiempo de conservación. El ritmo de descenso de sólidos solubles totales y materia seca diario en ambos estudios fue del 0,5%. Nuestros resultados son coincidentes con los reportados por otros autores (Verheul et al., 2013; Adoma & Maalekuu, 2015; Nasef, 2018; Kahramanoğlu & Usanmaz, 2019). Por ejemplo, Kahramanoğlu & Usanmaz (2019) observaron que el contenido en sólidos solubles totales de los pepinos produjeron una tendencia a la baja durante 24 días de almacenamiento. Gómez-López et al. (2006) obtuvieron un descenso significativo de los sólidos solubles totales a 14 días después de la cosecha con respecto al valor medido en cosecha. Igualmente, Nasef (2018) obtuvo descenso de los sólidos solubles totales en frutos de pepino durante el periodo de conservación.

La relación lineal entre los SST y la MS ha sido descrita por diferentes autores en mango (Nordey et al., 2019), kiwi (Harker et al., 2009), manzana (McGlone et al., 2003; Palmer et al., 2010). En cambio, esta relación en los pepinos para consumo en fresco no ha sido estudiada explícitamente. En el presente estudio se ha obtenido que la relación entre la materia seca y los sólidos solubles totales de los frutos de pepino es lineal. Esta relación se mantiene durante la poscosecha hasta alcanzar la senescencia. Por tanto, cuando un fruto de pepino tiene valores bajos de sólidos solubles totales, también tiene un % de materia seca bajo y viceversa; y esto ocurre durante todo el periodo de conservación hasta el

consumo. Nuestros resultados están en sintonía con la información reportada por otros autores, pese a que ellos no estudiaron la relación entre estas variables de forma específica. Davies & Kempton (1976) estudiaron (entre otros) los cambios de la materia seca, los sólidos insolubles en alcohol y sólidos solubles en alcohol durante el crecimiento, maduración y senescencia de frutos de pepino cultivados en invernadero. En sus resultados se puede apreciar cómo la evolución de la materia seca sigue un patrón lineal al de los sólidos solubles. Verheul et al. (2013) estudiaron la evolución poscosecha de pepinos de diferentes orígenes y los resultados de la materia seca y los sólidos solubles totales que obtuvieron muestran una relación lineal. Esto ocurrió igualmente en los estudios de Huang et al. (2009) y Colla et al. (2012, 2013).

Cuanto mayor es el tiempo transcurrido desde que los pepinos son recolectados hasta que son consumidos, mayores serán las pérdidas y desperdicios que se producen (Kader, 2008). En nuestro estudio, la concentración de materia seca del fruto en el momento de recolección y el tiempo de conservación influyen y determinan la vida comercial de los frutos de pepino. Obtuvimos que cuanto mayor tiempo transcurre desde la cosecha al consumo, menores serán las posibilidades de comercialización de los frutos. Además, el mayor o menor % de materia seca del fruto en el momento de recolección puede determinar la mayor o menor vida comercial de los frutos de pepino. Esto puede afirmarse igualmente con respecto a los sólidos solubles totales debido a la alta relación lineal entre los sólidos solubles totales y la materia seca. En término medio, se ha obtenido que podemos aumentar 3 veces la probabilidad de comercialización, si aumenta 0,5% la materia seca del fruto en recolección. Estos resultados coinciden parcialmente con Díaz-Pérez et al. (2009a), los cuales demostraron el uso de la regresión logística múltiple para estudiar la vida poscosecha en pepino. En sus resultados, al igual que los obtenidos en el presente estudio, indican que el tiempo de conservación es uno de los principales factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización en esta especie vegetal. Además, en el presente estudio también se demuestra la influencia de la materia seca y sólidos solubles totales sobre la longevidad comercial del fruto.

Los cultivares estudiados tuvieron distintos valores de sólidos solubles totales y materia seca en el momento de la recolección. Esto es coincidente con otros trabajos donde se demuestra que el potencial genético entre cultivares para producir materia seca y sólidos solubles totales en frutos puede ser distinto (Gajc-Wolska et al., 2010; Adoma & Maalekuu, 2015). Además, en el estudio de los cultivares del presente trabajo se ha encontrado que valores altos en los sólidos solubles totales y materia seca de los pepinos en cosecha van asociados a mayor probabilidad de comercialización, y viceversa.

La odds ratio entre cultivares de pepino es la relación de las probabilidades de comercialización de un cultivar con respecto al de referencia (Díaz-Pérez et al., 2009a). La interpretación estándar considera que las probabilidades estimadas de éxito entre dos grupos son OR-veces más grandes en el grupo 1 que en el grupo 2 (Bilder & Loughin, 2014). En nuestro estudio se calcularon los odds ratio entre cultivares y el tiempo de conservación (DDC) como factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización. Este enfoque nos muestra la relación de la probabilidad de comercialización de un cultivar con respecto al de referencia durante el transcurso del tiempo de conservación. Se obtuvo que Levantino y Montano tuvieron 1,3 y 1,5 veces más probabilidad de comercialización que Litoral. Asimismo, la de Braganza fue 1,8 veces mayor que la de Valle. Por tanto, la calidad del fruto de pepino durante la conservación está influenciada por el tipo de cultivar. Esta afirmación coincide con los resultados mostrados por Schouten et al. (2002), los cuales obtuvieron distinta vida comercial entre los 3 cultivares estudiados. Igualmente, Adoma & Maalekuu (2015) obtuvieron diferencias en la vida útil entre los 3 cultivares de su estudio. Por otro lado, se han obtenido los odds ratio entre cultivares combinados con la concentración de sólidos solubles totales y materia seca como factores de influencia, para mostrar la relación de la probabilidad de comercialización de un cultivar con respecto al de referencia cuando aumenta o disminuye la concentración de SST y MS en el fruto. Nuestros resultados muestran que a medida que aumenta la del contenido total en sólidos solubles y materia seca del fruto en cosecha, la odds ratio aumenta linealmente con respecto al valor del cultivar de referencia, por tanto, aumenta la probabilidad de comercialización. Esto coincide con Schouten et al. (2002) y Adoma & Maalekuu (2015) que obtuvieron mayor vida comercial en unos cultivares frente a otros, aunque en las hipótesis de

sus estudios no consideraron la materia seca y los sólidos solubles totales como factores de influencia sobre la vida comercial.



## **5.- CONCLUSIONES**



## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

**L**as principales conclusiones que se destilan del presente trabajo de investigación son:

1. Los ciclos y meses de cultivo, tipo de cultivar y tiempo de conservación afectan a la materia seca y sólidos solubles totales del fruto. Una vez que los frutos son cosechados, la concentración de sólidos solubles totales y materia seca desciende progresivamente durante su conservación. Este descenso será mayor, cuanto mayor sea el tiempo transcurrido desde la cosecha al consumo. Además, la relación entre sólidos solubles totales y materia seca es lineal y esta relación se mantiene desde la recolección hasta la senescencia.
2. El tiempo de conservación y la concentración total de sólidos solubles y materia seca del pepino en el momento de recolección son factores de influencia sobre la probabilidad de comercialización de los frutos de pepino durante la poscosecha y en condiciones de frigoconservación. La mayor concentración de sólidos solubles totales y materia seca en cosecha produce una mayor vida comercial.
3. El contenido total en sólidos solubles y la materia seca del pepino medidos en cosecha, podrían ser utilizados como indicadores para identificar mayor o menor vida comercial en frutos de pepino. Estos indicadores podrían ser utilizados (entre otros) para el control de lotes o para identificar cultivares en programas de mejora con una “potencial” mayor vida comercial. Además, pueden servir de base para el desarrollo del control de calidad y vida comercial mediante métodos de medida no destructivos.



## **6.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



## **CAPÍTULO 6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

**A** partir de los estudios realizados en la presente tesis, se pueden desarrollar las siguientes líneas de investigación para estudios futuros:

1. El contenido total en sólidos solubles y la materia seca del pepino pueden servir de base para el desarrollo del control de calidad y vida comercial mediante métodos de medida no destructivos como, por ejemplo, tecnología NIR.
2. Realizar estos mismos estudios en otras especies tales como pimiento, calabacín, en los cuales no se tienen identificados indicadores de vida comercial durante la poscosecha. En estos casos, el contenido en sólidos solubles totales y la materia seca de estos frutos podrían ser indicadores como los demostrados en la presente tesis.



## **7.- BIBLIOGRAFÍA**



## **CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Adoma, P., Maalekuu, B. K. (2015). The influence of some postharvest treatments on staked and non-staked cucumber fruit quality during storage at ambient room temperature. *Acta Horticulturae*, (1091), 133–140.
- Agresti, A. (1996). *An Introduction to Categorical Data Analysis*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: Hoboken: NJ, USA; p. 372; ISBN 978-0-471-22618-5.
- Ahmad, M. S., Siddiqui, M. W. (2015). Postharvest factors influencing postharvest quality of fresh produce. In: Ahmad, M.S., Siddiqui, M.W. (Eds.), *Postharvest Quality Assurance of Fruits: Practical Approaches for Developing Countries*. Springer, Switzerland.
- Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., Babiker, E. E. (2012). Effect of gum arabic edible coating on weight loss, firmness and sensory characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany* 44, 1439–1444.
- Álvarez, J. (2017). El futuro de la exportación española de frutas y hortalizas. *Distribución y consumo* 27(150), 32-36.
- AOAC. (1999). AOAC official method 920.151. Solids (total) in fruits and fruit products. In *official methods of analysis of AOAC International*, sixteenth ed. 5th Revision, (Chapter 37), p. 5.
- Bahnasawy, A.H.; Khater, E. (2014). Effect of wax coating on the quality of cucumber fruits during storage. *Journal of Food Processing & Technology* 5(339), 2.
- Batt, J. P. (2006). *Quality Management: Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 166 p.
- Bautista-Baños, S. (2014). *Postharvest Decay: Control Strategies*. Elsevier. p.371.
- Becker, B. R.; Fricke, B. A. (1996). Transpiration and respiration of fruits and vegetables. *New Developments in Refrigeration for Food Safety and Quality*, 110–121.

- Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B., Chen, Z.E., Lurie, S. (1983). Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell pepper fruits by alleviation of water stress. *Plant Physiol.* 73, 87-93.
- Ben-Yehoshua, S., Weichmann, J. (1987). Transpiration, water stress, and gas exchange. *Postharvest Physiology of Vegetables*. Marcel Dekker, New York, pp. 113-170.
- Bhande, S. D.; Ravindra, M. R.; Goswami, T. K. (2008). Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering* 87(1), 116-123.
- Bhansawi, A. A., Khater, E.-S. G. (2012). Effect of wax coating on the quality of cucumber fruits during storage. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 29(4), 1271-1294.
- Bilder, C. R., Loughin, T. M. (2014). *Analysis of Categorical Data with R*.
- Biswas, P., Brummell, D. A. (2019). Chilling Injury. *Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables*, 61-88.
- Bourne, M.C. (1977). Post-harvest Food Losses - The Neglected Dimension in Increasing the World Food Supply. New York, Cornell University International Agriculture, 53 p.
- Brady, C. J. (1987). Fruit ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38, 155-178.
- Brecht, P.E. (1980). Use of controlled atmospheres to retard deterioration of produce. *Food Technol.* 34(3), 45-50.
- Breene, W. M.; Davis, D. W.; Chou, H. (1972). Texture profile analysis of cucumbers. *Journal of Food Science*, 37(1), 113-117.
- Brockett, B.; Brockett, S.M. (1995). Quality management: Implementing the best ideas of the masters. *Journal For Healthcare Quality*, 17(5), 34.
- Buzby, J. C., Hyman, J., Stewart, H., Wells, H. F. (2011). The Value of Retail- and Consumer-Level Fruit and Vegetable Losses in the United States. *Journal of Consumer Affairs*, 45(3), 492-515.

- Cabrera, R. M. and Saltveit, M. E. (1990). Physiological response to chilling temperatures of intermittently warmed cucumber fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115, 256–261.
- Cabrera, R. M., Saltveit, M. E. (1990). Physiological response to chilling temperatures of intermittently warmed cucumber fruit. *J. Amer. Soc. Horti. Sci.* 115:256-261.
- Cabrera, R.M., Saltveit, M.E., Owens, K. (1992). Cucumber cultivars differ in their response to chilling temperatures. *J. Amer. Soc. Horti. Sci.* 117:802-807.
- Cantwell, M., Kasmire, R.F. (2002). Postharvest handling systems: Fruit vegetables. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest quality of horticultural crops*. University of California Publications, Oakland, CA, USA.
- Cappellini, R.A.; Ceponis, M.J. (1984). Postharvest losses in fresh fruits and vegetables. In Moline, H.E. ed., *Postharvest pathology of fruits and vegetables: Postharvest losses in perishable crops*. Oakland: Univ. Calif. Bull. 1914, 24-30.
- Carnide, V.; Barroso, M. D. R. (2006). Las cucurbitáceas: bases para su mejora genética. *Horticultura internacional* 53, 16.
- Cen, H.; Lu, R.; Zhu, Q.; Mendoza, F. (2016). Nondestructive detection of chilling injury in cucumber fruit using hyperspectral imaging with feature selection and supervised classification. *Postharvest Biology and Technology* 111, 352-361.
- Choi, J. W. (2015). Changes of postharvest quality in ‘Bagdadagi’ cucumber (*Cucumis sativus* L.) by storage temperature. *J. Food Nutr. Sci.* 3, 143–147.
- Clement, J., Novas, N., Gazquez, J.-A., Manzano-Agugliaro, F. (2013). An active contour computer algorithm for the classification of cucumbers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 92, 75–81.
- Colla, G., Roupheal, Y., Jawad, R., Kumar, P., Rea, E., Cardarelli, M. (2013). The effectiveness of grafting to improve NaCl and CaCl<sub>2</sub> tolerance in cucumber. *Scientia Horticulturae*, 164, 380–391.

- Colla, G., Roupael, Y., Rea, E., Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae*, 135, 177–185.
- Concellón, 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(3), 389-396.
- Cortbaoui, P. (2005). Assessment of precooling technologies for sweet corn. (M.Sc.), McGill University, Montreal, Canada. 106 p.
- Cox, D. R., Snell, E. J. (1989). *Analysis of Binary Data*, 2nd ed. London: Chapman and Hall.
- Crisosto, C. H.; Garner, D.; Doyle, J.; Day, K. R. (1993). Relationship between fruit respiration, bruising susceptibility and temperature in sweet cherries. *HortSci.* 28, 132–135.
- Dan, H., Okuhara, K., Kohyama, K. (2003). Discrimination of cucumber cultivars using a multiple-point sheet sensor to measure biting force. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(13), 1320–1326.
- Dan, H., Okuhara, K., Kohyama, K. (2004). Visualization of planar stress distributions in cucumber cultivars using a multiple-point sheet sensor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(10), 1091–1096.
- Dan, H., Okuhara, K., Kohyama, K. (2005). Mechanical stress distributions in cross-sections of cucumber cultivars during the fracture process. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 26–34.
- Davies, J. N., Kempton, R. J. (1976). Some changes in the composition of the fruit of the glasshouse cucumber (*Cucumis sativus*) during growth, maturation and senescence. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 27(5), 413–418.
- DeEll, J. R., Vigneault, C., Lemerre, S. (2000). Water temperature for hydrocooling field cucumbers in relation to chilling injury during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 18(1), 27–32.

- Dhall, R. K., Mahajan, B. V. C., Garg, A., Sharma, S. R. (2010). Evaluation of shrink wrapping on shelf life and quality of cucumber during different storage conditions. *Acta Horticulturae*, (877), 403–410.
- Dhall, R. K., Sharma, S. R., Mahajan, B. V. C. (2011). Effect of shrink wrap packaging for maintaining quality of cucumber during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 495–499.
- Díaz-Pérez, J. C. (2019). Transpiration. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 157–173.
- Díaz-Pérez, M., Carreño-Ortega, Á., Gómez-Galán, M., Callejón-Ferre, Á.-J. (2018). Marketability Probability Study of Cherry Tomato Cultivars Based on Logistic Regression Models. *Agronomy*, 8(9), 176.
- Díaz-Pérez, M., Carreño-Ortega, Á., Salinas-Andújar, J.-A., Callejón-Ferre, Á.-J. (2019a). Application of Logistic Regression Models for the Marketability of Cucumber Cultivars. *Agronomy*, 9(1), 17.
- Díaz-Pérez, M., Carreño-Ortega, Á., Salinas-Andújar, J.-A., Callejón-Ferre, Á.-J. (2019b). Logistic Regression to Evaluate the Marketability of Pepper Cultivars. *Agronomy*, 9(3), 125.
- Dong, J., Yu, Q., Lu, L., Xu, M. (2012). Effect of yeast saccharide treatment on nitric oxide accumulation and chilling injury in cucumber fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 68, 1–7.
- Du Chatenet, C., Latché, A., Olmos, E., Ranty, B., Charpentreau, M., Ranjeva, R., Pech, J.C., Graziana, A. (2000). Spatial-resolved analysis of histological and biochemical alterations induced by water-soaking in melon fruit. *Physiologia Plantarum* 110, 248–255.
- Elansari, A. M., Fenton, D. L., Callahan, C. W. (2019b). Precooling. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 161–207.
- Elansari, A. M., Siddiqui, M. W. (2016). Recent recent advances in postharvest cooling of horticultural produce. In: Siddiqui Wasim, M.W. (Ed.), *Postharvest Management of Horticultural Crops Practices for Quality Preservation*. Chapter 1. Apple Academic Press.

- Elansari, A. M., Yahia, E. M., Siddiqui, W. (2019a). Storage Systems. Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, 401–437.
- El-Goorani, M. A.; Sommer, N. F. (1981). Effects of modified atmospheres on postharvest pathogens of fruits and vegetables. *Hortic. Rev.* 3, 412–461.
- Erkan, M., Dogan, A. (2019). Harvesting of Horticultural Commodities. Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, 129–159.
- Esquinas-Alcazar, J. T., Gulick, P. J. (1983). Genetic resources of Cucurbitaceae. A global report. IBPGR Secretariat. Roma.
- Eurostat. (2020). Crop production in EU standard humidity [Last update: 19-11-2020]. Available at: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> Accessed November 29, 2020.
- FAO. (2007). Safety and quality of fresh fruit and vegetables: a training manual for trainers. New York and Geneva: United Nations.
- FAO. (2013). Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources : Summary Report. <http://site.ebrary.com/id/10815985>.
- FAO. (2018). Gender and food loss in sustainable food value chains – A guiding note. Rome. Available in: <http://www.fao.org/3/I8620EN/i8620en.pdf>.
- Faostat. (2020). Crops: Production/Yield quantities of Cucumbers and gherkins in World. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> Accessed November 29, 2020.
- FAO-World Bank. (2010). Reducing post-harvest losses in grain supply chains in Africa. Report of FAO-World Bank workshop held from 18-19th March.
- Fernández-Trujillo, J. P., Martínez, J. A. (2012). Ultrastructure of the onset of chilling injury in cucumber fruit. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 80, 100–110.
- Fernández-Trujillo, J. P., Obando, J., Martínez, J. A., Alarcón, A. L., Eduardo, I., Arús, P., and Monforte, A. J. (2007). Mapping fruit susceptibility to postharvest physiological disorders and decay using a collection of near-

- isogenic lines of melon. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132, 739–748.
- Fernández-Trujillo, J. P., Obando, J., Martínez, J. A., Alarcón, A. L., Eduardo, I., Arús, P., Monforte, A. J. (2007). Mapping fruit susceptibility to postharvest physiological disorders and decay using a collection of near-isogenic lines of melon. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132, 739–748.
- Fernández-Trujillo, J. P., Obando-Ulloa, J. M., Martínez, J. A., Moreno, E., García-Mas, J., and Monforte, A. J. (2008). Climacteric and non-climacteric behavior in melon fruit: 2. Linking climacteric pattern and main postharvest disorders and decay in a set of near-isogenic lines. *Postharvest Biology and Technology* 50, 125–134.
- 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(2), 99-119.
- Gajc-Wolska, J., Kowalczyk, K., Bujalski, D. (2010). The effect of cultivation term, substrate and cultivar on chemical composition of cucumber fruit (*Cucumis Sativus* L.) in greenhouse production. *Acta Horticulturae*, (877), 239–244.
- Giovannoni, J. (2001). Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52, 725–749.
- Girardi, C. L., Corrent, A. R., Lucchetta, L., Zanuzo, M. R., da Costa, T. S., Brackmann, A., Twyman, R. M., F. R. Nora, Nora, L., Silva, J. A., Rombaldi, C. V. (2005). Effect of ethylene, intermittent warming and controlled atmosphere on postharvest quality and the occurrence of woolliness in peach (*Prunus persica* cv. Chiripá) during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 38, 25–33.
- Glowacz, M., Colgan, R., Rees, D. (2015). Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 1–8.

- Golden, K.D.; Williams, O.J.; Dunkley, H.M. (2014). Ethylene in Postharvest Technology: A Review. *Asian Journal of Biological Sciences* 7, 135-143.
- Golob, P.; Farrell, G.; Orchard, J.E. (2002). *Postharvest science and technology, principles and practices*: Blackwell Sciences.
- Gómez, M. D., Baille, A., González-Real, M. M., Mercader, J. M. (2003). Dry matter partitioning of greenhouse cucumber crops as affected by fruit load. *Acta Horticulturae*, (614), 573–578.
- Gómez-López, M. D., Fernández-Trujillo, J. P., Baille, A. (2006). Cucumber fruit quality at harvest affected by soilless system, crop age and preharvest climatic conditions during two consecutive seasons. *Scientia Horticulturae*, 110(1), 68–78.
- Gorris, L.G.M.; Peppelenbos, H. Gorris, L.G.M.; Peppelenbos, H.W. (1992). Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. *HortTechnology* 2, 203–209.
- Grierson, D. (1987). Senescence in fruits. *HortScience* 22, 859–862.
- Grolleaud, M. (2002). Post-harvest losses: Discovering the full story. From <http://www.fao.org/docrep/004/AC301E/AC301E00.HTM>. Fecha de consulta: 18/08/2018.
- Gross, K. C.; Yi Wang, C.; Saltveit, M. (2014). *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*: USDA, Agriculture Handbook Number 66.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste - Extent, causes and prevention*. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). 37 p. ISBN 978-92-5-107205-9.
- Gustavsson, J.; Cederberg, C.; Sonesson, U. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Alcances, causas y prevención*. FAO, Roma.

- Hakim, A.; Purvis, A.C.; Mullinix, B.G. (1999). Differences in chilling sensitivity of cucumber varieties depend on storage temperature and the physiological dysfunction evaluated. *Postharvest Biology and Technology* 17, 97–104.
- Handley, L. W., Pharr, D. M., McFeeters, R. F. (1983). Carbohydrate Changes during Maturation of Cucumber Fruit. *Plant Physiology*, 72(2), 498–502.
- Hardenburg, R. E., Watada, A. E., and Wang, C. Y. (1986). "The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks." USD A Agriculture Handbook No. 66. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
- Harker, F. R., Carr, B. T., Lenjo, M., MacRae, E. A., Wismer, W. V., Marsh, K. B., Williams, M., White, A., Lund, C. M., Walker, S. B., Gunson, F. A., Pereira, R. B. (2009). Consumer liking for kiwifruit flavour: A meta-analysis of five studies on fruit quality. *Food Quality and Preference*, 20(1), 30–41.
- Hertog, M. L. A. T. M., Tijskens, L. M. M., Pak, P. S. (1997). The effects of temperature and senescence on the accumulation of reducing sugars during storage of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers: a mathematical model. *Postharvest Biology and Technology*, 10, 67–79.
- HLPE. 2014. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome. Available in: [www.fao.org/3/a-i3901e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i3901e.pdf).
- Hosmer, D. W.; Lemeshow, S.; Sturdivant, R. X. 2013. *Applied Logistic Regression*: John Wiley & Sons: Hoboken: NJ, USA, Volume 398, p. 500; ISBN 978-0-470-58247-3.
- Hu, L.-P., Meng, F.-Z., Wang, S.-H., Sui, X.-L., Li, W., Wei, Y.-X., Sun, J.-L. Zhang, Z.-X. (2009). Changes in carbohydrate levels and their metabolic enzymes in leaves, phloem sap and mesocarp during cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit development. *Scientia Horticulturae*, 121(2), 131–137.
- Huang, Y., Tang, R., Cao, Q., Bie, Z. (2009). Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress. *Scientia Horticulturae*, 122(1), 26–31.

- Hung, D.V.; 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(4), 325-330.
- Hurr, B. M., Huber, D. J., Vallejos, C. E., Talcott, S. T. (2009). Developmentally dependent responses of detached cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit to exogenous ethylene. *Postharvest Biology and Technology*, 52(2), 207–215.
- Istúriz-Zapata, M. A., Hernández-López, M., Correa-Pacheco, Z. N., Barrera-Necha, L. L. (2020). Quality of cold-stored cucumber as affected by nanostructured coatings of chitosan with cinnamon essential oil and cinnamaldehyde. *LWT*, 123, 109089.
- Javanmardi, J. (2010). *Growing Organic Vegetables*. Mashad University Press. Mashad, Iran.
- Javanmardi, J., Pessarakli, M. (2019). Cucurbits. *Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables*, 661–690.
- Jolliffe, P. A., Lin, W. C. (1997). Predictors of shelf life in long English cucumber. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(5), 686–690.
- Jordan, R. B., Walton, E. F., Klages, K. U., Seelye, R. J. (2000). Postharvest fruit density as an indicator of dry matter and ripened soluble solids of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 20(2), 163–173.
- Kader, A. A. (2002b). Postharvest biology and technology: An overview. En A. A. Kader (Ed.), *Postharvest technology of horticultural crops* (3rd ed., pp. 39–47). Oakland: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, special publication 3311.
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863–1868.
- Kader, A. A., Kasmire, R. F. (1984). Effects of ethylene on horticultural commodities during postharvest handling. *Produce Marketing Almanac Supplement* 5, 7.

- Kader, A., s.f. UC Davis, Postharvest Technology. Maintaining Produce Quality and Safety. [En línea] Available at [Último acceso: 4 enero 2021].: <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/CucumberPhotos/?repository=29922&a=83291>.
- Kader, A.A. (1983). Postharvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries. In *Post-harvest Physiology and Crop Preservation* pp. 455-470 (M. Lieberman, ed.), Plenum Press, London.
- Kader, A.A. (1986). Effects of postharvest handling procedures on tomato quality. *Acta Hort.* 190, 209-222.
- Kader, A.A. (2002a). Standardization and inspection of fresh fruits and vegetables. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest quality of horticultural crops*. University of California Publications, Oakland, CA, USA.
- Kader, A.A. (2004). Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. In *V International Postharvest Symposium*. Verona (Italia), *Acta Horticulturae* 682, ISHS. 682, 2169-2176.
- Kader, A.A. (2005). Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *Proceedings of the 5th International Postharvest Symposium*, Vols 1-3(682). *Acta Horticulturae*. 682, 2169-2176.
- Kahramanoğlu, İ., Usanmaz, S. (2019). Improving Postharvest Storage Quality of Cucumber Fruit by Modified Atmosphere Packaging and Biomaterials. *HortScience*, 54(11), 2005-2014.
- Kanellis, A. K., Morris, L. L. Saltveit, M. E. (1988). Responses of parthenocarpic cucumbers to low-oxygen storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113:734-737.
- Kanellis, A. K., Morris, L. L., Saltveit Jr., M. E. (1986). Effect of stage of development on postharvest behavior of cucumber fruit. *HortScience* 21, 1165-1167.
- Kasmire, R.F.; Cantwell, M. (2002). Postharvest handling systems: Fruit vegetables. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest quality of horticultural crops*. University of California Publications, Oakland, CA, USA.

- Kavdir, I., Lu, R., Ariana, D., Ngouajio, M. (2007). Visible and near-infrared spectroscopy for nondestructive quality assessment of pickling cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 44(2), 165–174.
- Kays, S. (1999). Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 15, pp. 233-247.
- Kays, S. J., Paull, R. E. (2004). *Postharvest biology* (568 pp). Athens: Exon Press.
- Kingston, B.D.; Pike, L.M. (1975). Internal fruit structure of warty and non-warty cucumbers and their progeny. *Hortic. Sci.* 10, 319.
- Kitinoja, L.; Kader, A.A. (2002). *Small-Scale Postharvest Handling Practices: A manual for Horticultural Crops* (4th ed. Vol. 8E). California, USA: University of California, Davis.
- Klein, J. D., Lurie, S. (1992). Heat treatments for improved postharvest quality of horticultural crops. *HortTechnology* 2, 316–320.
- Kleinbaum, D. G.; Klein, M. (2010). *Logistic regression. A self-learning text.* 3rd ed. New York (NY). Springer.
- Knight, A.; Davis, C. (2010). *What a waste! Surplus fresh foods research project.* Food Climate Research Network.
- Kramer, P.J., Boyer, J.S. (1995). *Water Relations of Plants and Soils.* Academic Press, San Diego, CA.
- Kroon, G. H., Custers, J. B. M., Kho, Y. O., Den Nijs, A. P. M., Varekamp, H. Q. (1979). Interspecific hybridization in *Cucumis* (L.). I. Need for genetic variation, biosystematic relations and possibilities to overcome crossability barriers. *Euphytica*, 28(3), 723-728.
- Kubo, Y. (2015). Ethylene, Oxygen, Carbon Dioxide, and Temperature in Postharvest Physiology, Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants. Springer, pp. 17–33.
- Lim, W. Ehret, D. (1991). Nutrient Concentration and Fruit Thinning Affect Shelf Life of Long English Cucumber. *HortScience*, 26(10), pp. 1299-1300.

- Lin, W. C., Jolliffe, P. A. (1995b). Canopy light effects shelf-life of long English cucumber. *HortScience*, 26, 1299–1300.
- Lin, W. C.; Jolliffe, P. A. (1995a). Canopy light affects shelf life of long english cucumber. *Acta Horticulturae* 398, 249–256.
- López-Barrera, E., Hertel, T. (2020). Global food waste across the income spectrum: Implications for food prices, production and resource use. *Food Policy*, 101874.
- Lougheed, E.C. (1987). Interactions of oxygen, carbón dioxide, temperature, and ethylene that may induce injuries in vegetables. *HortScience* 22, 791–794.
- Lu, L. X., Wang, Z. W. (2004). Study of mechanisms of mechanical damage and transport packaging in fruits transportation. *Packaging Engineering* 4, 45.
- Lufu, R., Ambaw, A., Opara, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519.
- Lundqvist, J.; de Fraiture, C.; Molden, D. (2008). Saving water: from field to fork – Curbing losses and wastage in the food chain. SIWI policy brief.
- Luning, A.P.; Marcelis, J.W. (2009). Food quality management: Technicological and managerial principles and practices: Wageningen Academic Publishers.
- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology* 14(3), 257-269.
- Madani, B., Mirshekari, A., Imahori, Y. (2019). Physiological Responses to Stress. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 405–423.
- Manjunatha, M., Anurag, R. K. (2012). Effect of modified atmosphere packaging and storage conditions on quality characteristics of cucumber. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3470–3475.
- Mao, L., Pang, H., Wang, G., Zhu, C. (2007). Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress. *Postharvest Biology and Technology* 44, 42–47.
- Marcelis, L. F. M. (1992a). Non-destructive measurements and growth analysis of the cucumber fruit. *Jornal of Horticultural Science*, 67(4), pp. 457-464.

- Marcelis, L. F. M. (1992b). The dynamics of growth and dry matter distribution in cucumber. *Annals of Botany*, 69(6), 487–492.
- Marcelis, L. F. M. (1993). Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 1. Effect of fruit load and temperature. *Scientia Horticulturae*, 54(2), 107–121.
- Marcelis, L. F. M. (1994a). Effect of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 42(2), pp. 115-123.
- Marcelis, L. F. M. (1994b). Fruit shape in cucumber as influenced by position within the plant, fruit load and temperature. *Scientia Horticulturae*, Volumen 56, pp. 299-308.
- Marcelis, L. F. M. (1994c). Thesis: Fruit Growth and Dry Matter Partitioning in Cucumber, Wageningen: s.n.
- Maroof, D. A. (2012). Binary Logistic Regression. In: *Statistical Methods in Neuropsychology*. Springer, Boston, MA.
- Marques, E. J. N., de Freitas, S. T., Pimentel, M. F., Pasquini, C. (2016). Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the “Tommy Atkins” mango using a novel handheld near infrared spectrometer. *Food Chemistry*, 197, 1207–1214.
- Martínez-Romero, D., Bailén, G., Serrano, M., Guillén, F., Valverde, J.M., Zapata, P., Castillo, S., and Valero, D. (2007). Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47, 543–560.
- Mattheis, J.; Fellman, J. K. (2000). Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities. *HortTechnology* 10, 507–510.
- Mattsson, K., Nilsson, T. (1996). Influence of fruit age, fruit size and position on the plant on post-harvest behaviour of greenhouse cucumbers. *Acta Univ. Agric. Suec. Agrar.* 21, 1–16.

- McCollum, T. G., Doostdar, H., Mayer, R. T., McDonald, R. E. (1995). Immersion of cucumber fruit in heated water alters chilling-induced physiological changes. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1-2), 55–64.
- McGlone, V. A., Jordan, R. B., Seelye, R., Clark, C. J. (2003). Dry-matter—a better predictor of the post-storage soluble solids in apples? *Postharvest Biology and Technology*, 28(3), 431–435.
- McGlone, V. A., Jordan, R. B., Seelye, R., Martinsen, P. J. (2002). Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, 26(2), 191–198.
- Mitchell, F. G. (1987). Influence of cooling and temperature maintenance on the quality of California grown stone fruit. *Rev. Int. Froid*. 10, 77-81.
- Mitchell, F.G.; Kader, A.A. (1989). Storage. En: Peaches, Plums and Nectarines: Growing and Handling for Fresh Market. LaRue J.H.; Johnson R.S. Ed. Univ. Calif. Dept. of Agric. and Nat. Res., 3331, 216-222.
- Mohammadi, A., Hashemi, M., Hosseini, S. M. (2016). Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *Zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 580–588.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials: Structure, physical characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Brach Science Publishers. Inc.
- Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments. John wiley & sons. ISBN: 9781119113478.
- Murty, A. S., Subrahmanyam, N. S. (1989). Textbook of Economic Botany, Wiley Eastern Limited, New Delhi, Bangalore, Bombay, Guwehati, Hyderabad, Madras, Pune.
- Nagelkerke, N. J. D. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78(3), 691–692.

- Nasef, I. N. (2018). Short hot water as safe treatment induces chilling tolerance and antioxidant enzymes, prevents decay and maintains quality of cold-stored cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 138, 1–10.
- Navazio, J. P., Staub, J. E. (1994). Effects of soil moisture, cultivar, and postharvest handling on pillowy fruit disorder in cucumber. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 1234–1242.
- Nicolaï, B. 2000. Non-destructive measurements of quality of fruits and vegetables. International workshop on: Quality Management, Logistics and Consumer Aspects in the chain of fresh and minimally processed fruits and vegetables. Madrid C.S.I.C. 12 de mayo de 2000.
- Nicolaï, B. M., Bulens, I., Baerdemaeker, J. D., Ketelaere, B. D., Hertog, M. L. A. T. M., Verboven, P., Lammertyn, J. (2009). Non-destructive Evaluation. *Postharvest Handling*, 421–441.
- Nishizawa, T., Okada, T., Suzuki, Y., Motomura, Y., Aikawa, T. (2018). Postharvest deformation of cucumber fruit associated with water movement and cell wall degradation. *Acta Horticulturae*, (1194), 1217–1224.
- Nordey, T., Davrieux, F., Léchaudel, M. (2019). Predictions of fruit shelf life and quality after ripening: Are quality traits measured at harvest reliable indicators? *Postharvest Biology and Technology*, 153, 52–60.
- Nordey, T., Joas, J., Davrieux, F., Chillet, M., Léchaudel, M. (2017). Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. *Scientia Horticulturae*, 216, 51–57.
- Odeyemi, O. M. Salau, O. R. (2017). Influence of different edible coatings and storage media on quality and shelf life of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits. The 1st All Africa Post Harvest Congress & Exhibition, Reducing food losses and waste: sustainable solutions for Africa, 28th–31st March 2017, Nairobi, Kenya. Conference Proceedings 2017 pp.30–32 ref.4. Available in: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183238007>.

- OECD, Organisation for Economic Co-Operation and Development. (2008). International standards for fruit and vegetables: Cucumber. OECD, Paris, France.
- Ojo, D.O. (2016). Cucurbits. In: Pessaraki, M. (Ed.), Handbook of Cucurbits: Growth, Cultural Practices, and Physiology. CRC Press, pp. 23–66.
- Palmer, J. W., Harker, F. R., Tustin, D. S., Johnston, J. (2010). Fruit dry matter concentration: a new quality metric for apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2586–2594.
- Palou, L., Smilanick, J. L. (Eds.). (2019). Postharvest pathology of fresh horticultural produce. CRC Press.
- Pareek, S. T. de F. S. (2019). Postharvest Physiological Disorders in Fruit and Vegetables. *Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables*, 3–14.
- Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065–3081.
- Patel, C., Panigrahi, J. (2019). Starch glucose coating-induced postharvest shelf-life extension of cucumber. *Food Chemistry*, 288, 208–214.
- Pedro, A. M. K., Ferreira, M. M. C. (2007). Simultaneously calibrating solids, sugars and acidity of tomato products using PLS2 and NIR spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 595(1-2), 221–227.
- PH Bulletin No. 28 Cucumber: Postharvest Care and Market Preparation, May 2004.
- Prusky, D. (2011). Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. *Food Security*, 3(4), 463–474.
- Rahman, M. S. (2007). Handbook of Food Preservation. CRC press.
- Ramaswamy, H.S. (2015). Post-harvest Technologies of Fruits & Vegetables. DEStech Publications, Inc. p. 311.

- Rees, D.; Farrell, G.; Orchard, J. (2012). *Crop Post-Harvest: Science and Technology, Volume 3: Perishables (Vol. 3)*. John Wiley & Sons.
- Rhodes, M.J.C. (1980a). The maturation and ripening of fruits. In K. V. Thimann, ed., *Senescence in plants*. Boca Raton, FL: CRC Press. 157–205.
- Rhodes, M.J.C. (1980b). The physiological basis for the conservation of food crops. *Prog. Food Nutr. Sci.* 4(3–4), 11 –20.
- Riquelme, F. (1995). Postcosecha del tomate para consumo en fresco. En: Nuez, F. *El cultivo del tomate*. Mundi Prensa, pp. 590-623.
- Risse, L. A., Miller, W. R. (1983). Film wrapping and decay of eggplant. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 96, 350-352.
- Robinson, J. E., Browne, K. M., Burton, W. G. (1975). Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annals of Applied Biology*, 81(3), 399–408.
- Roy, K. R. (2001). *Design of experiments using the Taguchi approach: 16 steps to product and process improvement*. Canada: John Wiley & Sons.
- Rudas, T. (1998). *Odds Ratios in the Analysis of Contingency Tables*. Sage Publications. no. 119.
- Ruiz-Altisent, M., Valero-Ubierna, C. (2000). La calidad de la fruta. *Vida Rural*. Mayo: 66-68.
- Saltveit, M. E. (2019). Respiratory Metabolism. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 73–91. Woodhead Publishing.
- Salunkhe, D. K.; Desai, B. B. (1984). *Postharvest Biotechnology of Fruits*. Vol. 1 and 2. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Sañudo-Barajas, J. A., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., de la Rocha, R. V., Noguera-Artiaga, L., Sánchez-Rodríguez, L., Carbonell-Barrachina, Á. A., Hernández, F. (2019). Texture. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 293–314.
- Sargent, S.A.; Maynard, D.N. (2012). Cucurbits. In: Rees, D.; Farrell, G.; Orchard, J. (2012). *Crop Post-Harvest: Science and Technology, Volume 3: Perishables (Vol. 3)*. John Wiley & Sons.

- Schouten, R. E., Van Kooten, O. (1998). Keeping quality of cucumber batches: Is it predictable? *Acta Horticulturae*, 476, 349–355.
- Schouten, R. E.; Jongbloed, G.; Tijssens, L. M. M.; van Kooten, O. (2004). Batch variability and cultivar keeping quality of cucumber. *Postharvest Biology and Technology* 32(3), 299-310.
- Schouten, R. E.; Otma, E. C.; Van Kooten, O.; Tijssens, L. M. M. (1997). Keeping quality of cucumber fruits predicted by the biological age. *Postharvest Biol. Technol.* 12, 175–181.
- Schouten, R. E.; Tijssens, L. M. M.; van Kooten, O. (2002). Predicting keeping quality of batches of cucumber fruit based on a physiological mechanism. *Postharvest Biology and Technology* 26(2), 209-220.
- Sevillano, L., Sanchez-Ballesta, M. T., Romojaro, F., and Flores, F. B. (2009). Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. *Postharvest technologies applied to reduce its impact. Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 555–573.
- Sharkey, P. J.; Peggie, I. D. (1984). Effects of high-humidity storage on quality, decay and storage life of cherry, lemon and peach fruits. *Sci. Hortic.*, 23, 10.
- Shewfelt, R. (2009). *Measuring Quality and Maturity*. En: *Postharvest Handling: A systems Approach*. Athens: Elsevier Inc, pp. 461-477.
- Shewfelt, R. L. (1993). *Stress physiology: A cellular approach to quality*. En: *Postharvest Handling*, 257–276.
- Shewfelt, R.L. (1999). What is quality? *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 197-200.
- Sitterly, W. R. (1972). Breeding for disease resistance in cucurbits. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 10, p. 471.
- Snowden, A. L. (1992). Cucurbits. In: *Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Volume 2: Vegetables*, p 12–52. ISBN 9780429068737.
- Snowdon, A.L. (1990). *A Colour Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables*, vol. 2: Vegetables. Wolfe Scientific, London, 416 pp.

- Solovchenko, A., Yahia, E. M., Chen, C. (2019). Pigments. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 225–252.
- Sommer, N.F.; Fortlage, R.J.; Edwards, D.C. (2002). Postharvest Diseases of Selected Commodities. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest quality of horticultural crops*. University of California Publications, Oakland, CA, USA.
- Staub, J. E., Navazio, J. P. (1993). Temperature and humidity affect pillowy fruit disorder in cucumber. *Horticultural Science* 28, 822–823.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225.
- Tatlioglu, T. (1993). Cucumber. *Genetic Improvement of Vegetable Crops*, 197–234.
- Thomas, R. S., Staub, J. E. (1992). Water stress and storage environment affect pillowy fruit disorder in cucumber. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117, 394–399.
- Thompson, J. F. (2002). Storage systems. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest quality of horticultural crops*. University of California Publications, Oakland, CA, USA.
- Tijsskens, L. M. M., Konopacki, P. (2003). Biological variance in agricultural products. Theoretical considerations. *Acta Horticulturae*, 600, 661–670.
- Uchino, T.; Nei, D.; Hu, W.Z.; Sorour, H. (2004). Development of a mathematical model for dependence of respiration rate of fresh produce on temperature and time. *Postharvest Biology and Technology* 34(3), 285–293.
- UE, 1998. Reglamento de la Comisión (CEE) Reglamento 1677/88 de junio de 1988 por el que se establecen normas de calidad para pepinos. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* L 150, págs.
- Valero, D. Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*: CRC Press, Taylor & Francis Group: New York, NY, USA; p. 217; ISBN 978-1-4398-0266-3.
- Vallone, S., Sivertsen, H., Anthon, G. E., Barrett, D. M., Mitcham, E. J., Ebeler, S. E., and Zakharov, F. N. (2013). An integrated approach for flavour quality

- evaluation in muskmelon (*Cucumis melo* L. *reticulatus* group) during ripening. *Food Chemistry* 139, 171–183.
- Vasco-Morcillo, R. (2003). El cultivo del pepino bajo invernadero. En: *Técnicas de producción en cultivos protegidos (Tomo II)*. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar.
- Velderrain-Rodríguez, G. R., López-Gámez, G. M., Domínguez-Avila, J. A., González-Aguilar, G. A., Soliva-Fortuny, R., Ayala-Zavala, J. F. (2019). Minimal Processing. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 353–374.
- Verheul, M. J., Slimestad, R., Johnsen, L. R. (2013). Physicochemical changes and sensory evaluation of slicing cucumbers from different origins. *Europ. J. Hort. Sci*, 78(4), 176-183.
- W. (1992). Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. *HortTechnology* 2, 203–209.
- Wan, S.; Kang, Y.; Wang, D.; Liu, S.P. (2010). Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agricultural Water Management* 98(1), 105–113.
- Wang, C. Y. (1990). *Chilling injury of horticultural crops*. Boca Raton, FL: CRC Press. 313 pp.
- Wang, C. Y., Qi, L. (1997). Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 10(3), 195–200.
- Watkins, C. B. (2003). *Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products*. *Postharvest Biology and Technology* 29(3), 353.
- Wills, R. B. H., McGlasson, W. B., Graham, D., Joyce, D. C. (2007). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals (5th ed.)*. Oxfordshire: CAB International. 227 pp.
- Wills, R. B. H.; Ku, V. W.; Shohet, D.; Kim, G. H. (1999). Importance of low ethylene levels to delay senescence of non-climacteric fruit and vegetables. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39(2), 221–224.

- Xiao, Z. L.; Lester, G. E.; Luo, Y. G.; Xie, Z. H.; Yu, L. L.; Wang, Q. (2014). Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food Chemistry* 151, 472-479.
- Yahia, E. (2005). Postharvest technology of food crops in the near east and north africa (nena) region. *Crops: Growth, Quality and Biotechnology*.
- Yahia, E. M. (2007). Modified and controlled atmospheres. In: Troncoso-Rojas, R., Tiznado-Hernández, M. E., González-León, A. (Eds.), *Recent Advances in Alternative Postharvest Technologies to Control Fungal Diseases in Fruits and Vegetables*. CIAD, Mexico.
- Yahia, E. M. (2019a). Introduction. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 1-41.
- Yahia, E. M. (2019b). Introduction. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 1-17.
- Yahia, E. M., Carrillo-López, A., Sañudo, A. (2019c). Physiological Disorders and Their Control. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 499-527.
- Yahia, E. M., Fadanelli, L., Mattè, P., Brecht, J. K. (2019b). Controlled Atmosphere Storage. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 439-479.
- Yahia, E. M., Fonseca, J. M., Kitinoja, L. (2019a). Postharvest Losses and Waste. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 43-69.
- Yang, H., Wu, F., Cheng, J. (2011). Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response. *Food Chemistry*, 127(3), 1237-1242.
- Zhang, Y.; Zhang, M.; Yang, H. (2015). Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. *Food chemistry* 174, 558-563.
- Zhou, R., Wang, X., Hu, Y., Zhang, G., Yang, P., and Huang, B. (2015) Reduction in Hami melon (*Cucumis melo* var. *saccharinus*) softening caused by transport

vibration by using hot water and shellac coating. *Postharvest Biology and Technology* 110, 214-223.

Zitter, T.A.; Hopkins, D.L.; Thomas, C.E. (1996). *Compendium of cucurbit diseases*. APS Press. St. Paul, MN.

Zong, R.J.; Cantwell, M.; Morris, L.; Rubatzky, V. (1992). Postharvest studies on four fruit-type Chinese vegetables. *Acta Hort.* 318, 345-354.



## **8.- PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DERIVADA DE LA TESIS**



## **CAPÍTULO 8. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DERIVADA DE LA TESIS**

**L**a publicación científica que avala la calidad de la presente tesis es la siguiente:

1. Valverde-Miranda, D., Díaz-Pérez, M., Gómez-Galán, M., & Callejón-Ferre, Á.-J. (2021). Total soluble solids and dry matter of cucumber as indicators of shelf life. *Postharvest Biology and Technology*, 180, 111603. doi:10.1016/j.postharvbio.2021.111603.

Según Journal Citation Reports, la revista *Postharvest Biology and Technology* presenta un factor de impacto de 5,537 (JCR 2020). La revista se encuentra en el cuartil Q1 en las tres categorías JCR en las que se encuentra: AGRONOMY (posición 6 de 91), FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY (posición 20 de 143) y HORTICULTURE (posición 3 de 37).