

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**ESTUDIO DEL MANEJO POSTCOSECHA DEL MAÍZ TIERNO (*Zea
mays* L.) PROCEDENTE DEL CANTÓN SAN MIGUEL DE LA
PROVINCIA DE BOLÍVAR**

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

ÁNGEL EDUARDO LADINO GAIBOR
eledu_008@hotmail.com

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

Quito, abril 2012

© Escuela Politécnica Nacional (2012)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Ángel Eduardo Ladino Gaibor, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Ángel Eduardo Ladino Gaibor

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Ángel Eduardo Ladino Gaibor, bajo mi supervisión.

Ing. Silvia Valencia Chamorro, Ph.D.

DIRECTORA DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación formó parte del Contrato de Asistencia Técnica entre la Escuela Politécnica Nacional y el Gobierno Provincial de Bolívar. Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Postcosecha del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología, de la Escuela Politécnica Nacional.

AGRADECIMIENTOS

“Ahora que los sentidos sienten sin miedo...Ahora que estoy más vivo de lo que estoy”. Quiero agradecer de una forma sencilla pero sincera a las personas e instituciones que colaboraron con esta investigación.

A la Dra. Silvia Valencia, por transmitir sus conocimientos y experiencia; su confianza y consejos que siempre estarán presentes, gracias por toda la comprensión, la paciencia, el apoyo y la dedicación para terminar con esta etapa de mi vida y poder iniciar mi vida profesional.

A la Dra. Catalina Vasco y al Ing. Pablo Pólit, por brindarme su tiempo sus valiosos consejos, sugerencias y comentarios que fueron un aporte inestimable.

Al Arq. Carlos Chávez de Mora, Prefecto de la Provincia de Bolívar por confiar en un bolivarenses e impulsar sin ningún titubeo al desarrollo de la tecnología e investigación en la provincia.

Al Dr. Darwin Cruz por la confianza y las facilidades que permitieron el normal desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Jorge Cordero por su valiosa amistad, consejos y por su tiempo al colaborar desinteresadamente.

A la Universidad Estatal de Bolívar, especialmente Ing. Carlos Monar por brindar su conocimiento y experiencia.

Al Ing. Paúl Rosero (Polipac) por su tiempo y por facilitarnos el material de empaque para esta investigación.

Al Ing. Jaime Flores por sus consejos e indicaciones que fueron las primeras directrices para iniciar este trabajo.

A mis padres Isabel y Ángel por su infinito amor y apoyo, por enseñarme a dar mis primeros pasos, estar presente en cada caída y ahora en compartir esta meta cumplida. A mis hermanos María, Silvana, Guisella, Shirley, Patricia y Cristian por estar siempre presentes y unidos, a mis sobrinos y cuñados gracias por formar parte de esta hermosa familia.

A Ivón por demostrar que siempre hay motivos para seguir luchando, por su afecto y apoyo incondicional, siempre viento a favor.

A Tania, Andrea y Andrés por colaborar y compartir buenos momentos en el laboratorio. A mis amigos Fernanda, Josethe, Franz, Luis, Raúl, Sebastián, Víctor R. y Víctor F. por su amistad y compartir todos estos años.

A los productores y comercializadores de maíz Srs.: Fultón Gaibor, Telmo Velásquez, Olger Chela, Gregorio Manobanda y Sra. Mirian Averos, por su amabilidad y hospitalidad al recorrer los campos maiceros de la provincia de Bolívar.

DEDICATORIA

A mi madre Isabel Gaibor, por ser lo más grande que Dios me da, por enseñarme a luchar y no rendirme, ser mi guía y amiga.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|---|-------------|
| RESUMEN | xi |
| INTRODUCCIÓN | xiii |
| | |
| 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 1 |
| 1.1 Generalidades del cultivo de maíz tierno | 1 |
| 1.1.1 Origen del maíz | 1 |
| 1.1.2 Clasificación taxonómica | 1 |
| 1.1.3 Descripción botánica | 2 |
| 1.1.4 Etapas de desarrollo | 4 |
| 1.1.5 Manejo del cultivo | 8 |
| 1.1.5.1 Control de malezas | 8 |
| 1.1.5.2 Plagas y enfermedades | 9 |
| 1.1.5.3 Cosecha | 9 |
| 1.1.6 Composición química y nutricional | 10 |
| 1.1.7 Situación del cultivo de maíz en el Ecuador | 11 |
| 1.1.8 Usos | 12 |
| 1.1.9 Variedades de maíz en el Ecuador | 13 |
| 1.2. Manejo postcosecha de maíz tierno | 14 |
| 1.2.1 Factores biológicos que influyen en el deterioro | 16 |
| 1.2.2 Factores ambientales que influyen en el deterioro | 19 |
| 1.2.3 Parámetros de calidad de la mazorca de maíz tierno | 20 |
| 1.2.3.1 Cobertura de la mazorca | 20 |
| 1.2.3.2 Longitud y diámetro de la mazorca (tamaño) | 21 |
| 1.2.4 Índices de madurez | 22 |
| 1.2.5 Tecnologías para el manejo postcosecha de maíz tierno | 24 |
| 1.3 Tratamientos postcosecha de hidrogenfriamiento y atmósfera modificada | 25 |
| 1.3.1 Preenfriamiento | 25 |
| 1.3.2 Atmósferas modificadas y controladas | 30 |
| | |
| 2 PARTE EXPERIMENTAL | 32 |
| 2.1 Materiales | 32 |
| 2.1.1 Materia prima | 32 |
| 2.1.2 Preparación de la materia prima | 32 |
| 2.1.3 Preenfriamiento | 34 |
| 2.1.4 Empacado | 34 |
| 2.2 Determinación de los índices de madurez de la materia prima | 36 |
| 2.3 Caracterización física y química del maíz tierno | 39 |
| 2.3.1 Análisis físicos | 39 |
| 2.3.1.1 Peso | 39 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.3.1.2 | Volumen y densidad | 39 |
| 2.3.1.3 | Longitud | 39 |
| 2.3.1.4 | Diámetro | 39 |
| 2.3.1.5 | Firmeza | 40 |
| 2.3.2 | Análisis químicos | 40 |
| 2.3.2.1 | Determinación del pH | 40 |
| 2.3.2.2 | Determinación de sólidos solubles totales (°Brix) | 40 |
| 2.3.2.3 | Determinación de acidez titulable | 40 |
| 2.3.2.4 | Análisis de macro y micro nutrientes | 41 |
| 2.3.3 | Análisis sensorial | 41 |
| 2.3.4 | Evaluación de la calidad visual | 42 |
| 2.4 | Estudio de la fisiología postcosecha de maíz | 44 |
| 2.5 | Ensayos de los tratamientos postcosecha de hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de empaque | 44 |
| 2.5.1 | Análisis químicos | 44 |
| 2.5.2 | Pérdida de peso | 45 |
| 2.5.3 | Concentración de CO ₂ en el interior de los empaques | 45 |
| 2.5.4 | Firmeza | 45 |
| 2.5.5 | Evaluación de la calidad visual | 45 |
| 2.5.6 | Análisis sensorial | 46 |
| 2.5.7 | Análisis estadístico | 46 |
| 2.6 | Estimación de los costos de implementación de los tratamientos postcosecha | 46 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 47 |
| 3.1 | Determinación de los índices de madurez de la materia prima | 47 |
| 3.1.1 | Llenado del grano (diámetro y longitud del grano) | 47 |
| 3.1.2 | Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) | 48 |
| 3.1.3 | Color de los estigmas | 50 |
| 3.2 | Caracterización física y química del maíz tierno | 54 |
| 3.2.1 | Análisis físicos | 54 |
| 3.2.2 | Análisis químicos | 55 |
| 3.2.3 | Análisis sensorial y evaluación de la calidad visual | 56 |
| 3.3 | Preenfriamiento | 56 |
| 3.4 | Estudio de la fisiología postcosecha de maíz tierno | 58 |
| 3.5 | Ensayo de los tratamientos postcosecha de hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de empaque | 59 |
| 3.5.1 | Análisis químicos | 59 |
| 3.5.2 | Pérdida de peso (%) | 61 |
| 3.5.3 | Concentración de dióxido de carbono en el interior de los empaques | 62 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.5.4 | Firmeza | 66 |
| 3.5.5 | Contenido de almidón | 67 |
| 3.5.6 | Evaluación de la calidad visual de la mazorca | 69 |
| 3.5.7 | Análisis sensorial | 71 |
| 3.6 | Estimación de los costos de implementación de los tratamientos postcosecha | 73 |
| 4. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 76 |
| 4.1 | Conclusiones | 76 |
| 4.2 | Recomendaciones | 78 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 79 |
| | ANEXOS | 86 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | PÁGINA |
|------------------|--|--------|
| Tabla 1. | Etapas de crecimiento de la planta de maíz | 7 |
| Tabla 2. | Composición química y nutricional de los granos de maíz tierno | 11 |
| Tabla 3. | Características agronómicas y morfológicas del maíz tierno de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) | 14 |
| Tabla 4. | Tasa de respiración para maíz tierno | 17 |
| Tabla 5. | Escala de calificación de cobertura de la mazorca | 21 |
| Tabla 6. | Calidad de la mazorca de maíz tierno según su tamaño (Norma INEN 1 761) | 22 |
| Tabla 7. | Códigos de identificación de los tratamientos | 36 |
| Tabla 8. | Escala de marchitez de los estigmas | 37 |
| Tabla 9. | Métodos para el análisis proximal del maíz tierno | 41 |
| Tabla 10. | Escala de evaluación de la calidad visual para mazorcas de maíz tierno | 43 |
| Tabla 11. | Escala de valoración de la calidad total para mazorcas de maíz tierno | 43 |
| Tabla 12. | Variación del diámetro y longitud de la mazorca con brácteas desde la formación de la flor hasta la cosecha | 47 |
| Tabla 13. | Variación del color de los estigmas desde la formación de la flor hasta la cosecha | 50 |
| Tabla 14. | Caracterización física de la mazorca de maíz, variedad INIAP-111(Guagal mejorado) | 55 |
| Tabla 15. | Caracterización química de los granos de la mazorca de maíz tierno, variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) | 56 |
| Tabla 16. | Contenido de SST, pH y acidez titulable de maíz tierno, variedad INIAP-111, (Guagal mejorado) durante el tiempo de almacenamiento | 60 |
| Tabla 17. | Índice de evaluación de la calidad visual de las mazorcas de maíz tierno, variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) durante el tiempo de almacenamiento | 70 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Tabla 18. | Evaluación de la calidad visual de la mazorca de maíz tierno, variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) durante el tiempo de almacenamiento | 71 |
| Tabla 19. | Resultados de la evaluación sensorial de maíz del grano de maíz tierno, preenfriado y sin preenfriar recubierta con láminas plásticas, almacenados a 4 °C, seguido de 2 días a 20 °C | 72 |
| Tabla 20. | Costos de los tratamientos | 75 |
| Tabla 21. | Costos del equipo de enfriamiento | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | PÁGINA |
|-------------------|--|--------|
| Figura 1. | Fotografía de una mazorca de maíz tierno (choclo) | 3 |
| Figura 2. | Partes del grano de maíz | 4 |
| Figura 3. | Fase de diferenciación de las flores masculina y femenina | 5 |
| Figura 4. | Principales procesos y productos finales provenientes del maíz | 12 |
| Figura 5. | Disminución de temperatura de un producto expuesto a un medio refrigerante | 26 |
| Figura 6. | Hydroenfriador continuo por inmersión | 28 |
| Figura 7. | Hydroenfriador continuo por aspersión | 29 |
| Figura 8. | Cortes transversal (a) y longitudinal (b) para el deshojado o eliminación de las brácteas de la mazorca | 33 |
| Figura 9. | Fotografía de mazorcas en el hydroenfriador (A), mazorcas sin preenfriamiento (B). | 35 |
| Figura 10. | Fotografía de mazorcas empacadas con láminas de PEBD (C) y PVC (D) | 35 |
| Figura 11. | Esquema del método de muestreo “en zigzag” | 38 |
| Figura 12. | Fotografía de identificación y encintado de las mazorcas en los puntos de muestreo | 38 |
| Figura 13. | Formación de la flor femenina y alargamiento de los estigmas (A), Etapa de ámpula (B), Llenado de grano hasta el día 168 después de la siembra (C) | 49 |
| Figura 14. | Color de los estigmas | 51 |
| Figura 15. | Escala de marchitez de los estigmas | 53 |
| Figura 16. | Curva de enfriamiento de las mazorcas preenfriadas | 57 |
| Figura 17. | Tasa de respiración de mazorcas de maíz tierno INIAP-111 (Guagal mejorado) preenfriadas y sin preenfriar almacenado a 4 °C y 90% de HR | 58 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| Figura 18. | Pérdida de peso (%) de las mazorcas de maíz tierno preenfriadas y sin preenfriar recubiertas con láminas (A: PEBD; B: PVC) plásticas almacenadas a 4 °C, seguidos de 2 días a 20 °C | 61 |
| Figura 19. | Interacción en la pérdida de peso entre la aplicación del preenfriamiento (E-SE) y el material de empaque (A: PEBD; B: PVC) almacenado a 4 °C, seguido de 2 días a 20 °C | 62 |
| Figura 20. | Concentración de CO ₂ en el interior de los empaque en muestras preenfriadas y sin preenfriar recubiertas con láminas plásticas (A: PEBD; B: PVC) durante el tiempo de almacenamiento de 7, 14 y 21 días a 4 °C seguido de 2 días a 20 °C | 65 |
| Figura 21. | Firmeza(N) de los grano de maíz tierno, variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) durante 7, 14, 21 días a 4 °C, seguido de 2 días a 20 °C | 67 |
| Figura 22. | Contenido de almidón del grano (base seca) de maíz tierno, preenfriado y sin preenfriar recubierta con láminas plásticas, almacenados a 4 °C, seguido de 2 días a 20 °C | 68 |
| Figura 23. | Mazorcas de maíz tierno empacadas en bandejas de poliuretano y láminas plásticas (A), Almacenamiento de mazorcas de maíz tierno en la cámara de refrigeración (B) | 86 |
| Figura 24. | Hidrogenfriador (Marca Lactoquinox, modelo TENF-01, Quito) (A) | 87 |
| Figura 25. | Codificación de los matices en la carta de color de Küppers | 89 |
| Figura 26. | Texturómetro (Lloyd Instruments, Modelo 1000 S, Leicenter) (B) | 91 |
| Figura 27. | Fotografías de la pérdida de la turgencia: Mazorca con granos turgentes (A), mazorca con pérdida de turgencia de los granos en la mazorca (B) | 93 |
| Figura 28. | Fotografías de la marchitez del pedúnculo: pedúnculo fresco (A), pedúnculo marchito (B) | 93 |
| Figura 29. | Fotografías de daño mecánico | 94 |
| Figura 30. | Fotografía de manchas pardas | 94 |
| Figura 31. | Fotografía de presencia de patógenos en la mazorca | 95 |
| Figura 32. | Sistema de respiración (A), Séptum de silicona en el empaque (B) | 96 |
| Figura 33. | Mazorcas de maíz tierno almacenadas durante 7 días a 4 °C | |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| | seguidos de 2 días a 20 °C | 98 |
| Figura 34. | Mazorcas de maíz tierno almacenadas durante 14 días a 4 °C seguidos de 2 días a 20 °C | 99 |
| Figura 35. | Mazorcas de maíz tierno almacenadas durante 21 días a 4 °C seguidos de 2 días a 20 °C | 100 |
| Figura 36. | Diagrama Presión-Entalpía para refrigerante R-134a | 105 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| ANEXO A Almacenamiento de maíz tierno | 86 |
| ANEXO B Fotografías del hidrofriador | 87 |
| ANEXO C Especificaciones técnicas de las láminas plásticas utilizadas en la experimentación | 88 |
| ANEXO D Codificación de los matices en la carta de color de Küppers | 89 |
| ANEXO E Fotografía del texturómetro | 91 |
| ANEXO F Encuesta de la evaluación sensorial de maíz tierno | 92 |
| ANEXO G Fotografías de la evaluación de la calidad visual | 93 |
| ANEXO H Fotografías de sistema de respiración - séptum | 96 |
| ANEXO I Condiciones de trabajo del analizador de gases Postharvest research | 97 |
| ANEXO J Fotografías de maíz tierno almacenado a temperatura y HR controladas | 98 |
| ANEXO K Flujograma para preenfriar y empacar maíz tierno | 101 |
| ANEXO L Diseño del hidrofriador | 102 |

GLOSARIO

Acame.- Efecto de la lluvia y viento sobre las plantas, para doblar el tallo.

Alelo.- Es cada una de las formas alternativas de un gen que ocupan el mismo sitio o locus en los cromosomas homólogos.

Ámpula.- Vejiga acuosa e hinchada; ampolla.

Anteras.- Es la parte del estambre donde se ubican los sacos polínicos y las tecas.

Aporque.- Cubrir con tierra parte del tallo de una planta.

Bráctea.- Hoja modificada en su forma, tamaño, color, etc., situada junto a las flores o inflorescencias.

Coleóptilo.- Es la estructura que emerge inicialmente desde la semilla hacia superficie del suelo.

Estigma.- Parte superior del estilo de la flor en cuya superficie recibe el polen.

Fasciculado.- Que está formado por elementos agrupados en pequeños haces.

Lanceolada.- Se aplica a la hoja de una planta que tiene forma de punta de lanza.

Locus.- Es una posición fija sobre un cromosoma.

Monoica.- Se aplica a la planta con flores de ambos sexos en un mismo pie.

Panoja.- Conjunto de espigas o racimos que nacen de un mismo tallo y que se ramifican a su vez en nuevos racimos.

Paralelinervia.- Son las hojas cuyos nervios discurren paralelos y dispuestos longitudinalmente a lo largo del limbo.

Pedicelo.- Es la estructura que une el grano con el raquis de la mazorca

Raquis.- Es estructura lineal que forman el eje de una inflorescencia en forma de espiga.

RESUMEN

En esta investigación se estudió el efecto de los tratamientos postcosecha de preenfriamiento y atmósfera modificada (AM), en la calidad del maíz tierno procedente del cantón San Miguel de la Provincia de Bolívar. Las muestras, preenfriadas y sin preenfriar fueron empacadas con polietileno de baja densidad (PEBD) y cloruro de polivinilo (PVC), y almacenadas a 4 °C y 90% de humedad relativa (HR), durante 7, 14 y 21 días más 2 días a 20 °C para simular el tiempo de vida en estante. Después de cada período de almacenamiento se determinó: pH, contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, pérdida de peso, firmeza, contenido de almidón, evaluación de la calidad visual, análisis sensorial y concentración de CO₂ en el interior de los empaques. Además se determinaron los índices de madurez y la fisiología postcosecha del maíz tierno. Finalmente se estimaron los costos de la aplicación de los tratamientos postcosecha utilizados.

Los índices de madurez se determinaron con el contenido de SST, el llenado del grano (caracterizado por el incremento del diámetro de la mazorca) y el cambio de color de los estigmas desde la formación de la flor femenina hasta el día de cosecha. A los 168 días después de la siembra (día de cosecha), las mazorcas presentaron un diámetro promedio de 6,6 cm y el 75% de las muestras presentaron 100% de marchitez de los estigmas (5 en la escala de marchitez de los estigmas). El contenido máximo de SST fue 10,6 °Brix.

Las mazorcas preenfriadas y sin preenfriar, almacenadas durante 21 días a 4 °C y 90% HR, presentaron un patrón de respiración de productos no climatéricos, rango 20-38 mg CO₂/kg*h. No existieron diferencias estadísticas significativas entre estos dos tipos de muestras.

La aplicación de los tratamientos (hidroenfriamiento y atmósfera modificada pasiva) permitió reducir la pérdida de la calidad postcosecha de las mazorcas.

El tratamiento EA (preenfriamiento y empaque con PEBD), disminuyó la pérdida del contenido de SST, redujo la pérdida de peso de las mazorcas, los granos presentaron menor firmeza, menor contenido de almidón y la concentración de

CO₂ en el interior de los empaques fue entre 5-6 %. Ninguna muestra tratada presentó olores y sabores extraños. La calidad comercial para todos los tratamientos se mantuvo hasta 21 días, excepto para el tratamiento EB (preenfriamiento y empacado con PVC). El costo de los tratamientos de preenfriamiento y empacado (PEBD) fue de 0,08 USD/kg.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) ocupa el tercer lugar a nivel mundial en producción después del trigo y el arroz (Verissimo, 1999). Este cultivo se siembra con diversos propósitos, para el consumo en fresco (maíz tierno), para la industria de alimentos, o como forraje para consumo animal (Parsons, 1991). Actualmente, se han desarrollado nuevas variedades de maíz que se utilizan en la producción de biocombustibles (Coluta *et al.*, 2008).

En el Ecuador, el cultivo del maíz ocupa un lugar destacado en varias provincias de la Costa y Sierra. En la provincia de Bolívar, este cultivo es considerado como el de mayor importancia para el sector agrícola. El cultivo presenta picos de producción mensual, lo que genera mayor oferta del producto y como consecuencia una disminución en los precios de venta de maíz tierno. Todo esto produce una disminución/pérdida de los ingresos económicos de los productores y comercializadores (Alvarado, 2011).

El maíz tierno presenta una alta tasa de respiración (TR) y es considerado como un producto altamente perecible. Después de la cosecha se produce la pérdida de peso y de la turgencia de los granos en la mazorca. Los azúcares se transforman rápidamente en almidón, produciéndose una reducción del dulzor y un incremento en la firmeza de los granos. La vida útil de este producto a temperatura ambiente (20 °C) es muy corta y se estima entre 3 y 5 días (Kader, 2002). Además de la alta perecibilidad del producto, el inadecuado manejo postcosecha produce pérdidas de su calidad, lo que genera una disminución de los precios de venta (FAO, 1989).

Los tratamientos postcosecha se aplican a productos hortofrutícolas para reducir la pérdida de calidad y prolongar el tiempo de vida útil de los mismos. La reducción del calor de campo (preenfriamiento), lo antes posible luego de la cosecha, es una de las principales recomendaciones para mantener la calidad de los productos (Kader, 2002). El preenfriamiento, el uso de empaques poliméricos/recubrimientos y la modificación de la atmósfera circundante;

conjuntamente con el almacenamiento refrigerado a temperatura y humedad relativa (HR) controladas son algunas de las alternativas utilizadas para extender la vida útil de los productos (Kitinoja y Kader, 2003).

Actualmente, no se dispone de información sobre el comportamiento postcosecha de maíz tierno de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) sometido a diferentes tratamientos postcosecha. Por tanto, la presente investigación está orientada a dar una alternativa para reducir el problema del manejo postcosecha de maíz tierno, con la aplicación de tratamientos postcosecha preenfriamiento y empaque con dos tipos de empaque, que disminuyan la pérdida de calidad y prolonguen el tiempo de vida del maíz tierno.

El objetivo general de esta investigación fue estudiar el efecto del manejo postcosecha en la calidad del maíz tierno (*Zea mays* L.) de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) procedente del cantón San Miguel de la Provincia de Bolívar. Para cumplir con este objetivo se determinó los siguientes objetivos específicos: determinar los índices de madurez de la materia prima, caracterizar física y químicamente la materia prima, estudiar la fisiología postcosecha de maíz tierno, estudiar el efecto de los tratamientos hidroenfriamiento y almacenamiento con dos tipos de empaque en la calidad del maíz tierno, almacenado a temperatura y humedad relativa controladas y estimar los costos de implementación de los tratamientos postcosecha.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MAÍZ TIERNO

1.1.1 ORIGEN DEL MAÍZ

El maíz es un cereal originario de Centro América, y con el tiempo se expandió hacia todo el continente. Los registros fósiles más antiguos, tienen entre setenta y ochenta mil años (Verissimo, 1999). En las civilizaciones Maya, Azteca e Inca fue el principal cereal domesticado y se convirtió en la base alimentaria, por lo que fue considerado como una planta sagrada que originó mitos, rituales y leyendas. La etimología de la palabra maíz, proviene del idioma taíno (mahís) utilizado por los pueblos indígenas de Cuba, y posteriormente por los europeos al colonizar estos lugares (Asturias, 2004). Descubrimientos arqueológicos y paleobotánicos, establecieron que el maíz proviene de un antecesor de tipo silvestre denominado “teocinte o teocintle”, existen diferencias notables entre las mazorcas actuales y el teocinte, especialmente porque éste era un grano duro de menor tamaño que estaba contenido en una vaina o cubierta individual similar a la del arroz y del trigo (Asturias, 2004; Galinat, 1995).

1.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Reino: | Vegetal |
| Subreino: | Embriobionta |
| División: | Angiospermae |
| Clase: | Monocotyledoneae |
| Orden: | Cyperales (gramíneas) |
| Familia: | Poaceae |
| Género: | <i>Zea</i> |
| Especie: | <i>mays</i> |
| Nombre científico: | <i>Zea mays</i> L. |

(Terranova, 1995)

1.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El maíz es una gramínea anual, que presenta un gran desarrollo vegetativo, capacidad productiva, variedad genética y de adaptabilidad a las más diversas condiciones de clima y suelo (Verissimo, 1999).

Las raíces forman un sistema radicular fasciculado extenso que brindan anclaje y absorción de nutrientes a la planta. Se clasifican en raíz seminal o principal que se originan a partir del embrión; raíces adventicias, a modo de cabellera; raíces sostén o soporte que sirven de anclaje, y raíces aéreas que no alcanzan el suelo (Parsons, 1991).

El tallo es cilíndrico y está formado por tres capas: una corteza exterior, una pared filamentosa que transporta nutrientes y una médula de tejido esponjoso donde almacena reservas alimenticias. La sucesión de nudos y entrenudos es de longitud variable. Los entrenudos de la base son cortos, y se alargan a medida que se encuentran en posiciones superiores. Su estructura interior presenta un alto contenido de agua. La altura de la planta varía desde los 1,5 a 4,0 m dependiendo de la variedad cultivada (Parsons, 1991).

Las hojas son largas, alternas, lanceoladas, paralelinervias y la vaina de la hoja es el punto de intersección de cada hoja. El haz presenta vellosidades. La hoja puede llegar a medir 1,5 m de largo y 0,1 m de ancho, el ápice termina en una punta muy fina (Parsons, 1991; Verissimo, 1999).

El maíz es una planta monoica con flores unisexuales masculinas (estaminadas) y femeninas (pistiladas). La flor masculina o penacho se encuentra en la parte superior de la planta y presenta ramas laterales conocidas como espigas, éstas presentan anteras productoras de una gran cantidad de polen (Parsons, 1991).

La inflorescencia femenina se localiza en la inserción de las hojas, en la mitad superior del tallo. La parte inferior está formada por nudos basales de donde se originan hojas modificadas denominadas brácteas. La flor femenina posee un eje central engrosado conocido como raquis, tusa, coronta o zuro. En el raquis se

insertan los estigmas o cabellos que se encargan de receptor el polen y fecundar al óvulo (Terranova, 1995). La fecundación de las flores femeninas puede suceder mediante el polen de la panoja de la misma planta o de otras plantas (Garcés, 1987).

La mazorca es la flor femenina fecundada, está formada por el raquis, el pedúnculo, los granos y las brácteas, es conocida comúnmente como choclo, millo o elote, su fotografía se presenta en la Figura 1. En la mayoría de los casos se desarrolla una o máximo dos mazorcas por planta de acuerdo a la variedad y a las condiciones ambientales (Parsons, 1991). El 46% del peso total de las mazorcas corresponde al peso de las brácteas y el 54% restante pertenece al raquis y a los granos, del cual el 29% es materia comestible (Sánchez y Villamizar, 2003).



Figura 1. Fotografía de una mazorca de maíz tierno (choclo)

Los granos están formados por el endospermo amiláceo que representa el 80% del peso total del grano, el embrión (germen) y el pericarpio (cubierta de la semilla) representan el 13% y 6% del peso del grano, respectivamente. Además existe una estructura cónica conocida como pedicelo que une el grano con el

raquis de las mazorcas (Nuss y Tanumihardjo, 2010). En la Figura 2 se presenta las partes del grano de maíz.

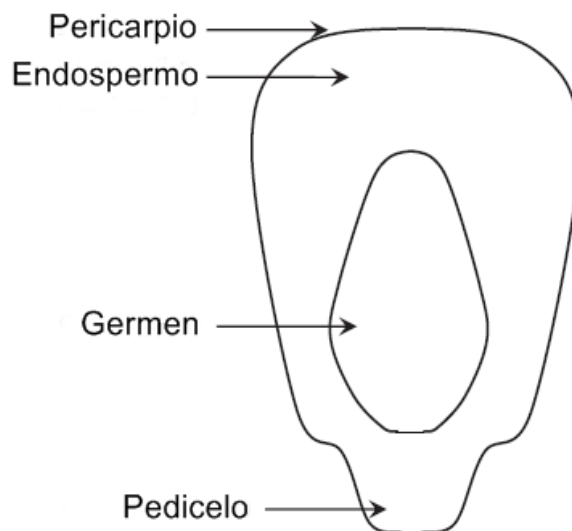


Figura 2. Partes del grano de maíz
(Nuss y Tanumihardjo, 2010)

1.1.4 ETAPAS DE DESARROLLO

En el ciclo vegetativo de este cultivo se diferencia cinco fases de desarrollo: fase de germinación, fase de desarrollo vegetativo, fase de diferenciación de las flores, fase de floración-polinización y fase de maduración (Mendoza, 2001).

Fase de germinación: Comprende desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo (Mendoza, 2001).

Fase de desarrollo vegetativo: En esta etapa aparecen las hojas, se produce la elongación del tallo y se desarrolla el sistema radicular principal (Bustamante *et al.*, 2000).

Fase de diferenciación de las flores: En esta etapa se inicia la formación de la flor masculina y femenina. La flor masculina es más conocida como penacho. Se forma un eje central en el extremo superior de la planta, de este eje se alargan

ramificaciones en donde se producen y maduran los granos de polen. La flor femenina se desarrolla en la zona axial de las hojas, hacia la mitad de la planta (Bustamante *et al.*, 2000). La fase de diferenciación de la flor masculina y femenina se presenta en la Figura 3

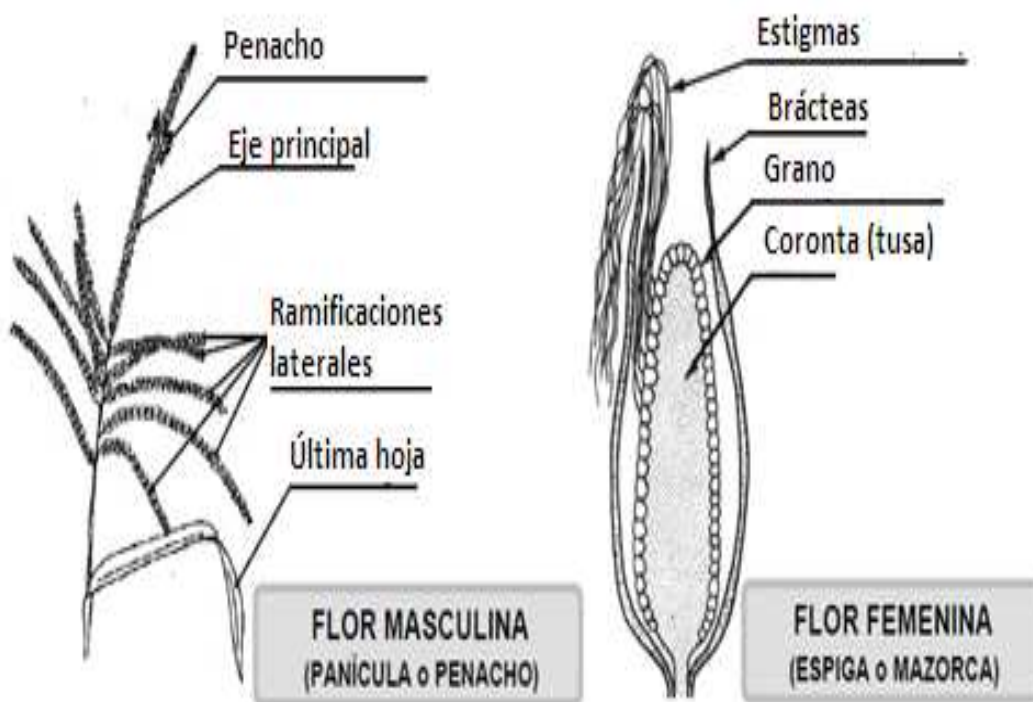


Figura 3. Fase de diferenciación de las flores masculina y femenina (Bustamante *et al.*, 2000)

Fase de floración-polinización: Inicia cuando la panoja produce polen y se produce el alargamiento de los estigmas en la inflorescencia femenina. Estos dos factores intervienen en la polinización y llenado de grano, por tal motivo esta fase es extremadamente sensible a cambios ambientales de temperatura y HR (Mendoza, 2001).

Fase de maduración: Inicia después de la fecundación, los granos comienzan a desarrollarse y toman el aspecto de vesículas acuosas conocidas como estado de ámpula. Al iniciar el estado de ámpula la planta de maíz moviliza reservas desde el aparato vegetativo hasta el grano (Carrera y Mateo, 2005). El estrés hídrico y la falta de nutrientes en la planta influyen en el peso final de las mazorcas y el llenado del grano (Mendoza, 2001).

Las mazorcas de maíz atraviesan por diferentes fases de maduración que se especifican de la siguiente manera:

Madurez lechosa: El grano incrementa su peso en agua y materia seca, aumentando rápidamente su volumen, al final de esta fase los granos alcanzan su forma y peso definitivo, presenta una coloración blanca y contenido lechoso en su interior, presenta una humedad mayor al 70% (Carrera y Mateo, 2005).

Madurez pastosa: En el interior del grano se produce un enriquecimiento de glúcidos y proteínas, la materia seca alcanza su peso máximo y el peso de agua permanece constante. El grano comienza a endurecerse, presenta una consistencia pastosa y una coloración amarillenta. Termina la movilización de las reservas hacia el grano, su contenido de agua está entre 40 y 50% sobre el peso fresco (Carrera y Mateo, 2005).

Madurez vítrea: Se produce una reducción rápida del peso del grano como consecuencia de la pérdida del agua hasta alcanzar una humedad entre 12 y 15%, el grano se endurece y adopta una estructura vítrea. La madurez fisiológica se identifica por la aparición de una capa negra visible en la base del grano (Carrera y Mateo, 2005).

En otra investigación, Ritchie y Hanway (1984), dividen las etapas de crecimiento en etapa vegetativa y etapa reproductiva, como se indica en la Tabla 1. La etapa vegetativa comprende 5 etapas, desde la aparición del coleóptilo hasta la aparición de la última rama de la panoja.

La etapa vegetativa coincide con la fase de germinación, fase de desarrollo vegetativo y fase de diferenciación de las flores descritas por Mendoza (2001). La etapa reproductiva contiene 6 etapas, desde la aparición de los estigmas hasta la etapa de madurez fisiológica. Esta etapa se relaciona con la fase de floración y polinización, fase de maduración que comprende la madurez lechosa, madurez pastosa y madurez vítrea descritas por Mendoza (2001).

Tabla 1. Etapas de crecimiento de la planta de maíz

| Etapa de crecimiento | Características |
|-----------------------------|---|
| Etapa Vegetativa | |
| Etapa cero | El coleóptilo emerge de la superficie del suelo. |
| Etapa 1 | Es visible el cuello de la primera hoja (ésta siempre tiene el ápice redondeado). |
| Etapa 2 | Es visible el cuello de la segunda hoja. |
| Etapa 3 | Es visible el cuello del número definitivo de hojas “n” (En generalmente fluctúa entre 16 y 22 hojas, pero para la floración se habrán perdido 4 a 5 hojas inferiores.) |
| Etapa 4 | Es completamente visible la última rama de la panoja. |
| Etapa Reproductiva | |
| Etapa 5 | *Son visibles los estigmas en el 50% de las plantas. |
| Etapa 6 | Etapa ámpula: Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión. |
| Etapa 7 | Etapa lechosa: Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco. |
| Etapa 8 | Etapa masosa: Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano. |
| Etapa 9 | Etapa dentada. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una “línea de leche” cuando se observa el grano desde el costado. |
| Etapa 10 | Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 12%. |

*No todas las plantas de un campo llegan simultáneamente a una misma etapa. Por esta razón, es mejor decir que el cultivo alcanza una determinada etapa sólo cuando por lo menos el 50% de las plantas han llegado a esa etapa (Ritchie y Hanway, 1984)

1.1.5 MANEJO DEL CULTIVO

El cultivo necesita suelos de textura media, franco-limosos o franco-arcillosos, profundos y bien drenados, esto facilita el desarrollo radicular y la mejor absorción de humedad y de nutrientes (Parsons, 1991).

El maíz crece rápidamente y tiene un buen rendimiento entre temperaturas de 25 a 30 °C. Sin embargo puede soportar temperaturas mínimas de 10 °C. La falta de humedad en el suelo genera problemas de absorción de nutrientes y minerales. La planta necesita para el desarrollo aproximadamente 500 mm de lluvia distribuidas uniformemente durante todo el ciclo vegetativo (Parsons, 1991; Mendoza, 2001).

Para las labores de arada, rastra y surcado se utiliza fuerza mecánica (tractor) o animal (yunta) y se realizan con dos meses de anticipación a la siembra, para facilitar la descomposición de los residuos de la cosecha anterior, esto ayuda a que el suelo se enriquezca con materia orgánica rica en minerales. La distancia de siembra es de 90 cm entre surcos y 50 cm entre plantas, es decir una densidad de siembra de 4 500 plantas/ha. El cultivo se puede sembrar como monocultivo y como cultivo asociado, generalmente se siembra conjuntamente con soya, fréjol, hortalizas y arroz (Silva *et al.*, 1997).

Para la fertilización es necesario un análisis químico del suelo antes de realizar la siembra. Si no se realiza el análisis químico, se recomienda aplicar al menos dos sacos/ha de fertilizantes cuya composición contenga nitrógeno (N) y fósforo (P) conocido en el mercado como 18-46-00 y dos sacos/ha de urea al efectuar el aporte (Yáñez *et al.*, 2007).

1.1.5.1 Control de malezas

Las malezas compiten con el cultivo por agua, luz, nutrientes y espacio (Parsons, 1991). El control de malezas se debe realizar entre la tercera o quinta semana

después de la germinación, mediante un control químico o mecánico; se recomienda aplicar herbicidas selectivos a base de Atrazina en dosis de 2 kg/ha (Yáñez *et al.*, 2007). Los herbicidas deben aplicarse en la etapa de preemergencia, sobre suelo húmedo. Si no se utiliza herbicida, se debe realizar una o dos deshierbas con yunta o a mano, de acuerdo a la incidencia de malezas (Silva *et al.*, 1997).

1.1.5.2 Plagas y enfermedades

Se considera como plaga a cualquier ente biótico (animales, plantas y microorganismos) que afecta en forma negativa la producción del cultivo. Las principales plagas del maíz tierno son: pájaros (*Trialeurodes vaporariorum*), roedores (*Mus musculus*), ácaros (*Ostrinia nubilalis*), trips (*Thrips spp*), pulgones (*Rhopalosiphum padi*), barredor del maíz (*Elasmopalpus angustellus*), palomillas (*Sitotroga cerealella*), gusano trozador (*Spodoptera frugiperda*) (Parsons, 1991).

El gusano trozador ataca a las plantas de maíz produciendo plantas cortadas y/o hojas marchitas, si el 10% de la plantación presentan estos síntomas se recomienda aplicar en la base del tallo insecticidas a base de Acefato en dosis de 1,5 a 2,0 L/ha. Para controlar los gusanos de las mazorcas (*Heliothis zea* y *Euxesta eluta*), se recomienda tres aplicaciones de aceite de origen vegetal cada ocho días en el lugar de salida de los estigmas de las mazorcas (Silva *et al.*, 1997; Yáñez *et al.*, 2007)

1.1.5.3 Cosecha

La cosecha se realiza en diferentes etapas de desarrollo de la planta y según el producto final requerido, cuando las mazorcas se encuentran en la etapa lechosa se denomina maíz tierno o “choclo”, la humedad del grano es superior al 70%. Cuando las mazorcas se encuentran en la etapa masosa se conoce como “estado cao”, tiene una humedad del 40%, y finalmente cuando en la base del grano se

observa una capa negra ocurre la madurez fisiológica. El grano seco se cosecha con una humedad aproximada de 15 a 20% (Yáñez *et al.*, 2007). La etapa lechosa, masosa y la madurez fisiológica se presentan en la Tabla 1.

La época de cosecha varía dependiendo de la variedad cultivada, la temperatura, la altitud y la época de siembra (Carrera y Mateo, 2005). El resto de la planta de maíz se utiliza como forraje o ensilaje para el consumo directo de animales (Parsons, 1991; Yáñez *et al.*, 2007).

La cosecha del maíz tierno se realiza de forma manual, el pedúnculo de la mazorca se desprende del tallo de la planta con un tirón en sentido contrario al crecimiento de la mazorca, es importante evitar daños físicos, y considerar las etapas de desarrollo del cultivo. Para la cosecha es importante considerar los índices de madurez del maíz tierno. Estos índices definen las etapas de madurez de las mazorcas, por este motivo es necesario que las personas encargadas de la cosecha reconozcan el estado de madurez de las mazorcas (Kitinoja y Kader, 2003).

Es importante realizar la cosecha a tempranas horas de la mañana, para evitar la exposición directa del producto a la radiación solar, que acelera el deterioro del producto (Kader, 2002; Kitinoja y Kader, 1996).

1.1.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL

La composición química y nutricional de los granos depende de la variedad de maíz, de las condiciones ambientales (temperatura y HR), de la edad de la planta y de la ubicación geográfica de la plantación, por tal motivo Nuss y Tanumihardjo (2010) reportaron que los análisis nutricionales de los granos de maíz deben ser vistos como valores estimados en lugar de cantidades permanentes.

En la Tabla 2 se presenta la composición de los macro y micro nutrientes presentes en los granos de maíz tierno.

Tabla 2. Composición química y nutricional de los granos de maíz tierno (choclo)

| | Componente químico | Contenido nutricional de materia comestible (100 g) | Parte principal del grano |
|-----------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|
| Macro nutrientes (%) | Humedad | 70,0 | Pericarpio, endospermo y germen |
| | Carbohidratos | 23,7 | Endospermo y Germen |
| | Proteína | 4,2 | Endospermo |
| | Lípidos | 1,3 | Germen |
| | Fibra | 0,8 | Pericarpio, endospermo y germen |
| | Cenizas | 0,8 | |
| | Energía (kcal/100g) | 123,0 | |
| Micro nutrientes (mg/100g) | Sodio | 78,1 | Germen y endospermo |
| | Potasio | 304,0 | |
| | Calcio | 8,2 | |
| | Fósforo | 117,0 | |
| | Hierro | 1,8 | |
| | Tiamina | 0,1 | |
| | Riboflamina | 0,1 | |
| | Niacina | 1,0 | |
| | Vitamina C | 6,3 | |

Fuente: Alonso *et al.*, 2002

1.1.7 SITUACIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ EN EL ECUADOR

En el Ecuador el cultivo de maíz tierno (choclo) presenta una superficie de siembra de 53 393 ha, con una producción de 53 725 Tm distribuidas en la Sierra en las provincias de Loja, Azuay, Pichincha, Bolívar, Chimborazo, Tungurahua e Imbabura; en las provincias de Manabí, Esmeralda y Guayas en la Costa y en la provincia de Pastaza en el Oriente (ESPAC, 2010; Yáñez *et al.*, 2007).

El cultivo de maíz tierno en la Provincia de Bolívar es uno de los de mayor importancia comparado con los cultivos de papa y trigo. El maíz ocupa el primer lugar en producción con una superficie de siembra de 9 011 ha y con una producción 5 873 Tm (ESPAC, 2010).

En el año 2010 los principales problemas que afectaron la producción y el rendimiento nacional correspondieron a la presencia de sequías, heladas, inundaciones y enfermedades (ESPAC, 2010), la superficie de pérdida en la producción de maíz tierno suave fue de 1 248 ha por sequías, 363 ha por heladas y 241 ha por inundaciones. En cambio las enfermedades produjeron pérdidas en 219 ha y las plagas en 322 ha (ESPAC, 2010). Otros problemas que producen pérdidas significativas son: la inadecuada infraestructura de riego y de asistencia técnica, la carencia de semilla certificada, y los sistemas tradicionales de cultivo (monocultivo) (Yáñez *et al.*, 2007).

1.1.8 USOS

La importancia y difusión del cultivo de maíz radica en que la producción se destina como fuente de alimento para humanos y animales. La mazorca o el grano puede ser consumido directamente hervido, frito, tostado, molido ó procesado industrialmente para panificación, bebidas alcohólicas, espesantes de alimento, edulcorantes, aceites, almidones y productos no comestibles, los procesos y productos finales provenientes del maíz se presentan en la Figura 4 (Nuss y Tanumihardjo, 2010).

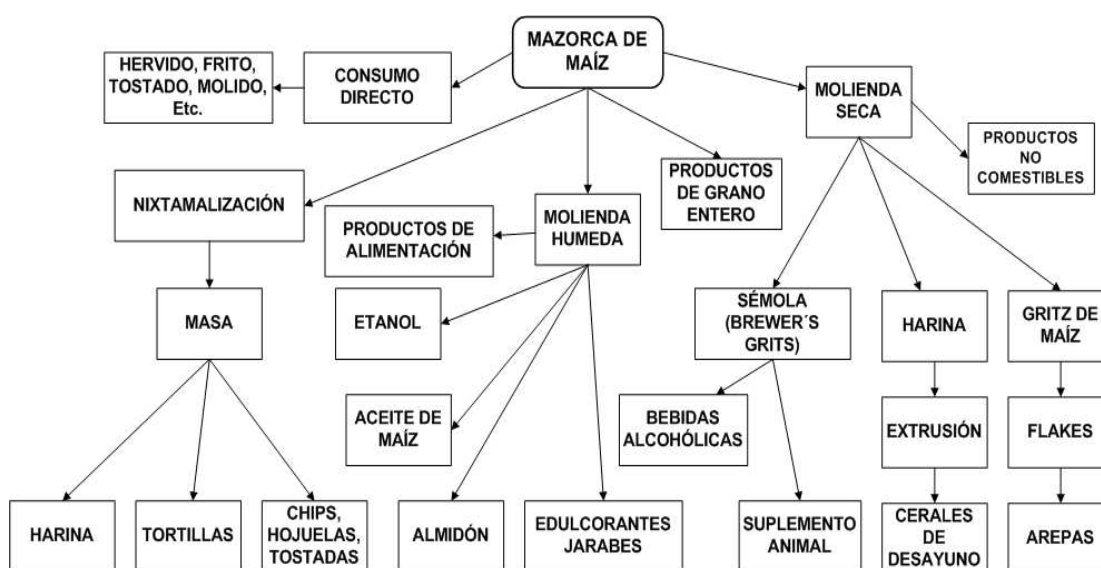


Figura 4. Principales procesos y productos finales provenientes del maíz (Nuss y Tanumihardjo, 2010)

En la última década los biocombustibles, especialmente la producción de etanol a partir de maíz, se desarrollaron a nivel mundial. La producción de biocombustible incrementó de 10 millones de toneladas en el año 2000 a 60 millones de toneladas en el año 2007 aproximadamente, para el 2015 se estima una producción de 73 millones de toneladas de biocombustibles y de 147 millones para el 2030. El 90% de la producción de se encuentra concentrada en Estados Unidos, Brasil y Europa (Coluta *et al.*, 2008).

1.1.9 VARIEDADES DE MAÍZ EN EL ECUADOR

En el Ecuador, existe una gran diversidad de maíz, sin embargo para la producción de maíz tierno la preferencia de los productores locales está en los cultivares blancos harinosos (Yáñez *et al.*, 2007). Las principales variedades de maíz existentes en el Ecuador son: Canguil, Sabanero, Cuzco, Patillo, Mishca, Racimo de uva, Chillo, Chulpi, Morochón, Huandango y Uchima. Las variedades mejoradas conservan las mismas características de mazorca y grano que el material original, así como la adaptación específica a las regiones que notablemente superan a las variedades tradicionales (Yáñez *et al.*, 2003); entre ellas están:

INIAP-101: Blanco harinoso precoz

INIAP-102: Blanco suave “Blanco blandito”

INIAP 111: Blanco harinoso tardío “Guagal mejorado”

INIAP-122: Amarillo suave precoz “Caucho mejorado”

INIAP-124: Amarillo suave precoz “Mishca”

INIAP-130: Amarillo suave precoz

INIAP-153: Blanco semiduro de precocidad intermedia

INIAP-160: Blanco duro de precocidad intermedia

INIAP-180: Amarillo duro de precocidad intermedia

INIAP-192: Chulpi mejorado

INIAP-528: Blanco suave

INIAP-542: Amarillo duro

INIAP-H-601: Híbrido

Tabla 3. Características agronómicas y morfológicas del maíz tierno, variedad INIAP-111, (Guagal mejorado)

| | |
|--|---------------|
| Tipo | Suave, tardío |
| Altitud (msnm) | 2400 – 2800 |
| Días de siembra a floración femenina | 134 |
| Días a cosecha en choclo | 208 |
| Días a cosecha en seco | 265 |
| Altura de la planta (cm) | 300 |
| Altura de inserción de la mazorca (cm) | 178 |
| Longitud de la mazorca (cm) | 20 |
| Rendimiento comercial | |
| En choclo (sacos/ha, sacos de 130 unid) | 190 |
| En grano seco en unicultivo (kg/ha) | 4 100 |
| En asociación con fréjol (kg/ha) | 3 400 |
| Color del grano tierno | Blanco |
| Color del grano seco | Blanco |
| Tipo de grano | Harinoso |
| Textura del grano | Suave |

Fuente: Silva *et al.*, 1997; Yáñez *et al.*, 2003

La variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) fue desarrollada utilizando variedades locales colectadas en los cantones Guaranda, San José de Chimbo, San Miguel y Chillanes, con la participación de técnicos y agricultores de la provincia de Bolívar, durante un periodo de cuatro años (1989 - 1993), las variedades locales se cruzaron entre ellas para formar la variedad Guagal mejorado, la cual se caracteriza por ser de tipo tardía, de tamaño bajo (en comparación a las variedades locales), con resistencia al acame, de buen rendimiento y calidad de grano. Se adaptan a altitudes entre los 2 400 a 2 800 m (Silva *et al.*, 1997).

1.2 MANEJO POSTCOSECHA DE MAÍZ TIERNO

El inadecuado manejo postcosecha causa pérdidas de los productos hortofrutícolas cosechados, las pérdidas alcanzan del 5 al 25% en países desarrollados, y del 20 al 50% en países en vías de desarrollo (Kader, 2002).

El producto con un inadecuado manejo postcosecha es de baja calidad y de corta vida útil, lo que impide alcanzar mercados exigentes y más lejanos. En general, el manejo postcosecha comprende las operaciones de: acopio, lavado, selección, clasificación, empacado, transporte y almacenamiento (Kitinoja y Kader, 1996).

Una de las operaciones más importante luego de la cosecha es la remoción del calor de campo de las mazorcas, el calor de campo acelera el metabolismo y el deterioro de las mazorcas (Kitinoja y Kader, 1996, Vigneault *et al.*, 2007).

La selección y clasificación permite eliminar mazorcas dañadas por plagas y enfermedades, daños mecánicos y además clasificar las mazorcas considerando los parámetros de calidad (Kader, 2002).

Las mazorcas con brácteas se empacan en sacos de polipropileno ó gavetas plásticas. En el país no se realiza ningún tratamiento postcosecha antes del empacado. La capacidad del empaque depende de las exigencias del mercado. En la provincia de Bolívar se comercializan dos tipos de sacos de maíz tierno, un saco pequeño que contiene entre 80-120 mazorcas y un saco grande que contiene entre 120-180 choclos (Alvarado, 2011).

El transporte y almacenamiento está determinado por la distancia, características del producto y la capacidad económica del productor (Kitinoja y Kader, 1996). Con el fin de mantener el valor nutritivo, comercial y sanitario de las mazorcas es necesario aplicar tecnologías para el manejo postcosecha de maíz tierno antes del transporte y durante el almacenamiento (Kitinoja y Kader, 1996).

El almacenamiento para mantener la calidad de maíz tierno se realiza a bajas temperaturas y HR controlada, se recomienda temperaturas de 0 a 5 °C y una HR superior al 90%, con un vida útil aproximada de almacenamiento de 5 a 8 días (Kader, 2002).

En Ecuador el transporte desde las zonas productoras de maíz tierno se realiza en vehículos sin refrigeración y sin ningún tratamiento postcosecha. Los lugares

donde se realiza la cosecha y los puntos de comercialización presentan distancias cortas (no superan las 12 horas), pero el producto está expuesto a movimientos bruscos, vibraciones, presión, impactos que producen daños mecánicos (Alvarado, 2011).

Para mantener la calidad del maíz tierno durante el periodo de almacenamiento y reducir las pérdidas en el manejo postcosecha es necesario considerar los factores biológicos y ambientales que influyen en el deterioro de las mazorcas y también la aplicación de tecnologías postcosecha que retarden la senescencia. De esta manera se mantiene la calidad de los productos hortofrutícolas durante el almacenamiento y se prolonga su tiempo de vida útil (Kader, 2002).

1.2.1 FACTORES BIOLÓGICOS QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO

Los productos hortofrutícolas, después de la cosecha siguen vivos y se producen cambios físicos, químicos y fisiológicos. Es importante considerar los factores internos del producto que promueven el deterioro. Los principales factores biológicos son: respiración, transpiración, producción de etileno, cambios de la composición interna, daños fisiológicos, daño físico y daño patológicos (Wills *et al.*, 1998).

La respiración en los productos hortofrutícolas es un proceso metabólico que permite el suministro de energía necesaria para el mantenimiento de la actividad celular después de la cosecha. La respiración consume compuestos almacenados (carbohidratos, proteínas, grasas), y produce dióxido de carbono, agua, y liberación de energía (calor vital) (Kader, 2002; Wills *et al.*, 1998; Parra y Hernández, 2007).

La respiración puede realizarse en presencia de oxígeno (respiración aeróbica) o sin oxígeno (respiración anaeróbica) (Parra y Hernández, 2007).

Las reacciones químicas son las siguientes:

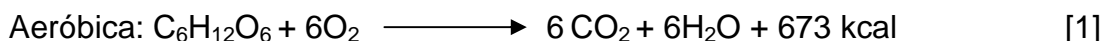


Tabla 4. Tasa de respiración para maíz tierno

| Temperatura °C | Tasa de respiración (mL CO ₂ / kg h) |
|----------------|--|
| 0 | 30-51 |
| 5 | 43-83 |
| 10 | 104-120 |
| 15 | 151-175 |
| 20 | 268-311 |
| 25 | 282-435 |

Fuente: Suslow y Cantwell, 2008.

La tasa de respiración está determinada por la cantidad de CO₂ producido por unidad de peso y de tiempo. La tasa de respiración está relacionada directamente con la temperatura de almacenamiento y es un índice que permite predecir la capacidad de conservación de un producto luego de ser cosechado (Cepeda, 1987; Wills *et al.*, 1998; Suslow y Cantwell, 2008), el maíz tiene una alta tasa de respiración y metabolismo. En la Tabla 4 se presenta la tasa de respiración para maíz tierno a distintas temperaturas de almacenamiento. Es un producto muy perecedero que requiere de la aplicación de tecnologías postcosecha para evitar el deterioro de la calidad (Kader, 2002).

El maíz tierno es un producto no climatérico, que se cosecha antes de su madurez fisiológica y la tasa de respiración no produce un pico de producción de CO₂ luego de la cosecha (Kader, 2002; Wills *et al.*, 1998).

La transpiración es un proceso fisiológico mediante el cual los productos hortofrutícolas pierden agua. La pérdida de agua es una de las principales causas

de deterioro porque produce pérdidas cuantitativas (pérdida de peso y contenido de SST) y cualitativas (aparición de producto) (Kader, 2002).

El maíz tierno contiene más del 70% de agua (Carrera y Mateo, 2005). La transpiración de las mazorcas luego de la cosecha produce disminución del peso de las mazorcas, modificación de la textura, turgencia y fibrosidad del pericarpio en los granos, marchitamiento y envejecimiento en las brácteas, y una reducción del contenido de polisacáridos solubles en agua (PSA) que se encuentra en el endospermo del grano, los cuales se convierten en almidón (Kader, 2002; Suslow y Cantwell, 2008).

La transpiración se controla con tecnologías postcosecha como aplicación de diferentes tipos de empaque, aplicación de ceras y otros recubrimientos comestibles. La pérdida de agua de las mazorcas depende de la HR del ambiente circundante (Kader, 2002; López, 2003; Wills *et al.*, 1998).

El etileno es una hormona natural de la planta, que regula el crecimiento, desarrollo y la senescencia de los tejidos vegetales. Es producido en grandes cantidades por productos climatéricos durante su maduración, pero también es inducido por el daño físico o presencia de patógenos (FAO, 1989; Kader, 2002). La tasa de producción de etileno para maíz tierno es de $0,1 \mu\text{L}/\text{kg}^* \text{h}$ a 20°C y el efecto del etileno exógeno no se considera un factor importante en el manejo postcosecha de este producto (Suslow y Cantwell, 2008).

Durante la etapa postcosecha, los productos hortofrutícolas presentan cambios en su composición. El principal cambio en la composición de los granos de maíz tierno es el de los carbohidratos (Kader, 2002). Los azúcares se convierten en almidones, lo cual modifica las características organolépticas del grano, disminuye el dulzor e incrementa la fibrosidad y dureza del pericarpio. A una temperatura de 30°C , el 60% de los azúcares en los granos de maíz tierno puede convertirse en almidón en un solo día, en comparación con el 6% a 0°C (Brecht, 2002). El cambio de ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos y lípidos influyen en el sabor de las mazorcas y en la calidad nutricional. La producción de compuestos

aromáticos volátiles está asociada con el aroma característico del producto. En las mazorcas el compuesto aromático que interviene en el aroma característico es el dimetil sulfuro (Brecht, 2002).

Los daños mecánicos causados por impacto, abrasión, corte, vibración, producen serios problemas en los tejidos internos, como pudriciones, pérdida de agua, pérdida de textura, producción de etileno y aumento en la transpiración y respiración que causa un rápido deterioro (Kitinoja y Kader, 1996).

Los daños por ataque de patógenos se producen generalmente en los tejidos afectados por daños mecánicos o fisiológicos e inducidos por altas temperaturas y HR. Es importante evitar la contaminación de productos sanos con productos contaminados (Wills *et al.*, 1998).

Las enfermedades no representan una causa importante de pérdidas en la postcosecha de maíz tierno y se presentan solo si las mazorcas ya estaban infectadas desde la cosecha (Suslow y Cantwell, 2008). La principal enfermedad es la pudrición de las mazorcas (tizón ó carbón del maíz) causada por *Fusarium moniliforme*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium proliferatum* y *Fusarium subglutinans*, *Gibberella zea*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* y *Penicillium oxalicum* (FAO, 2001).

1.2.2 FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO

El manejo adecuado de los factores ambientales que influyen en el deterioro permite mantener la calidad del producto e incrementar el tiempo de vida útil. Los factores externos que influyen en el deterioro son: la temperatura, la HR, la composición de la atmósfera circundante, la presencia de etileno y otro factores como la luz, uso de productos químicos, etc. (Kader, 2002).

El control de la temperatura en el almacenamiento es un factor importante para mantener la calidad de las mazorcas. La velocidad de las reacciones enzimáticas aumenta exponencialmente con el incremento de la temperatura. La disminución

de la temperatura de almacenamiento, dentro de los límites establecidos para maíz tierno, reduce la tasa de respiración y transpiración, y la producción de etileno, disminuye la actividad microbiana y mitiga los efectos de daño mecánico (Thompson *et al.*, 2002). Para el maíz tierno el intervalo de temperatura de almacenamiento recomendado es 0-5 °C y HR superior al 90%, se ha reportado que con estas condiciones se disminuye la pérdida de peso, se mantiene la apariencia, la textura y el sabor del producto (Brecht, 2002).

La modificación de la atmósfera reduce la concentración de O₂ e incrementa la concentración de CO₂, esto retarda la senescencia de las mazorcas de maíz (Brecht, 2002). Para maíz tierno se recomienda niveles de 2 a 4% de O₂ y 5-10% de CO₂ (Kader, 2002).

1.2.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS MAZORCAS DE MAÍZ TIERNO

Para maíz tierno la calidad se evalúa de acuerdo a su apariencia y uniformidad, filas de granos bien formadas, turgencia, contenido lechoso de granos, y la ausencia de daños y defectos (decoloración, daño físico, daño por plagas, enfermedades o podredumbre) y finalmente estado de madurez óptimo (Brecht, 2002; Suslow y Cantwell, 2008).

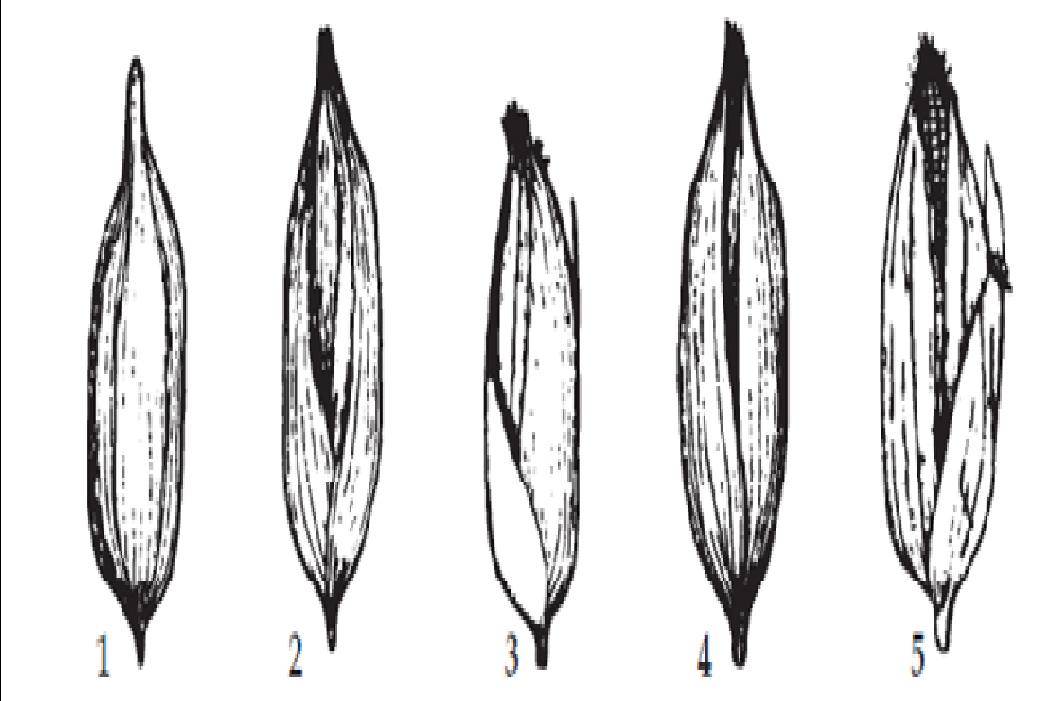
En el Ecuador para la comercialización de maíz tierno se consideran como parámetros de calidad la cobertura de las mazorcas, la longitud y el diámetro de las mazorcas (tamaño) y el estado de madurez (Pacheco *et al.*, 1990; CIMMYT, 1995).

1.2.3.1 Cobertura de las mazorcas

La cobertura de las mazorcas permite determinar si las mazorcas cosechadas están expuestas total o parcialmente al ambiente o las hojas de envoltura no están apretadas. Para calificar las mazorcas se utiliza la escala de 1 a 5 que se presenta en la Tabla 5 (CIMMYT, 1995)

Tabla 5. Escala de calificación de cobertura de las mazorcas (CIMMYT, 1995)

| Escala de calificación | Cobertura por las brácteas* |
|------------------------------------|--|
| 1 Excelente | Las brácteas cubren apretadamente la punta de las mazorcas y se extiende más allá de ella. |
| 2 Regular | Cubren apretadamente la punta de las mazorcas |
| 3 Punta expuesta | Cubren flojamente las mazorcas hasta la punta |
| 4 Grano expuesto | Las brácteas no cubren las mazorcas y dejan la punta expuesta |
| 5 Completamente inaceptable | Cobertura deficiente, la punta está claramente expuesta |



* La cobertura de las mazorcas se reporta en porcentaje

1.2.3.2 Longitud y diámetro de las mazorcas (tamaño)

El tamaño de la mazorca se evalúa con el valor de la longitud y el diámetro ecuatorial. La longitud de la mazorca se mide desde la inserción del pedúnculo hasta el extremo donde finalizan las brácteas, y el diámetro se mide en la parte más ancha de la mazorca con brácteas, como se presenta en la Tabla 6. La tolerancia máxima para el tamaño de mazorcas que no cumplan con el rango es de 5% del total de las mazorcas.

Tabla 6. Calidad de las mazorcas de maíz tierno según su tamaño (Norma INEN 1 761)

| TIPO (TAMAÑO) | Diámetro ecuatorial (cm) | Longitud (cm) |
|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| I (grande) | $\geq 7,0$ | $\geq 20,1$ |
| II (mediano) | 4 - 6,9 | 10 – 20 |
| III (pequeño) | $\leq 3,9$ | $\leq 9,9$ |

Fuente: Pacheco *et al.*, 1990

1.2.4 ÍNDICES DE MADUREZ

Los índices de madurez son un factor importante en el manejo postcosecha. Las técnicas para medir los índices de madurez deben ser simples, fáciles de aplicar en el campo y de bajo costo. Preferentemente deben ser objetivos (medibles) en lugar de subjetivos (evaluativos) (Kader, 2002).

Los productos cosechados precozmente carecen del sabor apropiado y los productos cosechados tardíamente pueden ser demasiado fibroso o estar sobre maduros (Kitinoja y Kader, 1996).

Para la determinación de un índice de madurez es necesario considerar los cambios que se presentan en el producto (tamaño, color, firmeza, etc.) durante todas las etapas de desarrollo del mismo. La relación entre los cambios en la calidad de un producto durante la postcosecha y los índices de madurez permiten fijar una madurez mínima aceptable para la comercialización de cada producto (Wills *et al.*, 1998).

Es importante considerar que para determinar un índice de madurez es necesario realizar pruebas experimentales por varios años, en distintas épocas de cosecha y en distintos lugares de crecimiento, para asegurar que el índice siempre reflejará las características de madurez del producto (Kader, 2002).

Las principales características utilizadas como índices de madurez son: las características cronológicas, los cambios físicos, los cambios de color, los cambios en la textura, los cambios químicos y los cambios fisiológicos (FAO, 2003).

Las características cronológicas: Son muy utilizadas como índices de madurez y permiten planificar y registrar las etapas de desarrollo del cultivo, por ejemplo los días después de la siembra, los días de floración están relacionados con los días de cosecha (Wills *et al.*, 1998).

Los cambios físicos: Son el tamaño, la forma o propiedades de la superficie del producto y definen las características del producto para la cosecha (FAO, 2003).

Los cambios de color: Se presentan en la maduración de los productos hortofrutícolas se miden de forma objetiva con ayuda de equipos y de manera evaluativa, al comparar con escalas de color (Wills *et al.*, 1998).

Las propiedades de la textura: Se miden como la fuerza requerida para penetrar o cortar el mismo, en algunos productos se produce ablandamientos con la maduración y otros productos se convierten en fibrosos o duros (FAO, 2003).

Los cambios químicos: Se presenta en la maduración de un producto son: contenido de sólidos solubles totales (SST), contenido de almidón, acidez, etc. Estos métodos son poco aplicables como índices de madurez porque son destructivos (Kader, 2002).

Los cambios fisiológicos: Están asociados a medir la tasa de respiración y producción de etileno del producto. Estos métodos son complejos y costosos, por lo que son poco aplicables (Wills *et al.*, 1998).

Los índices de madurez para maíz tierno combinan características cronológicas, fisiológicas, físicas y químicas: días de floración a cosecha, hojas de envoltura apretadas y de color verde, estigmas de la mazorca totalmente marchitos, granos inmaduros fisiológicamente, turgentes y con un líquido lechoso (70-75% de humedad) (Suslow y Cantwell, 2008).

1.2.4 TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO POSTCOSECHA

La tecnología postcosecha utiliza un conjunto de operaciones que protegen la calidad física y nutricional del producto para prolongar el periodo de vida útil.

Los tres objetivos principales de la aplicación de la tecnología postcosecha son:

1. Mantener la calidad (apariencia, textura, sabor y valor nutritivo).
 2. Proteger o garantizar la seguridad alimentaria.
 3. Reducir las pérdidas entre la cosecha y el consumo.
- (Kitinoja y Kader, 2003).

Los principales procesos tecnológicos aplicados a productos hortofrutícolas son: el preenfriamiento, almacenamiento a condiciones de temperatura y HR controlada, empleo de atmósferas modificadas, aplicación de recubrimientos y la irradiación (López, 2003).

El preenfriamiento y la modificación de la atmósfera circundante se detallarán en el acápite 1.3.

Los recubrimientos y películas comestibles se forman directamente sobre el producto usando soluciones líquidas o dispersiones que pueden ser aplicadas directamente mediante inmersión, aspersion o con el uso de cepillos. El recubrimiento sobre el producto bloquea los estomas y disminuye el intercambio gaseoso, esto produce una modificación de la atmósfera interna obteniendo resultados similares al almacenamiento de atmósferas modificadas (AM) y atmósferas controladas (AC) (Baldwin *et al.*, 1995). En la bibliografía consultada no se encontró información de la aplicación de recubrimientos y películas comestibles en maíz tierno.

El almacenamiento a condiciones de temperatura y HR controlada es una herramienta efectiva para prolongar la vida útil de los productos hortofrutícolas frescos. Se inicia con la rápida eliminación del calor de campo mediante el uso de

métodos de preenfriamiento. El control de la HR es importante para disminuir la pérdida de peso y el desarrollo de trastornos fisiológicos. Las instalaciones de almacenamiento en frío deben estar diseñadas y equipadas adecuadamente para mantener la temperatura y la HR apropiadas durante el tiempo de almacenamiento (Gordon, 1992). La aplicación de radiaciones ionizantes inhibe el crecimiento de brotes y los procesos enzimáticos de maduración, disminuye el ataque de microorganismos y prolonga la vida útil del producto, en dosis apropiadas se considera un tratamiento fitosanitario que mejora las posibilidades de exportación de ciertos productos (Kader, 2002).

1.3 TRATAMIENTOS POSTCOSECHA DE HIDROENFRIAMIENTO Y ATMÓSFERA MODIFICADA

1.3.1 PREENFRIAMIENTO

El preenfriado es el proceso en el cual se reduce rápidamente la temperatura de los productos hortofrutícolas luego de la cosecha. Las características físicas, químicas y fisiológicas de un producto pueden limitar los métodos de enfriamiento. En algunos casos el producto no tolera las condiciones del preenfriamiento y puede generar lesiones y enfermedades. El preenfriamiento de un producto hortofrutícola se realiza previo a un procesamiento industrial, almacenamiento o transporte refrigerado (Kader, 2002).

Las cámaras de refrigeración o cuartos frío están diseñadas para mantener baja la temperatura, pero no poseen la capacidad para extraer rápidamente el calor de campo de un producto, que en ocasiones supera a la temperatura ambiente, si el producto se encuentra expuesto directamente a la radiación solar (Kader, 2002; López, 2003).

La velocidad de enfriamiento de un producto está relacionada con la diferencia entre la temperatura inicial del producto y la temperatura del medio refrigerante. La curva de disminución de la temperatura es una función logarítmica que indica

un rápido enfriamiento inicial seguido por una velocidad de enfriamiento más lenta hasta llegar a la temperatura final. El proceso de enfriamiento incrementa considerablemente el costo energético. Por esta razón, en las operaciones comerciales se reduce la temperatura hasta cuando el producto ha perdido 7/8 de la diferencia entre la temperatura inicial del producto y la deseada, como se observa en la Figura 5. Normalmente se deja que el 1/8 restante lo pierda durante el almacenamiento o transporte (Kader, 2002; López, 2003).

$$T_{\text{final}} = T_{\text{inicial}} - \left[\frac{7}{8} (T_{\text{inicial}} - T_{\text{refrigerante}}) \right] \quad [3]$$

Donde:

T_{final} : Temperatura final (7/8)

T_{inicial} : Temperatura inicial del producto

$T_{\text{refrigerante}}$: Temperatura del medio refrigerante (agua)

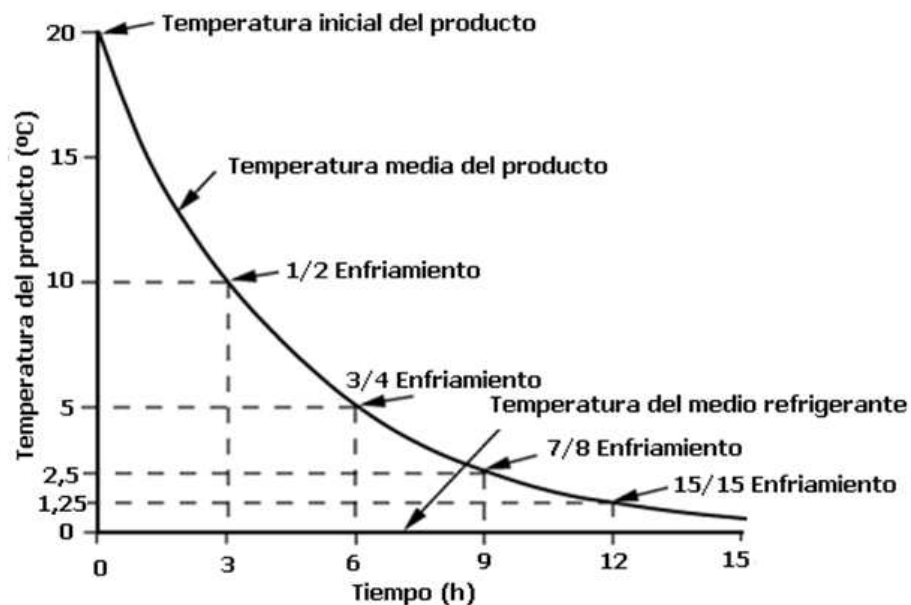


Figura 5. Disminución de temperatura de un producto expuesto a un medio refrigerante (Thompson *et al.*, 2002)

El preenfriamiento puede realizarse por medio de aire frío (cámaras de refrigeración, enfriamiento por aire forzado), con agua fría (hidroenfriamiento) y evaporación de agua (enfriamiento al vacío) (Thompson *et al.*, 2002).

El enfriamiento en cámara o cuartos fríos (aire frío): Es el método más común y simple, consiste en exponer al producto al aire frío de la cámara de refrigeración, se utiliza principalmente para productos de larga vida de almacenamiento, estos productos pueden enfriarse y almacenarse en el mismo lugar, el enfriamiento es lento porque el aire de la cámara debe circular a baja velocidad (Thompson *et al.*, 2002; Vigneault *et al.*, 2007).

El método de aire forzado: Se realiza exponiendo al producto a una corriente de aire frío que circula por la superficie del producto, removiendo así el calor y acelerando la tasa de enfriamiento. Este método es de 4 a 10 veces más rápido que en una cámara fría y es aplicable a un mayor número de productos (Vigneault *et al.*, 2007).

El enfriamiento al vacío: Es un sistema de enfriamiento evaporativo. El producto se coloca en un recipiente hermético y se reduce la presión a 0,66 kPa (5 mmHg), con esta presión el punto de ebullición del agua es de 1 °C y se retira rápidamente del producto el calor latente de evaporización, pero se genera una pérdida de agua aproximadamente del 1% del peso inicial del producto. Esta pérdida de agua puede ser controlada mediante nebulizaciones de agua sobre la superficie del producto, antes de introducirlo en la cámara de vacío o al final de la evaporación.

La principal desventaja de este método es que tiene un mayor costo comparado con los otros métodos y depende del cociente superficie/volumen del producto y de la facilidad con que éste pierda agua (Thompson *et al.*, 2002).

El hidrogenfriamiento: Utiliza el agua como medio refrigerante y tiene una mayor capacidad para extraer el calor (coeficiente de transferencia), es un método mucho más rápido que el enfriamiento por aire. El agua remueve el calor 15 veces más rápido que el aire (Boyette *et al.*, 1992; Vigneault *et al.*, 2007).

El hidrogenfriado puede realizarse por inmersión o por aspersión, dependiendo de la densidad y la sensibilidad del producto al frío. El agua en el hidrogenfriamiento es recirculada, por lo que es muy importante la adición de cloro (100-150 ppm)

para evitar la acumulación de patógenos y su dispersión a otros tejidos vegetales sanos (Vigneault *et al.*, 2007).

En el hidrogenfriamiento por inmersión como se observa en la Figura 6, la superficie del producto se encuentra totalmente en contacto con el agua, este método es utilizado comúnmente para productos a granel. Para recircular el agua es necesario la instalación de bombas, hélices o sistemas de borboteo (Thompson *et al.*, 2002).

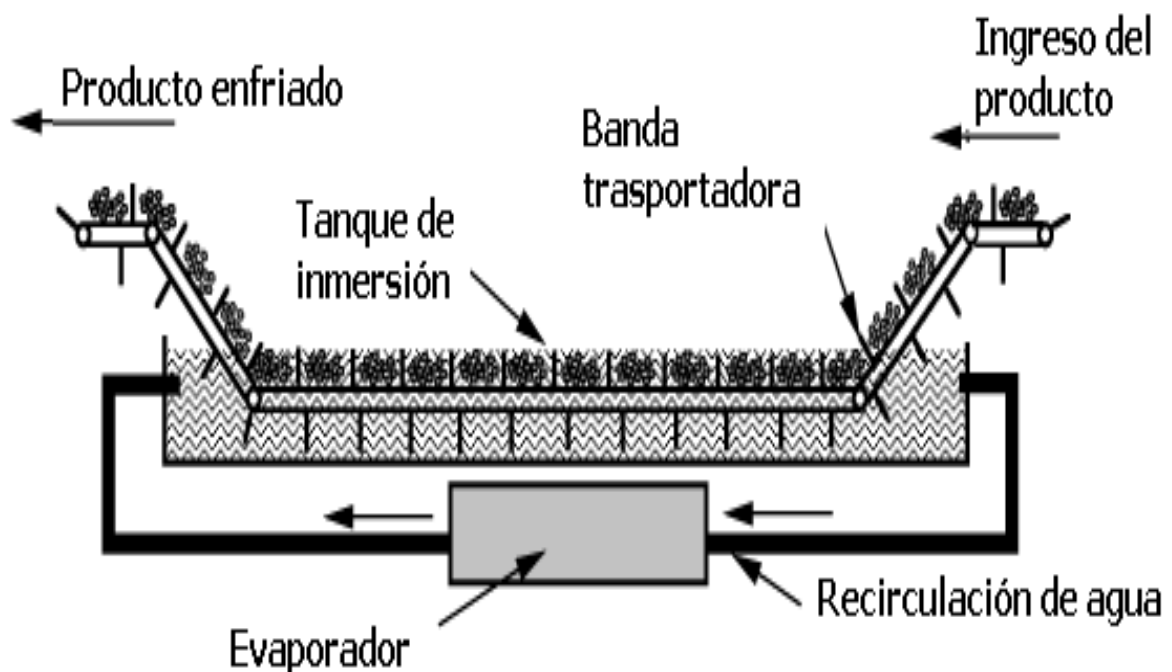


Figura 6. Hidrogenfriador continuo por inmersión
(Thompson *et al.*, 2002)

En enfriadores por aspersión como se indica en la Figura 7, el agua es bombeada a la parte superior de un distribuidor que presenta perforaciones y baña la superficie del producto. El agua luego de pasar por el producto debe ser filtrada para retener lo desechos y evitar taponamientos en los serpentines de refrigeración ó boquillas de aspersión (Thompson *et al.*, 2002).

El tiempo de enfriamiento depende del diámetro del producto y de las velocidades de flujo del agua, de la temperatura inicial del producto y la temperatura del medio refrigerante (Boyette *et al.*, 1992; Thompson *et al.*, 2002; López, 2003).

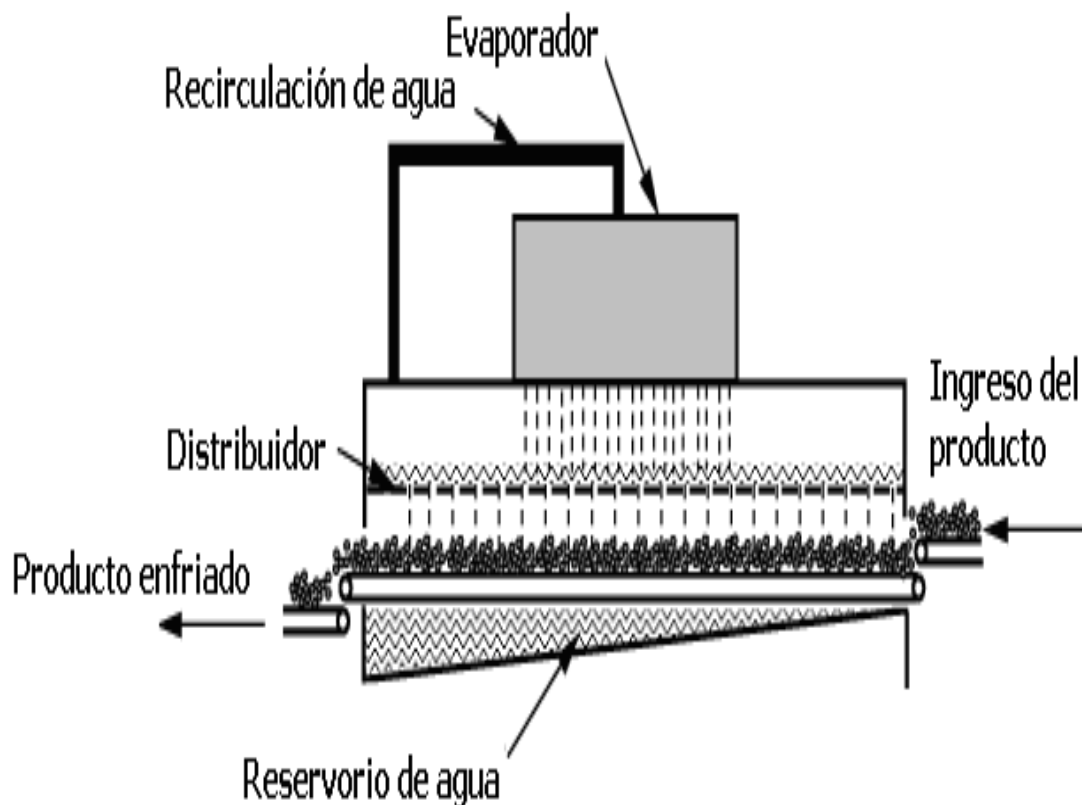


Figura 7. Hidrogenfriador continuo por aspersión
(Thompson *et al.*, 2002)

En una investigación realizada con mazorcas de maíz dulce preenfriadas con enfriadores de inmersión y aspersión, se reportó que la orientación perpendicular de las mazorcas al flujo de agua, permitió un mayor contacto entre la superficie del producto y el medio refrigerante, en comparación con una orientación paralela al flujo de agua (Vigneault *et al.*, 2007). El hidrogenfriado por inmersión generó un menor tiempo para llegar a la temperatura de almacenamiento.

El preenfriamiento rápido y el almacenamiento a baja temperatura (0-5 °C) y alta HR (>90%) es el factor clave para garantizar la máxima calidad en la postcosecha de maíz tierno (Brecht, 2002). Estos tratamientos reducen la tasa de respiración y por consiguiente el consumo de nutrientes, además redujeron tanto la pérdida de agua como el crecimiento microbiano y prolongaron el tiempo de vida útil del producto. Para maíz tierno se recomienda los siguientes procesos de preenfriamiento: hidrogenfriamiento, enfriamiento al vacío, bolsas de hielo y enfriamiento por aire forzado (Kader, 2002).

En el maíz tierno tiene una alta tasa de respiración, por tanto es necesario un enfriamiento rápido para mantener las mazorcas a una temperatura recomendable de almacenamiento y reducir su deterioro (Brecht, 2002).

Algunos productos hortofrutícolas son susceptibles al daño por frío cuando se refrigeran a temperaturas inferiores al límite de tolerancia, este límite depende de cada producto. El daño por frío reduce la calidad del producto y acorta la vida útil. En el maíz tierno el daño por frío se produce cuando la temperatura de almacenamiento es inferior a $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (FAO, 1989).

El daño por frío generalmente se produce por el inadecuado manejo de las bajas temperaturas, y conduce a un acelerado deterioro de la calidad. El congelamiento, (exposición prolongada a temperaturas inferiores a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), produce la formación de cristales de hielo que destruyen los tejidos vegetales con síntomas que se manifiestan una vez que son descongelados como una pérdida de turgencia, presencia de exudados y daño de los tejidos. El daño por frío es poco frecuente a nivel de almacenamiento refrigerado, porque ocurre normalmente por descuido o por el mal funcionamiento de los equipos y controladores de temperatura (Kader, 2002; Kitinoja y Kader, 1996; López, 2003).

1.3.2 ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS

La modificación de la composición de la atmósfera (78,1% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 0,03% de CO_2) conjuntamente con el control de la temperatura y de la HR influye en la vida útil de los productos hortofrutícolas (Kader, 2002).

La diferencia entre la atmósfera modificada (AM) y controlada (AC), es el control de la composición de los gases. En la AC, las concentraciones de O_2 y CO_2 permanecen constantes mientras que en la AM existe fluctuaciones de éstas concentraciones como resultado de la respiración del producto y del intercambio de gases con el ambiente externo (López, 2003). En la AC y AM se incrementa la concentración de CO_2 ($>3\%$) y se reducen los niveles de O_2 ($<5\%$). Existen varios métodos para la modificación de la atmósfera, entre ellos, se utilizan empaques

(películas plásticas) con una determinada permeabilidad a los gases. La concentración de la atmósfera en el interior del empaque depende del producto, de las características de las películas y de la temperatura de almacenamiento (Kader, 2002; López, 2003).

Al utilizar AC y AM para el almacenamiento de productos se pueden presentar concentraciones de O₂ menores al 1% que producen efectos perjudiciales como respiración anaerobia (fementación), daño interno de los tejidos que se manifiesta como pardeamientos en la superficie del producto, maduración irregular, acumulación de etanol, acetaldehído y otros compuestos que producen sabores y olores extraños en el almacenamiento del producto (Kader, 2002).

La atmósfera modificada se clasifica en atmósfera modificada pasiva y atmósfera modificada activa. La concentración de los gases en la atmósfera modificada pasiva se produce por la interacción de la tasa de respiración de los productos y la permeabilidad del material de empaque (película plástica) (López, 2003). La atmósfera modificada activa elimina o adiciona un determinado volumen de gas en el interior del paquete, esto permite que el ambiente deseado esté disponible rápidamente, y prolonga la vida de almacenamiento de los productos (Brecht, 2002).

Las concentraciones de O₂ y CO₂ recomendadas para mantener la calidad del maíz son de 2 a 4% y de 5 a 10%, respectivamente. Los beneficios de aplicar esta tecnología en el almacenamiento de maíz tierno son la reducción en la pérdida de peso en las mazorcas (<1,5%), reducción de la tasa de respiración (sin llegar a la respiración anaeróbica), reducción de la pérdida de azúcares, disminución de la producción de etileno, reducción de la pérdida la textura de los granos y disminución del ataque de patógenos (Brecht, 2002).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIALES

2.1.1 MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada para la caracterización física y química del maíz tierno y el estudio de la fisiología postcosecha fue maíz tierno de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) en etapa de madurez lechosa, cosechado en el mes de noviembre del 2010, en el sector de Rumipamba del cantón San Miguel de la provincia de Bolívar, según consta en el acápite 2.3 y 2.4, respectivamente. Las mazorcas fueron cosechadas a tempranas horas de la mañana, seleccionadas, empacadas en sacos de polipropileno y transportadas en un camión con cubierta para evitar el calentamiento de las mazorcas durante el transporte hacia a la Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional en Quito, con un tiempo aproximado de transporte de 5 h. Luego se realizó una aleatorización de las mazorcas en gavetas plásticas, para homogeneizar dentro de lo posible la materia prima. Se almacenó a temperatura ambiente (aproximadamente 17 °C) hasta el siguiente día para iniciar los tratamientos. Se utilizaron 13 sacos de maíz tierno (60 mazorcas/saco aproximadamente), con un peso promedio de 37,2 kg/saco. Se eliminaron del proceso las mazorcas con presencia de patógenos y daños físicos. Por falta de disponibilidad de la materia prima, la determinación de los índices de madurez del maíz tierno, se realizó con mazorcas en estado de ámpula y cosechadas en el mes de junio del 2011, en la plantación ubicada en el sector de Aguacoto (cantón Guaranda), del Campus de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Estatal de Bolívar, según consta en el acápite 2.2.

2.1.2 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El deshojado o eliminación de las brácteas de las mazorcas se realizó de forma manual con ayuda de una inserción longitudinal en la parte superior, y un corte

transversal en la base de la mazorca, como se indica en la Figura 8, de esta manera se evitó causar desprendimientos del pedúnculo. Se midió desde la base de la mazorca un centímetro del pedúnculo y se realizó un corte transversal (la parte del pedúnculo se utilizó como reserva de nutrientes de la mazorca).



Figura 8. Cortes transversal (a) y longitudinal (b) para el deshojado o eliminación de las brácteas de la mazorca

Se eliminaron los fragmentos o residuos de brácteas y los estigmas que se encontraban entre las filas de los granos. Luego se colocaron las mazorcas en mallas plásticas para facilitar la aplicación de los tratamientos seleccionados.

Las mazorcas fueron sometidas a un proceso de preenfriamiento (hidroenfriamiento), escurrido en gavetas plásticas con una lámina de esponja en la base. El exceso de agua se eliminó con la ayuda de un soplador de aire (Marca Electro Mecano, modelo 5075-2, Quito) a temperatura ambiente (aproximadamente a 20 °C). Luego las mazorcas se almacenaron a 4 °C hasta que fueron empacadas en bandejas con dos tipos de empaques. Se utilizaron 30

mazorcas enteras por tratamiento. Se utilizó un diseño factorial 2^2 , donde las variables del proceso fueron el preenfriamiento y el tipo de empaque.

El producto empacado en bandejas se almacenó bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, hasta un máximo de 21 días a 4 °C y 90% de HR, más 2 días a temperatura ambiente (20 °C) para simular el tiempo de vida en estante. En el Anexo A se presentan las fotografías de las mazorcas empacadas y el almacenamiento a humedad y temperaturas controladas de las mismas.

La evaluación de la calidad del producto se realizó al inicio (día 0) y cada 7 días hasta el final del periodo de almacenamiento. Las variables de control fueron pérdida de peso (%), pH, contenido de SST (°Brix), acidez titulable, concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el interior de los empaques, firmeza, contenido de almidón, evaluación de la calidad visual de las mazorcas y análisis sensorial.

2.1.3 PREENFRIAMIENTO

Las mazorcas fueron preenfriadas por inmersión en agua, con 100 ppm de cloro. Este tratamiento se realizó en un hidrogenfriador (Marca Lactoquinox, modelo TENF-01, Quito). Lotes de 30 mazorcas con una temperatura promedio de 19 °C en el centro del raquis, fueron sumergidos en agua a 3 °C, como se indica en la Figura 9A. El agua fría se hizo recircular en el equipo hasta que la temperatura del maíz tierno fue de 5 °C. La temperatura se midió con termocuplas colocadas en el agua y en el centro de las mazorcas y se registro en un registrador de temperatura (Marca Eball, modelo 29-CTF, USA). Las mazorcas sin preenfriamiento fueron sumergidas en agua con 100 ppm de cloro a temperatura ambiente por 20 min aproximadamente, como se indica en la Figura 9B.

2.1.4 EMPACADO

Para el empacado del producto se utilizaron bandejas de poliestireno expandido de 16,5 cm de ancho y 22 cm de largo y dos tipos de láminas plásticas. En el

Anexo C se presentan las especificaciones técnicas de las láminas plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) y cloruro de polivinilo (PVC para alimentos). Se colocaron dos mazorcas por bandeja con un peso aproximado de 600 g por cada bandeja. En la Figura 10 se presenta los productos empacados con los dos tipos de lámina.

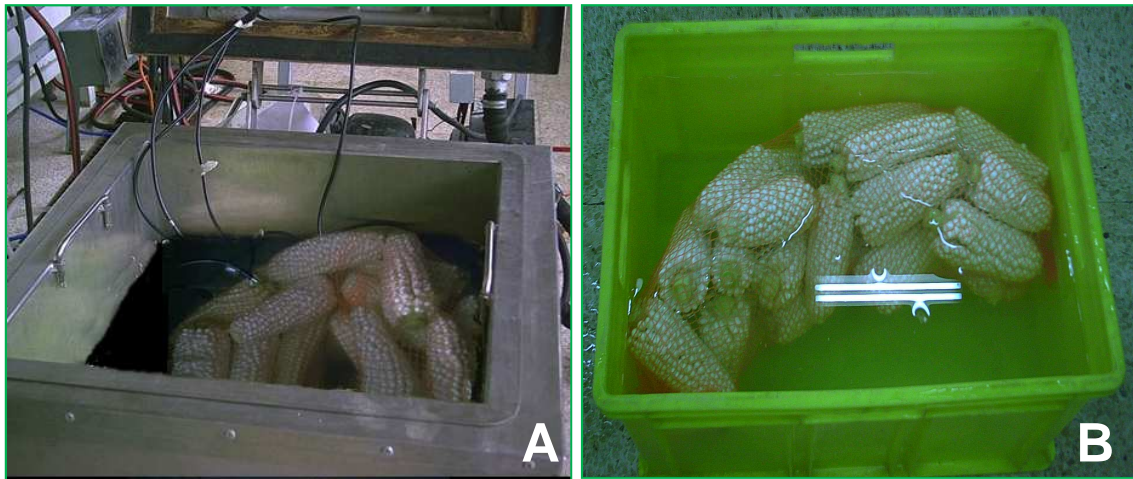


Figura 9. Fotografías de mazorcas en el hidrogenfriador (A) y mazorcas sin preenfriar (B)

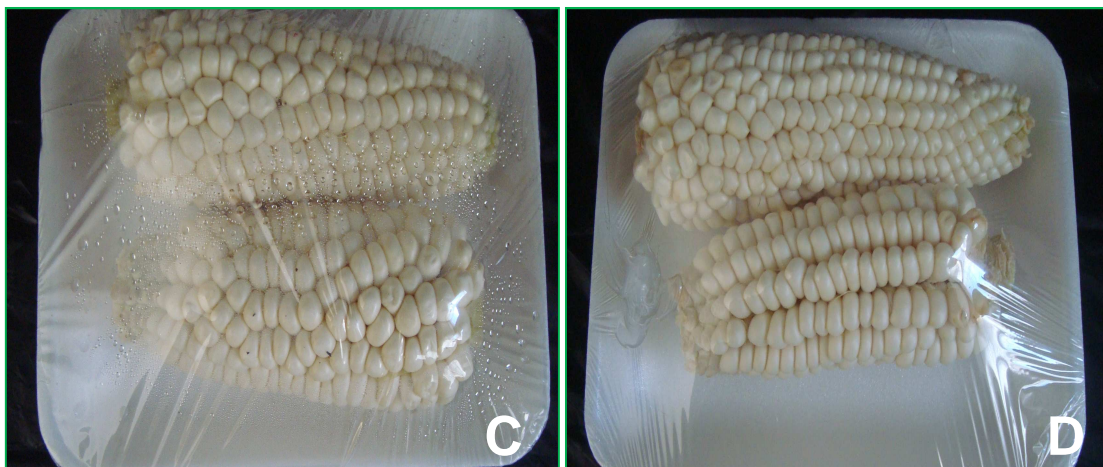


Figura 10. Fotografías de mazorcas empacadas con láminas de PEBD (C) y PVC (D)

En la Tabla 7 se indican los códigos utilizados en toda la experimentación para cada tratamiento, de la misma manera, durante toda la investigación se

designaron a los tiempos de almacenamiento 7, 14, 21 días a 4 °C, seguidos de 2 días a 20 °C, como primer, segundo y tercer periodo de almacenamiento, respectivamente.

Tabla 7. Códigos de identificación de los tratamientos

| CÓDIGO | TRATAMIENTO |
|---------------|------------------------------|
| EA | Enfriado + lámina de PEBD |
| EB | Enfriado + lámina de PVC |
| SEA | Sin enfriar + lámina de PEBD |
| SEB | Sin enfriar + lámina de PVC |

2.2 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE MADUREZ DE LA MATERIA PRIMA

Por falta de disponibilidad de la materia prima, la determinación de los índices de madurez del maíz tierno se realizó en el mes de junio del 2011 en una plantación ubicada en el sector de Aguacoto (cantón Guaranda), en el Campus de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Estatal de Bolívar, que tiene una superficie de 9 590,4 m² y un total aproximado de 14 726 plantas.

Para determinar el estado de madurez de las mazorcas, se evaluaron los siguientes índices: llenado del grano, contenido de SST y color de los estigmas desde la formación de la flor femenina hasta la cosecha.

Llenado de grano: Se relacionó el llenado del grano con el incremento del diámetro y longitud de la flor femenina hasta la cosecha de las mazorcas. Se determinó el diámetro ecuatorial y el largo de las mazorcas con un calibrador de precisión (Marca Precision instruments, modelo 101-107, USA).

Cambio de color de los estigmas: Se evaluó mediante la apreciación visual de los estigmas y comparados con los colores establecidos en el Atlas de color. En el

ANEXO D se detalla la forma de codificar los matices de color de los estigmas (Küppers, 2002). Se determinó una escala de marchitez de los estigmas con un rango de 1 a 5, como se indica en la Tabla 8, donde el número de la escala corresponde al porcentaje de marchitamiento del largo de los estigmas.

Tabla 8. Escala de marchitez de los estigmas

| ESCALA | Porcentaje de marchitamiento de los estigmas |
|---------------|---|
| 1 | 1 - 20% |
| 2 | 21 - 40% |
| 3 | 41 - 60% |
| 4 | 61 - 80% |
| 5 | 81 - 100% |

Los datos de llenado de grano y color de los estigmas se registraron cada 3 días durante cuatro semanas aproximadamente, desde la aparición de los estigmas hasta la cosecha.

Determinación del contenido de SST (°Brix): Se realizó con el método descrito por Risse y McDonald (1990): Para este análisis se utilizaron 3 lotes de 10 mazorcas cada uno. Para preparar el jugo de los granos de cada lote se pesaron 250 g de granos de maíz, se licuaron durante 30 s, luego se separaron los sólidos mediante filtración y se obtuvieron 150-200 mL de jugo aproximadamente. Luego el jugo se centrifugó por 10 min a 11 180 g en una centrífuga (Marca Multispeed, modelo IEC CLR31R, Porton Down), 2 gotas del sobrenadante se colocaron en un refractómetro (Marca Westover, modelo RHB-32, USA) con un rango de 0-32 °Brix (AOAC, 2005).

Los resultados se reportaron en °Brix. Los SST se determinaron cada 7 días durante cuatro semanas aproximadamente, desde la formación de los granos hasta la cosecha. El muestreo en campo se realizó utilizando el método “en

zigzag” que consistió en cruzar el campo en dirección diagonal mientras se avanza de un extremo al otro del campo (Lafitte, 1993), y se describe a continuación:

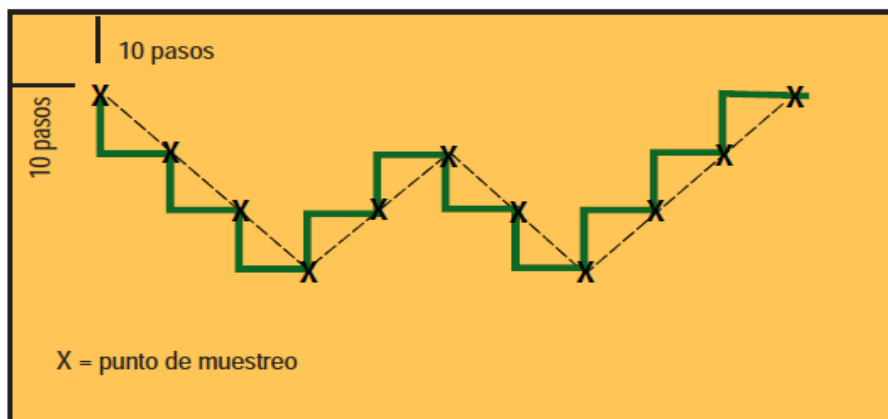


Figura 11. Esquema del método de muestreo “en zigzag” (Lafitte, 1993)

El primer punto de muestreo se ubicó a diez pasos de los extremos de la plantación. Los siguientes puntos de muestreo se ubicaron según lo descrito en la Figura 11. En cada punto de muestreo se seleccionaron 8 plantas para los análisis. Se fijaron 10 puntos de muestreo, con tres repeticiones en paralelo en todo el campo (Comunicación personal Ing. Carlos Yáñez, Programa de Maíz, INIAP).



Figura 12. Identificación y encintado de las mazorcas en los puntos de muestreo

Las muestras fueron marcadas con cintas de colores para identificar el análisis que le correspondió, como se indica en la Figura 12. Los colores utilizados fueron: Negro para el llenado de grano, rojo para el cambio de color de los estigmas y azul para el contenido de SST (°Brix).

2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL MAÍZ TIERNO

2.3.1 ANÁLISIS FÍSICOS

2.3.1.1 Peso

Se determinó el peso de las mazorcas (con brácteas y sin brácteas más 1 cm de pedúnculo), al pesar en forma directa en una balanza electrónica (Marca Boeco, modelo BBAS, Hamburgo).

2.3.1.2 Volumen y densidad

El volumen de las mazorcas se determinó al medir el volumen desplazado al sumergirlas completamente en agua. La densidad se determinó a partir del peso de las mazorcas y de su volumen.

2.3.1.3 Longitud

La longitud de las mazorcas con brácteas y mazorcas sin brácteas, se midió desde la base de las mazorcas hasta el extremo superior de acuerdo a la norma INEN-1 761 (Pacheco *et al.*, 1990). En las mazorcas que tenían 1 cm de pedúnculo no se consideró esta porción para la longitud total.

2.3.1.4 Diámetro

El diámetro se determinó en la sección transversal más ancha de la mazorca (zona ecuatorial) con un calibrador de precisión (Marca Precision instruments,

modelo 101-107, USA). El diámetro se midió también en mazorcas con brácteas y sin ellas (Pacheco *et al.*, 1990).

2.3.1.5 Firmeza

La firmeza se midió como la fuerza (N) requerida para lograr un corte transversal en el grano. El corte se realizó en un Texturómetro (Marca Lloyd Instruments, modelo 1000 S, Leicester) con un cuchillo Craft, como se indica en el Anexo E (Cartaya *et al.*, 1991).

Se determinó la firmeza de 40 granos seleccionados por el método del cuarteo, y adaptado al método descrito por Deak *et al.* (1987), modificado con las siguientes condiciones, 60 mm/min de velocidad, 5 N de fuerza y 6 mm de distancia de corte.

2.3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Para la determinación de pH, SST y acidez titulable se preparó el jugo de la forma descrita anteriormente en el acápite 2.2, determinación del contenido de SST.

2.3.2.1 Determinación de pH

El pH del jugo se determinó directamente con un pH-metro (Marca Orion, modelo 210A, Massachusetts) (AOAC, 2005).

2.3.2.2 Determinación de SST (°Brix)

Los SST se determinaron siguiendo el método descrito en el acápite 2.2.

2.3.2.3 Determinación de acidez titulable

Se tomó una muestra de 5 mL de jugo preparado, se diluyó con 50 mL de agua destilada, se añadió tres gotas de fenoftaleína y se tituló con una solución de

hidróxido de sodio (0,1 N), hasta que el color rosa persistió por 30 s. La acidez titulable se reportó como porcentaje de ácido sulfúrico con un $f_a = 0,045$ (AOAC, 2005).

2.3.2.4 Análisis de macro y micronutrientes

Al caracterizar la materia prima se determinó el contenido de humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, proteína, contenido de almidón, minerales y vitamina C. El método que se utilizó para cada análisis se presenta en la Tabla 9 (AOAC, 2005).

Tabla 9. Métodos para el análisis proximal del maíz tierno

| Analito | Método |
|--|--|
| Humedad (g/100g) | 934.01(4.1.03) AOAC 2005 |
| Cenizas (g/100g) | 923.03(32.1.05) AOAC 2005 |
| Extracto etéreo (g/100g) | 920.85(32.1.13); 920.39(4.5.01) AOAC 2005 |
| Fibra cruda (g/100g) | I.C.C Standard # 113 Ed. 2001 |
| Proteína (g/100g) | 2001.11(4.2.11) AOAC 2005 |
| Contenido de almidón (g/100g) | 920.44(25.1.11), 923.09(44.1.15) AOAC 2005 |
| Calcio, Potasio, Sodio, Hierro (mg/100g) | DECAB-01 |
| Fósforo (mg/100g) | 923.03(32.1.05); 948.09(32.1.11); 986.11(32.5.18) AOAC 2005 |
| Vitamina C (mg/100g) | Método modificado y validado por DECAB-HPLC (Macrae, 1988) |

2.3.3 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial se realizó con 12 panelistas semi-entrenados. Se utilizó una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas (Anzaldúa, 1994).

Para la estandarización del método de cocción, las mazorcas fueron colocadas en una marmita de 10 L de capacidad (Marca Legion, modelo 940221, Ohio) y cocidas en agua a ebullición durante 5, 10, 15, 20, 25, 30 min. Se utilizó una relación de peso entre las mazorcas y el agua de 1:2.

Para la preparación de las muestras se tomaron 4 mazorcas al azar de cada tratamiento, las cuales fueron cocidas en las condiciones descritas anteriormente, luego se eliminaron los extremos de las mazorcas y se utilizó la zona central, la misma que se cortó en 8 rodajas de 1 cm de espesor. Las rodajas fueron almacenadas en una estufa universal (Marca Memmert, modelo SM-100-400, Schwabach) a 25 °C, hasta su utilización (30 min aproximadamente).

Cada panelista recibió 2 rodajas procedentes de mazorcas distintas de cada tratamiento, colocadas en recipientes desechables e identificados con un código de tres dígitos al azar. Los jueces se enjuagaron la boca con agua antes y después de probar la muestra. Los atributos que se evaluaron fueron: apariencia, sabor, dulzor, dureza, fibrosidad y presencia de sabores extraños.

El formato de evaluación sensorial utilizado en esta investigación se presenta en el ANEXO F. Para la cuantificación del test se midió con una regla el valor asignado por el juez (escala no estructurada) de cada atributo evaluado.

2.3.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Los atributos evaluados para la determinación de la calidad visual fueron: turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y otros defectos como manchas pardas, daño mecánico, etc. En el Anexo G se presentan las fotografías de cada atributo en las mazorcas.

Para evaluar los atributos de calidad se utilizó una escala de 1 a 5. La valoración de las escalas se indica en la Tabla 10 (Aharoni *et al.*, 1996). La calificación final de la calidad visual es el promedio de las calificaciones obtenidas de los atributos,

con las respectivas escalas de evaluación de la calidad externa, como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 10. Escala de evaluación de la calidad visual para mazorcas de maíz tierno

| Escala | ATRIBUTOS | | | | |
|--------|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | Turgencia | Marchitez del pedúnculo | Porcentaje de patógenos | Otros defectos | |
| | | | | Manchas pardas | Daño mecánico |
| 1 | Muy secos | Extremo | >30% | >30% | |
| 2 | Secos | Severo | 10-30% | 10-30% | |
| 3 | Medianamente secos | Moderado | 10% | 10% | |
| 4 | Ligeramente secos | Discreto | Escaso | Escaso | |
| 5 | Frescos | Fresco | Ninguno | Ninguno | |

Para calcular el índice de evaluación de calidad de cada atributo se utilizó la siguiente fórmula descrita por Rodov *et al.* (2002):

$$I=(n_1+2n_2+3n_3+4n_4+5n_5)/N \quad [4]$$

Donde:

I: Índice de evaluación de calidad

n₁-n₅: Número de mazorcas que presentan el atributo evaluado en la escala 1 a 5

N: Número total de mazorcas evaluadas

Tabla 11. Escala de valoración de la calidad total para mazorcas de maíz tierno

| Calificación Total | Clasificación |
|--------------------|---|
| Entre 4-5 | A: Mantiene características iniciales |
| Entre 3-4 | B: Presenta deterioro y daño, apta para el consumo |
| <3 | C: No comerciable |

2.4 ESTUDIO DE LA FISIOLÓGÍA POSTCOSECHA DE MAÍZ

Este estudio se realizó con mazorcas sin brácteas preenfriadas y sin preenfriar. Las mazorcas con una temperatura inicial promedio de 19 °C fueron preenfriadas en un hidrogenfriador (Marca Lactoquinox, modelo TENF-01, Quito) por inmersión en agua fría (4 °C) con 100 ppm de cloro, hasta una temperatura final en el centro del raquis de 6 °C. Las mazorcas sin preenfriamiento fueron sumergidas en agua con 100 ppm de cloro, a temperatura ambiente (20 min aproximadamente).

Determinación de la tasa de respiración: Se pesaron 0,5 kg aproximadamente de mazorcas preenfriadas y sin preenfriar, estas fueron colocadas en cámaras de respiración con tres repeticiones por tratamiento y conectadas a un sistema de respiración que consta de tableros de flujo y humidificadores. El sistema de respiración se presenta en Anexo H.

La tasa de respiración se determinó durante 21 días en función de la producción de CO₂. Las muestras de gases a la entrada y salida de las cámaras se tomaron por duplicado con jeringas plásticas de 1 mL). La determinación de CO₂ se realizó en un analizador Rápido de CO₂/O₂ (Marca Post Harvest Research, modelo CG-100, Davis) provisto de un detector infrarrojo, como se indica en Anexo I.

2.5 ENSAYOS DE LOS TRATAMIENTOS POSTCOSECHA DE HIDROENFRIAMIENTO Y EMPACADO CON DOS TIPOS DE EMPAQUE

2.5.1 ANÁLISIS QUÍMICO

Para la determinación del pH, el contenido de SST, la acidez titulable y el contenido de almidón se utilizaron los métodos especificados en la caracterización físico química del maíz tierno al momento de la cosecha, correspondiente al acápite 2.3.2.

2.5.2 PÉRDIDA DE PESO

Para determinar la pérdida de peso se utilizaron lotes de 30 mazorcas por tratamiento. El resultado se expresó como porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial.

2.5.3 CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL INTERIOR DE LOS EMPAQUES

La concentración de CO₂ en el interior de los empaques se determinó en el analizador rápido de gases (Marca Post Harvest Research, modelo CG-100, Davis), como se indica en el Anexo I. Las muestras de gases se tomaron por duplicado con jeringas de 1 mL. La concentración de CO₂ se determinó durante los períodos de almacenamiento 7, 14, 21 días a 4 °C más 2 días a 20 °C. Para evitar el daño del empaque por el uso de las jeringas, se adaptó un séptum de silicona en los empaques, como se indica en el Anexo H.

2.5.4 FIRMEZA

La firmeza se midió como la fuerza (N) requerida para lograr un corte transversal en el grano. La determinación se realizó en un Texturómetro (Marca Lloyd Instruments, modelo 1000 S, Leicester) con un cuchillo Craft. Se midió la firmeza de 45 granos seleccionados por el método descrito anteriormente en la caracterización de la materia prima, en el acápite 2.3.1.5.

2.5.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Los atributos evaluados para la determinación de la calidad visual fueron los utilizados en la caracterización de la materia prima: turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y otros defectos. Para evaluar los atributos de calidad se utilizó una escala de 1 a 5 descrita anteriormente en la Tabla 10, correspondiente al acápite 2.3.4.

2.5.6 ANÁLISIS SENSORIAL

Para el método de cocción y preparación de las muestras se utilizaron los parámetros descritos anteriormente en la caracterización de la materia prima, en el acápite 2.3.3. Los atributos que se evaluaron fueron: apariencia, sabor, dulzor, dureza, fibrosidad y presencia de sabores extraños.

2.5.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los efectos y de las interacciones de las variables se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias mínimas entre las medias se establecieron con intervalos de LSD, con un 95% de confiabilidad.

Los análisis se realizaron en el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION 16.0 (Statistical Graphics System, Statistical Graphics Corporation).

2.6 ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS POSTCOSECHA

Para la estimación de los costos de implementación de los tratamientos postcosecha de maíz tierno, se utilizó la información del costo de materiales, uso de equipos, servicios etc., que intervienen en los tratamientos del producto. Se consideró como base de cálculo una hectárea de producción de maíz tierno. Se realizó el diseño del hidrogenfriador para establecer la capacidad del compresor y los costos del equipo. Se estimó el número de trabajadores necesarios para el procesamiento y las horas laborales al día.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE MADUREZ DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1 LLENADO DEL GRANO (DIÁMETRO Y LONGITUD DE LA MAZORCA)

En la Tabla 12, se presentan los valores del diámetro y longitud de las mazorcas en la planta, durante los 28 días de análisis desde la formación de la flor femenina hasta la cosecha.

Tabla 12. Variación del diámetro y longitud de las mazorcas con brácteas desde la formación de la flor hasta la cosecha

| DDS | Día de análisis | Diámetro (cm) | Longitud (cm) |
|-----|-----------------|---------------|---------------|
| 140 | 0 | 3,4 ± 0,47 | 37,0 ± 5,22 |
| 143 | 3 | 4,3 ± 0,65 | 37,0 ± 5,22 |
| 146 | 6 | 4,5 ± 0,64 | 37,4 ± 5,19 |
| 149 | 9 | 4,8 ± 0,70 | 38,3 ± 5,06 |
| 152 | 12 | 5,4 ± 0,67 | 38,6 ± 5,04 |
| 155 | 15 | 5,8 ± 0,66 | 38,9 ± 4,97 |
| 158 | 18 | 5,9 ± 0,68 | 39,0 ± 5,04 |
| 161 | 21 | 6,0 ± 0,62 | 39,2 ± 4,82 |
| 164 | 24 | 6,3 ± 0,58 | 39,2 ± 5,10 |
| 167 | 27 | 6,6 ± 0,61 | 39,2 ± 4,72 |

DDS: Días después de la siembra
Media±DS n= 60

Se observó que el valor inicial del diámetro a los 140 días después de la siembra fue 3,4 cm. Esta etapa correspondió al estado de formación de la flor femenina,

como se indica en la Figura 13A. Luego la planta inició la etapa de reproducción, con la producción de polen y alargamiento de los estigmas. El incremento de la longitud y el diámetro de las mazorcas correspondió a la etapa de formación del raquis (tusa) y brácteas. En el día 155 las mazorcas presentaron un diámetro de 5,8 cm y se encontraron granos incipientes de color amarillento (estado de ámpula), como se indica en la Figura 13B. Carrera y Mateo (2005) diferencian a esta etapa como el inicio del desarrollo y formación del grano. En los días posteriores, el incremento del diámetro estuvo relacionado directamente con el llenado del grano. El diámetro se incrementó en un 12% hasta 167 días después de la siembra, como se indica en la Figura 13C, y las mazorcas presentaron un diámetro promedio final de 6,6 cm. La longitud de las mazorcas se incrementó de 37 a 39,2 cm desde el día 140 hasta el día 167 después de la siembra.

3.1.2 CONTENIDO DE SST (°Brix)

La determinación del contenido de SST durante los primeros 12 días de este estudio no se realizó porque hasta ese momento no existieron granos formados en las mazorcas (estado de ámpula). El contenido de SST, se incrementó de 9,7 a 10,6 °Brix desde el día 154 hasta el día 168 después de la siembra, respectivamente. El incremento en el contenido de SST existió por la movilización de las reservas de la planta hacia el grano (Carrera y Mateo, 2005). El análisis se realizó inmediatamente después de cosechar las mazorcas. Se observó que los valores de SST fueron mayores que los reportados en la caracterización física química de la materia prima, correspondiente al acápite 3.2.2 en donde, el tiempo desde la cosecha hasta el análisis fue de 2 días aproximadamente.

Las condiciones climáticas presentadas durante esta etapa de la investigación en junio del 2011, como baja precipitación (<500 mm), temperatura (>26 °C) y HR (<60%), produjeron estrés hídrico en las plantas, esto afectó a la viabilidad de la polinización, al llenado de los granos y, produjo rendimientos menores en peso y tamaño de las mazorcas que los reportados en la caracterización física-química de la materia prima, en donde, se utilizaron mazorcas cosechadas en el mes de

noviembre del 2010, correspondiente al acápite 3.2.1. En un estudio realizado por Avendaño *et al.* (2008) con 4 variedades de maíz: Zacatecas 58 original, Cafime original, Zacatecas 58 SM19 y CafimeSM16, que fueron sometidos a diferentes niveles de estrés hídrico: 4, 10 y 20 días de sequía, se reportó que conforme se incrementó la intensidad de la sequía, se incrementó el número de días de la formación de la flor masculina y femenina, se produjo desecación de los estigmas, se redujo el número de granos por mazorca y por tanto, se redujo el peso de la misma.

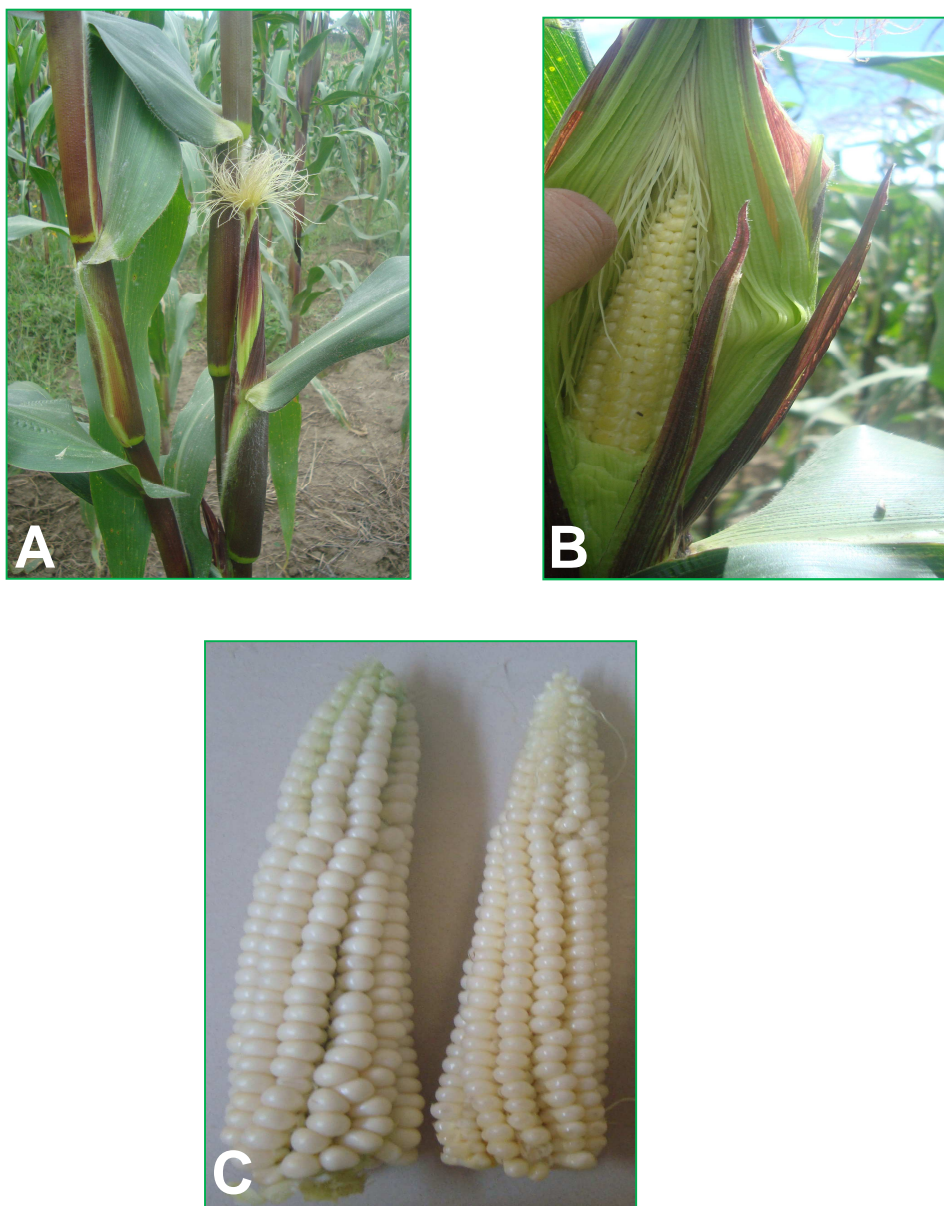


Figura 13. Formación de la flor femenina y alargamiento de los estigmas (A), Etapa de ámpula (B), Llenado de grano hasta el día 168 después de la siembra (C)

3.1.3 COLOR DE LOS ESTIGMAS

Al identificar los puntos de muestreo en el acápite 2.2, se detectó que dentro de una misma plantación existió una gran variedad de matices para el color de los estigmas de las mazorcas. Esto podría deberse a la polinización cruzada entre las plantas de maíz. Los alelos recesivos se manifestaron y causaron una interacción genética entre los alelos de la misma planta (locus) y los alelos de las otras plantas (Comunicación personal Ing. Nelson Monar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Estatal de Bolívar).

En la Tabla 13 se presenta la variación del color de los estigmas desde la formación de la flor femenina hasta el día de cosecha.

Tabla 13. Variación del color de los estigmas desde la formación de la flor femenina hasta la cosecha

| DDS | Día de análisis | Código | | Escala 1-5 |
|------------|-----------------|---|---|-------------|
| 139 | 0 | N ₀₀ C ₂₀ Y ₈₀ | N ₀₀ C ₁₀ Y ₇₀ | 0= 0% |
| 145 | 6 | N ₀₀ C ₁₀ Y ₈₀ | N ₀₀ C ₁₀ Y ₇₀ | 0= 0% |
| 148 | 9 | N ₆₀ Y ₈₀ M ₄₀ | N ₈₀ Y ₆₀ M ₄₀ | 1= 1-20% |
| 154 | 15 | N ₆₀ Y ₈₀ M ₄₀ | N ₈₀ Y ₆₀ M ₄₀ | 2= 21-40% |
| 157 | 18 | N ₆₀ Y ₈₀ M ₄₀ | N ₈₀ Y ₆₀ M ₄₀ | 3= 41-60% |
| 160 | 21 | N ₆₀ Y ₈₀ M ₄₀ | N ₈₀ Y ₆₀ M ₄₀ | 4= 61-80% |
| 166 | 27 | N ₆₀ Y ₈₀ M ₄₀ | N ₈₀ Y ₆₀ M ₄₀ | 5 = 81-100% |

DDS: Días después de la siembra
n=60

A partir del día 139 después de la siembra los colores predominantes de los estigmas fueron N₀₀C₂₀Y₈₀ y N₀₀C₁₀Y₇₀, como se indica en la Figura 14A y 14B que correspondieron a un matiz con una cobertura de superficie del 0% de negro, 20-10% de cian (azul) y 80-70% de amarillo, respectivamente. Desde el día 139 hasta el día 145 los estigmas permanecieron sin modificaciones con los colores predominantes y sin marchitez en los estigmas. En el día 148 los estigmas empezaron a marchitarse hasta 20% del largo total desde el extremo inferior hasta la unión de las brácteas. En el día 154 el porcentaje de marchitez del largo de los

estigmas se incrementó de 21 a 40%, y para los días 157 y a los 160 días el valor de la escala de marchitez fue de 3 (41-60%) y 4 (61-80%), respectivamente. A los 166 días después de la siembra se determinó que el 75% de las plantas completaron el 100% de marchitez de los estigmas.

La marchitez de los estigmas desde el día 148 hasta el día 166 también presentaron dos colores predominantes $N_{60}Y_{80}M_{40}$ y $N_{80}Y_{60}M_{40}$, como se indica en la Figura 14C y 14D que correspondieron a un matiz con una cobertura de superficie del 60-80% de Negro, 80-60% de amarillo y 40% de magenta (rojo), respectivamente.

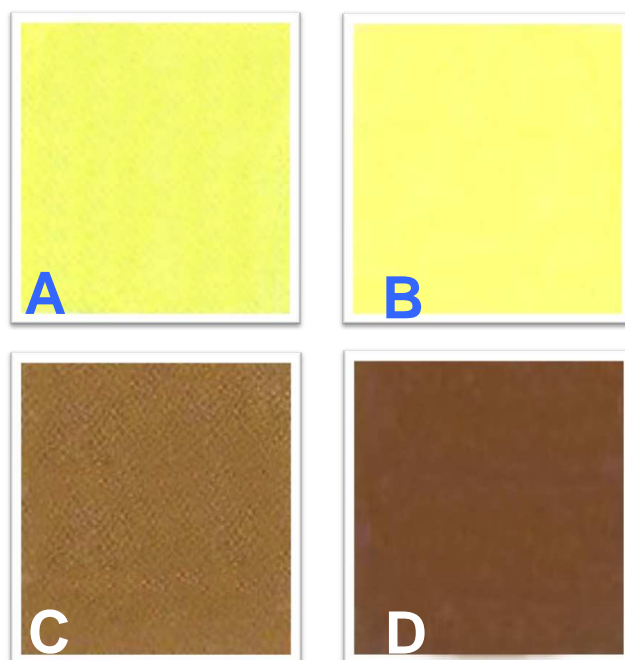


Figura 14. Color de los estigmas; $N_{00}C_{20}Y_{80}$ (A), $N_{00}C_{10}Y_{70}$ (B), $N_{60}Y_{80}M_{40}$ (C), $N_{80}Y_{60}M_{40}$ (D)

En la Figura 15 se presenta la escala de marchitez de los estigmas con un rango de 1 a 5, donde 1 indica hasta un 20% de marchitez del largo total de los estigmas marchitos y 5 un 100%.

La cosecha se realizó en el día 168 después de la siembra con el 100% de marchitez del largo de los estigmas y en el interior de grano con el contenido máximo de SST de 10,6 Brix, los granos se encontraban inmaduros y con un

líquido lechoso en su interior. En la mazorcas los valores del diámetro (6,6 cm) y longitud (39,2 cm) fueron afectados por las condiciones ambientales descritas anteriormente durante esta etapa de la investigación.

Es importante señalar que para la determinación de los índices de madurez de maíz tierno, será necesario realizar pruebas experimentales por varios años consecutivos (3 como mínimo), en distintas épocas de cosecha (época lluviosa y época seca), para asegurar que el índice siempre refleje las características de madurez de las mazorcas (Kader, 2002).

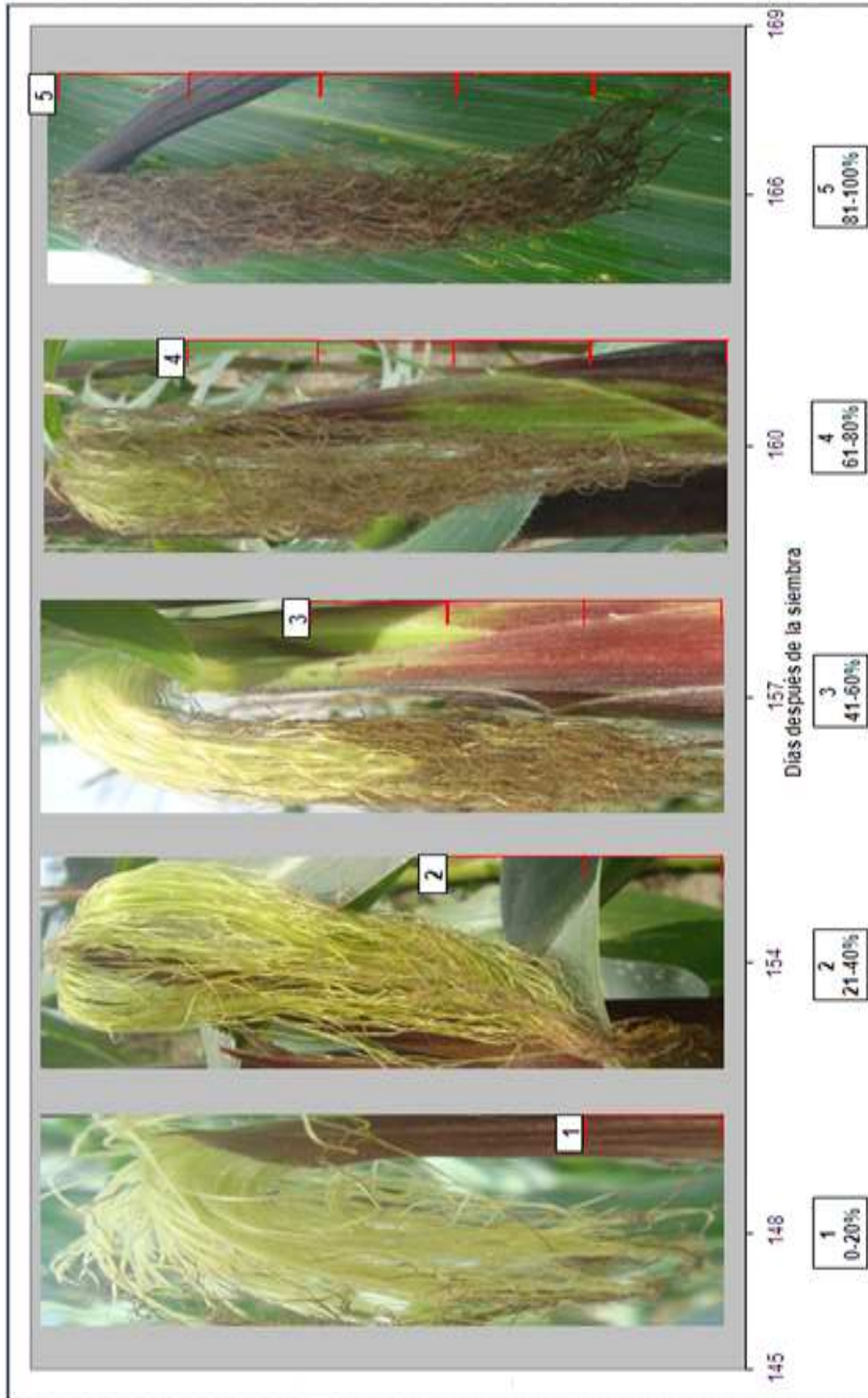


Figura 15. Escala de marchitez de los estigmas

3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL MAÍZ TIERNO

3.2.1 ANÁLISIS FÍSICOS

En la Tabla 14 se presentan los valores obtenidos en la caracterización física de la materia prima. El peso de las mazorcas se determinó con brácteas y sin ellas. Las mazorcas sin brácteas tenían un centímetro de pedúnculo, el mismo que fue una fuente de nutrientes para la mazorca durante la etapa postcosecha.

El peso promedio de las mazorcas sin brácteas más un centímetro de pedúnculo fue de 316,2 g, que correspondió al 52,3% del peso total de las mazorcas con brácteas (605,2 g). En un estudio de caracterización física de mazorcas con brácteas y sin ellas reportaron que el 53,68% del peso de las mazorcas lo conforman el raquis y los granos (Sánchez y Villamizar, 2003). Este porcentaje es similar al encontrado en esta investigación. Es importante mencionar que existió variabilidad de peso entre las muestras analizadas, por lo cual se obtuvo una desviación estándar alta.

La longitud y el diámetro de las mazorcas con brácteas fueron 28,8 y 8,8 cm, respectivamente. Estos valores se encuentran entre los calibres de calidad de la norma INEN 1 761, como mazorcas de tipo I (grande), con diámetros superiores a 7 cm y longitud mayores a 20,1 cm (Pacheco *et al.*, 1990). Las mazorcas sin brácteas presentaron un 40 y 25% de disminución de la longitud de 17 cm) y del diámetro de 6,7 cm, respectivamente. La densidad de las mazorcas calculada por volumen desplazado fue 0,28 g/mL.

El diámetro promedio de las mazorcas utilizadas para esta parte de la experimentación fue mayor en un 25% que los diámetros obtenidos en las mazorcas utilizadas para la determinación de los índices de madurez. Las condiciones climáticas durante la cosecha, época lluviosa y época seca influyeron en la caracterización de la materia prima.

La firmeza de los granos fue de 21,5 N. En un estudio realizado por Cartaya *et al.* (1991), se reportó que la firmeza para las variedades Pajimaca y Riqueza fue

23,5 N y 27 N, respectivamente. Estos valores son mayores que la variedad INIAP- 111 (Guagal mejorado).

Tabla 14. Caracterización física de las mazorcas de maíz, variedad INIAP-111, (Guagal mejorado)

| VARIABLE | MAZORCAS CON BRÁCTEAS + PEDÚNCULO | MAZORCAS SIN BRÁCTEAS + 1 cm PEDÚNCULO |
|--|-----------------------------------|--|
| Peso (g) | 605,20 ± 118,35 | 316,24 ± 71,52 |
| Densidad (g/mL) | - | 0,28 ± 0,04 |
| Longitud (cm) | 28,78 ± 2,33 | 16,96 ± 2,58 |
| Diámetro (cm) | 8,84 ± 0,86 | 6,57 ± 0,48 |
| Firmeza de los granos (N) ¹ | - | 21,53 ± 3,40 |

Media± DS, n=50; excepto 1: n=40

3.2.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

En la Tabla 15, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización química de los granos de maíz tierno de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado).

Las mazorcas presentaron 73,23% de humedad. El alto contenido de humedad correspondió a una mazorca en etapa lechosa denominada maíz tierno o “choclo” (Carrera y Mateo, 2005). Los otros componentes proteína, ceniza, fibra cruda y extracto etéreo se presentaron en porcentajes menores al 3%. En cuanto a los micronutrientes, el potasio presentó un valor de 376,21 mg/100g en comparación con el hierro, sodio, presentaron valores menores a 1 mg/100g. El pH de 7,2 y acidez titulable de 0,05% (g/100g de ácido sulfúrico), caracterizaron a las mazorcas de maíz tierno como un producto neutro, no ácido. El contenido de SST en la materia prima fue de 8,3 °Brix. Este valor fue menor que el reportado en la determinación de los índices de madurez, en el acápite 3.1.2. Las diferentes épocas de cosecha y el tiempo desde la cosecha hasta la realización de estos análisis influyeron en estos resultados.

Tabla 15. Caracterización química de los granos de las mazorcas de maíz tierno, variedad INIAP-111, (Guagal mejorado)

| ANALITO | Contenido de materia comestible ¹ (100 g) |
|---------------------------|--|
| Humedad (%) | 73,23 |
| Cenizas (%) | 0,67 |
| Extracto etéreo (%) | 1,56 |
| Fibra cruda (%) | 0,86 |
| Proteína (N x 6,25) (%) | 2,88 |
| Carbohidratos totales (%) | 21,62 |
| Contenido de almidón (%) | 17,55 |
| Vitamina C (mg/100g) | 0,96 |
| Hierro (mg/100g) | 0,68 |
| Calcio (mg/100g) | 1,09 |
| Potasio (mg/100g) | 376,21 |
| Sodio (mg/100g) | 0,83 |

¹ Promedio de dos determinaciones

3.2.3 ANÁLISIS SENSORIAL Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Los resultados obtenidos para el análisis sensorial y la evaluación de la calidad visual de la materia prima se reportan al evaluar la calidad de la mazorcas en los ensayos de los tratamientos postcosecha de hidrogenfriado y empaqueo con dos tipos de empaque, como se presenta en el acápite 3.5.6 y 3.5.7.

3.3 PREENFRIAMIENTO

Curva de preenfriamiento: La curva de enfriamiento de las mazorcas de maíz tierno preenfriadas en el hidrogenfriador a 4 °C se presenta en la Figura 16. La temperatura inicial de las mazorcas fue 19 °C. Se observó que la temperatura del

producto se redujo rápidamente al inicio del enfriamiento y luego el descenso de temperatura fue más lento cuando estaba cercana a la temperatura del agua de enfriamiento. El tiempo medio de enfriamiento ($T_{1/2}$) para reducir la temperatura de las mazorcas de 18 a 9 °C fue de 10 min.

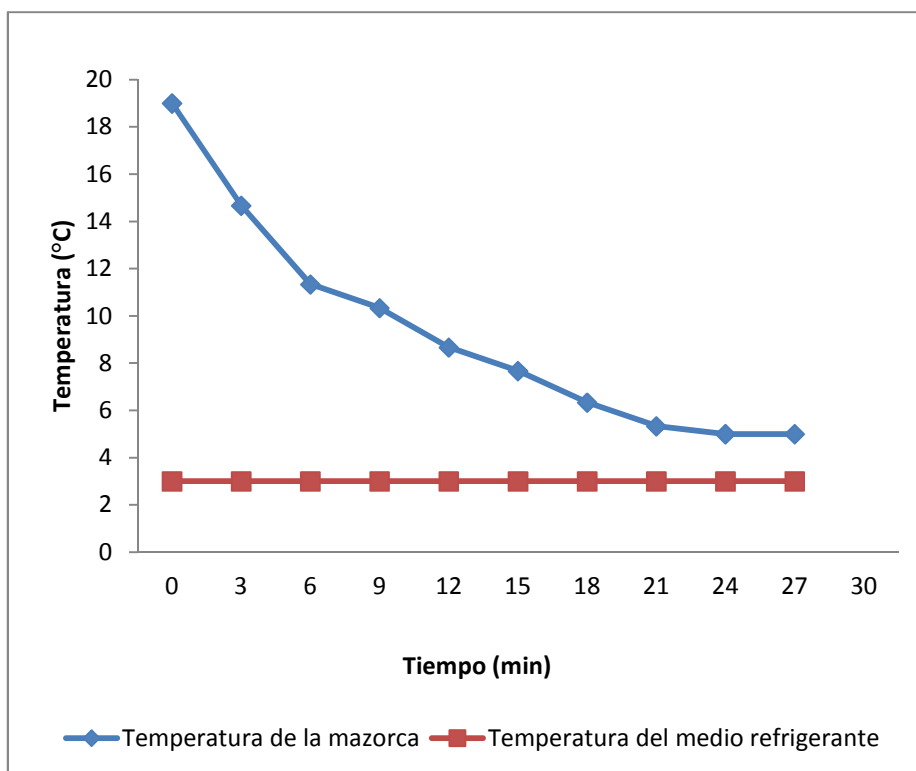


Figura 16. Curva de enfriamiento de las mazorcas preenfriadas

En la mayoría de los casos, para alcanzar la temperatura deseada en los productos éstos deben permanecer en el hidrogenfriador durante tres períodos de enfriamiento medio ($T_{7/8}$) (Thompson *et al.*, 2002). En este estudio, las mazorcas alcanzaron una temperatura de 5 °C en un tiempo de 21 min. Los tiempos de enfriamiento con agua dependen del tamaño del producto y de la temperatura del agua, en general estos valores varían entre 15 y 60 min (Gordon, 1992). El tiempo necesario para enfriar las mazorcas hasta 5 °C está dentro del rango establecido para el enfriamiento con agua fría. Vigneault *et al.*, (2007) reportó que el tiempo de enfriamiento de las mazorcas de maíz súper dulce (*Zea. mays* L. spp. saccharata) para reducir la temperatura de 24 a 1 °C fue de 27,4 min. Estos resultados son similares a los determinados en esta investigación.

3.4 ESTUDIO DE LA FISIOLÓGÍA POSTCOSECHA DE MAÍZ TIERNO

Determinación de la tasa de respiración: En la Figura 17 se presenta la tasa de respiración de las mazorcas preenfriadas y sin preenfriar. La tasa de respiración de los dos tratamientos para maíz tierno almacenado a 4 °C y 90% HR disminuyó con el tiempo de almacenamiento, y no presentó un pico de producción de CO₂. Esta tendencia presentó el patrón de respiración de un producto no climatérico (Kader, 2002).

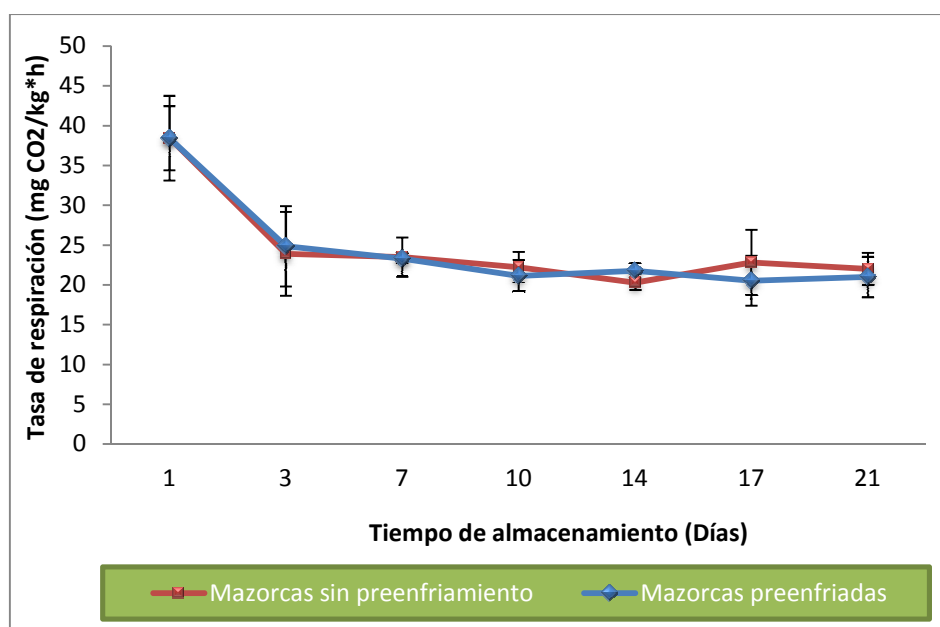


Figura 17. Tasa de respiración de mazorcas de maíz tierno INIAP-111 (Guagal mejorado) preenfriadas y sin preenfriar almacenado a 4° C y 90% de HR

La tasa de respiración inicial para las mazorcas preenfriadas y sin preenfriar fue alrededor de 38 mg CO₂/kg*h, posteriormente al séptimo día de almacenamiento disminuyó hasta alcanzar un valor aproximado de 23 mg CO₂/kg*h, en los días restantes permaneció en un intervalo de 20 a 21 mg CO₂/kg*h. El proceso de preenfriamiento redujo rápidamente la temperatura de las mazorcas, disminuyó el metabolismo y la degradación de la calidad de la mazorcas (Saltveit, 1997; Kader, 2002). Sin embargo para la tasa de respiración, no se observó ninguna diferencia significativa entre las mazorcas enfriadas y sin preenfriar. Se han reportado comportamientos similares a los encontrados en este estudio, en productos no

climatéricos. En piñas enfriadas y sin preenfriar almacenadas a 8 °C y 90% HR, Otero (2001) reportó que no existió diferencia significativa para la tasa de respiración entre estos dos tratamientos.

Suslow y Cantwell (2008) reportaron una tasa de respiración para mazorcas de maíz dulce (*Zea. mays* L. spp. *saccharata*) entre 59-114,5 mg CO₂/kg*h, almacenadas a 5 °C y 95% HR. Estos valores son mayores a los obtenidos en este estudio.

3.5 ENSAYOS DE LOS TRATAMIENTOS POSTCOSECHA DE HIDROENFRIAMIENTO Y EMPACADO CON DOS TIPOS DE EMPAQUE

3.5.1 ANÁLISIS QUÍMICOS

Los valores de pH, SST y acidez titulable se presentan en la Tabla 16.

pH y acidez titulable: El pH del maíz tierno de los tratamientos durante el almacenamiento varió entre 6,7 y 6,9, y la acidez titulable fue de 0,1 g/100g de ácido sulfúrico. Estos parámetros no presentaron diferencias significativas para los tratamientos en todos los períodos de almacenamiento.

Contenido de SST: Para todos los tratamientos, el contenido de SST disminuyó con el tiempo de almacenamiento. En general para todos los períodos de almacenamiento, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Los valores más altos del contenido de SST se observaron en el tratamiento preenfriado y con empaque de PEBD (EA), para todos los períodos de almacenamiento. Después del primer periodo de almacenamiento (7 días 4 °C + 2 días 20 °C), el tratamiento EA presentó la menor reducción del contenido de SST (3,6%) ($p < 0,05$). Mientras que en los otros tratamientos esta reducción fue de 15-27%. Para el tratamiento EA, en el segundo y tercer periodo de almacenamiento

la reducción del contenido de SST fue de 12 - 22% ($p < 0,05$), respectivamente. Risse y McDonald (1990), reportaron resultados similares de la reducción del contenido de SST en mazorcas de maíz dulce empacadas con dos tipos de empaque y almacenadas hasta 21 días a 10 °C más 5 días para simular la vida en estante.

Tabla 16. Contenido de SST, pH y acidez titulable de maíz tierno, variedad INIAP-111, (Guagal mejorado) durante el almacenamiento

| Días de almacenamiento | TRATAMIENTOS | | | |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | EA | EB | SEA | SEB |
| pH | | | | |
| 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 6,81 ± 0,03 | 6,68 ± 0,02 | 6,89 ± 0,01 | 6,79 ± 0,02 |
| 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 6,82 ± 0,03 | 6,85 ± 0,04 | 6,79 ± 0,05 | 6,86 ± 0,04 |
| 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 6,86 ± 0,05 | 6,76 ± 0,05 | 6,83 ± 0,03 | 6,84 ± 0,01 |
| Contenido de SST (°Brix) | | | | |
| 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 8,0 ± 0,0c | 7,0 ± 0,0b | 7,0 ± 0,0b | 6,0 ± 0,0a |
| 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 7,3 ± 0,3b | 7,0 ± 0,0b | 6,0 ± 0,5a | 6,0 ± 0,0a |
| 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 6,5 ± 0,0b | 6,3 ± 0,2b | 6,0 ± 0,0a | 6,0 ± 0,0a |
| Acidez titulable (g/100g de ácido sulfúrico) | | | | |
| 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 0,09 ± 0,01 | 0,10 ± 0,01 | 0,08 ± 0,02 | 0,09 ± 0,01 |
| 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 0,09 ± 0,01 | 0,09 ± 0,01 | 0,09 ± 0,01 | 0,09 ± 0,01 |
| 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 0,10 ± 0,02 | 0,11 ± 0,01 | 0,10 ± 0,01 | 0,09 ± 0,01 |

Media±DS, n=3

Para SST, valores en la misma fila seguidos por letras diferentes son estadísticamente diferentes

El preenfriamiento de los productos hortofrutícolas se utiliza para reducir el calor de campo y mantener las características de calidad de los mismos (Kader, 2002). En este estudio se observó que el preenfriamiento, independientemente del tipo de empaque, disminuyó la pérdida del contenido de SST comparado con productos sin preenfriar. La pérdida de los azúcares es mayor a temperaturas de 30 °C, que la pérdida de azúcares en mazorcas almacenadas a 0 °C (Brecht, 2002).

3.5.2 PÉRDIDA DE PESO (%)

En la Figura 18 se presenta la pérdida de peso en muestras preenfriadas y sin preenfriar empacadas con dos tipos de láminas plásticas. La pérdida de peso en las mazorcas se incrementó durante todo el periodo de almacenamiento para todos los tratamientos. La pérdida de agua por transpiración es la principal causa de pérdida de peso en los productos en fresco. Para todos los períodos de almacenamiento, los tratamientos que tenían empaque de PEBD, con y sin preenfriamiento (EA y SEA) fueron los que presentaron menor pérdida de peso ($p < 0,05$), comparados con aquellos tratamientos que tenían empaque de PVC (EB y SEB). La pérdida de peso en los tratamientos con empaque de PVC fue 2 - 2,5 veces mayor que los tratamientos con empaque PEBD. El preenfriamiento no redujo significativamente en la pérdida de peso en los tratamientos estudiados. En cambio, la permeabilidad de los empaques utilizados, PEBD y PVC, influyó significativamente en la pérdida de peso.

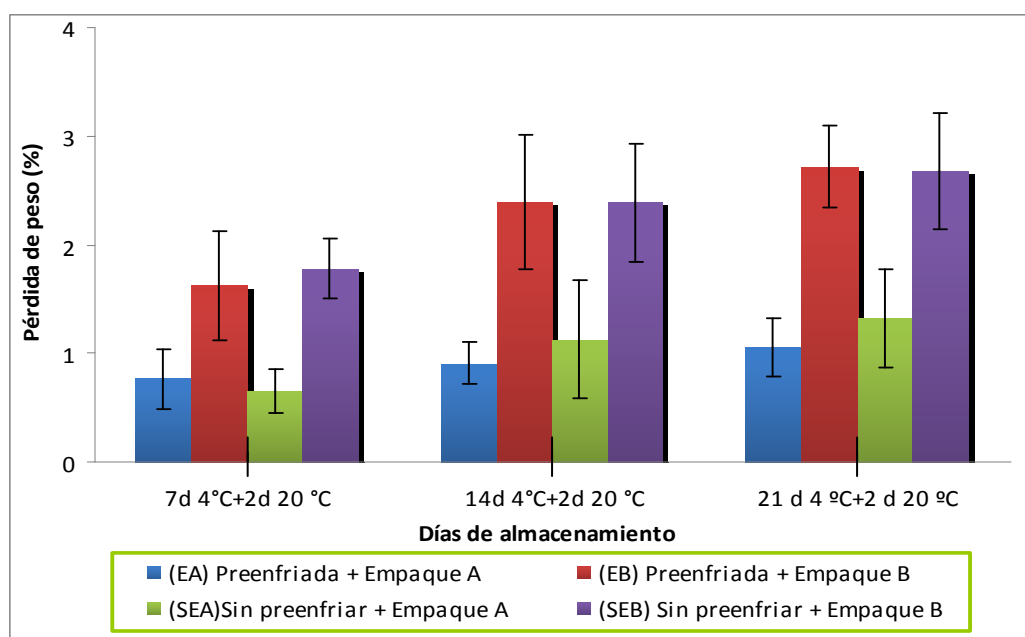


Figura 18. Pérdida de peso (%) de las mazorcas de maíz tierno preenfriadas y sin preenfriar recubiertas con láminas plásticas (A: PEBD; B: PVC) almacenadas 4 °C, seguidos de 2 días a 20 °C

En una investigación realizada por Aharoni *et al.* (1996), se reportó que al utilizar PVC como material de empaque, las mazorcas perdieron un 50% más de peso en

comparación con materiales de empaque elaborados con poliolefinas y determinó que la permeabilidad del PVC fue mayor que la del empaque de poliolefinas.

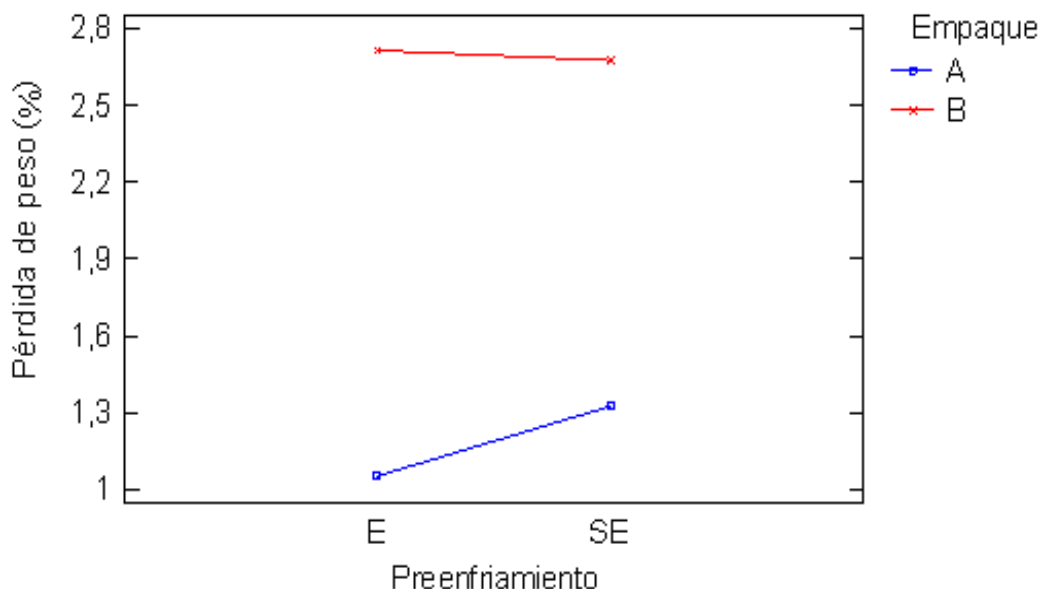


Figura 19. Interacción en la pérdida de peso entre la aplicación del preenfriamiento (E-SE) y el material de empaque (A: PEBD; B: PVC) almacenadas 4 °C, seguidos de 2 días a 20 °C

En la Figura 19 se presenta la interacción entre la aplicación del preenfriamiento y el material de empaque. Se determinó que la interacción entre las variables del proceso para obtener la menor pérdida de peso se produjo al utilizar el empaque A independientemente del preenfriamiento de las mazorcas.

3.5.3 CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN EL INTERIOR DE LOS EMPAQUES

En la Figura 20 se presentan las concentraciones de CO₂ acumulado en el interior de los empaques, para los períodos de almacenamiento 7, 14 y 21 días a 4 °C más 2 días a 20 °C.

Para los dos tipos de empaque, la concentración de CO₂ en el interior de los empaques fue menor que 6%. Este valor está en el rango recomendado para maíz tierno (de 5 a 10% CO₂) (Riad, 2004; Kader, 2002). No se detectó

fermentación en las muestras empacadas. El preenfriamiento no produjo ningún efecto en la variación de la atmósfera en el interior de las muestras empacadas con PEBD y PVC. La mayor concentración de CO₂ en el interior de los empaques se obtuvo al utilizar el empaque de PEBD (EA-SEA) por tanto, no se produjo una interacción con el preenfriamiento.

Para todos los tratamientos, al inicio de la experimentación la concentración de CO₂ en el interior de los empaques estuvo en el rango 4,5 a 6%. La concentración de CO₂ presentó fluctuaciones durante el primer período de almacenamiento en refrigeración promoviendo la acumulación de CO₂ en el interior del empaque. Al cambiar las condiciones de almacenamiento a 20 °C, se observó un incremento rápido de la concentración de CO₂. En algunos casos esos incrementos fueron similares a los valores presentados al inicio del almacenamiento.

En la Figura 20 se presenta los periodos de almacenamiento de cada tratamiento: En el primer periodo de almacenamiento se encontraron diferencias significativas en el material de empaque. Los tratamientos empacados con PEBD (EA y SEA) presentaron valores aproximados entre 5 y 6% de CO₂. Estos valores se encuentran en el rango recomendado para maíz tierno (de 5 a 10% CO₂) (Kader, 2002). En el caso del PVC (EB y SEB) la concentración de CO₂ fue menor al 5%. El espesor del PVC (0,008 mm) fue menor que el de PEBD (0,016 mm), por lo que la permeabilidad del PVC fue mayor que la del PEBD, lo cual permitió al CO₂ pasar más fácilmente a través de este empaque. El preenfriamiento no produjo ningún efecto en la variación de la atmósfera en el interior de los empaques.

En el segundo periodo de almacenamiento se presentó un comportamiento similar al descrito anteriormente, con concentraciones de 4 a 6% de CO₂ para los tratamientos EA y SEA y menores que 5% para EB y SEB. Al modificar las condiciones de almacenamiento a 20 °C, se incrementó la concentración de CO₂ hasta que obtuvo las concentraciones iniciales de almacenamiento.

Finalmente al llegar a los 21 días de almacenamiento disminuyó la concentración de CO₂ durante el almacenamiento refrigerado hasta valores de 3 y 5% CO₂. En

este periodo no existió diferencia significativa al utilizar distinto material de empaque.

En la investigación realizada por Aharoni *et al.* (1996), determinaron que la permeabilidad del PVC es mayor en un 50% a las poliolefinas utilizadas como material de empaque para mantener la calidad de maíz dulce almacenado a durante 12 días a 1 °C más 2 días a 20 °C.

Para el preenfriamiento de las mazorcas y el tipo de material de empaque no presento diferencia significativa en la interacción de las variables.

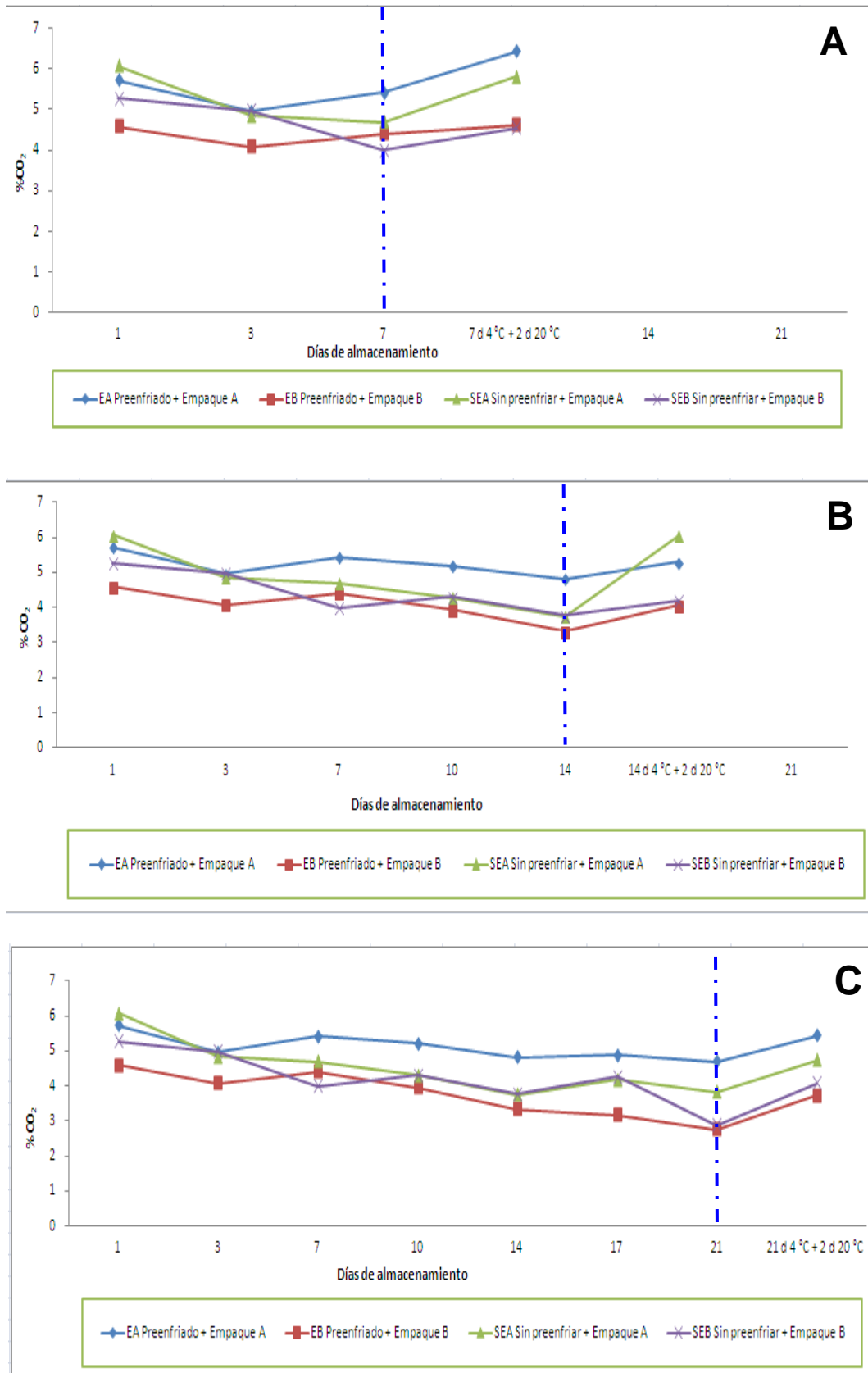


Figura 20. Concentración de CO₂ en el interior de los paquetes en muestras preenfriadas y sin preenfriar recubiertas con láminas plásticas (A: PEBD; B: PVC) durante el tiempo de almacenamiento de 7, 14 y 21 días a 4 °C seguido de 2 días a 20 °C

3.5.4 FIRMEZA

En la Figura 21 se presenta la firmeza (N) de los granos de maíz tierno para cada tratamiento durante el almacenamiento. La firmeza inicial (día 0) fue de 21,5 N. La firmeza se incrementó para todos los tratamientos, durante todo los periodos de almacenamiento ($p < 0,05$). El tratamiento preenfriado y con empaque de PEBD (EA) fue el que presentó la menor firmeza durante los tres periodos de almacenamiento.

En el primer periodo de almacenamiento la firmeza para todos los tratamientos estuvo en el rango 22,5 - 23,5 N. El tipo de empaque utilizado influyó significativamente en la firmeza de los granos de maíz tierno, los tratamientos EA y SEA presentaron menor firmeza que los tratamientos EB y SEB ($p < 0,05$). En cambio el preenfriamiento no influyó significativamente en la firmeza de los granos de maíz tierno.

En el segundo periodo de almacenamiento la aplicación del preenfriamiento y el material de empaque influyeron significativamente en la firmeza de los granos. El tratamiento EA presentó un valor de 22,6 N, menor que 23,8 y 23 N de los tratamientos EB y SEA, respectivamente. Un incremento de la firmeza de los granos se determinó en el tratamiento de SEB con 25,50 N. La combinación del preenfriamiento con el material de empaque de PEBD como material de empaque (EA) conservó la firmeza de los granos.

En el último periodo de almacenamiento, el preenfriamiento y el material de empaque tuvieron una diferencia significativa en la firmeza de todos los tratamientos, de la misma manera el tratamiento EA presentó un valor de 22,34, valor menor al de los otros tratamientos (24,7- 26,7 N).

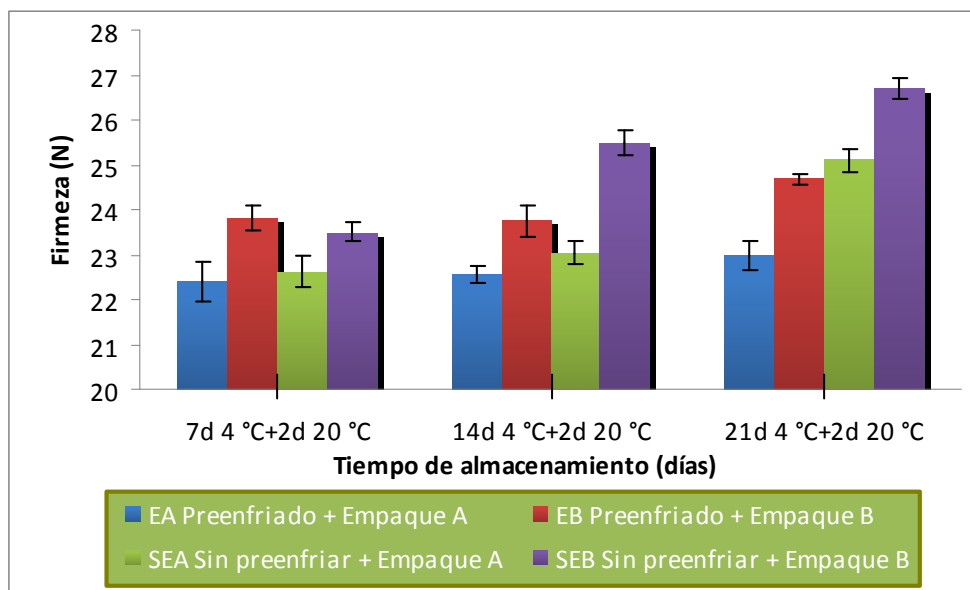


Figura 21. Firmeza (N) de los granos de maíz tierno, variedad INIAP-111, (Guagal mejorado) durante 7, 14, 21 días a 4 °C seguido de 2 días a 20 °C

La firmeza de los productos en el almacenamiento está relacionada con la pérdida de peso (Risse y McDonald, 1990), a menor pérdida de peso menor incremento de la firmeza del maíz tierno. Como se presentó en la Figura 18 los tratamientos en los que se utilizó PEBD como material de empaque presentaron menor pérdida de peso, si se relaciona con los resultados obtenidos en firmeza se observa que el PEBD también mantuvo la firmeza durante los 21 días de almacenamiento a 4 °C más 2 días a 20 °C. En el tratamiento SEB la pérdida de peso se produjo por pérdida de humedad de los granos (2,18%), esto provocó un incremento de la materia seca en el interior del grano, por lo que se necesitó mayor fuerza para realizar un corte transversal en los granos.

3.5.5 CONTENIDO DE ALMIDÓN

El contenido de almidón en el maíz tierno es un indicador de la madurez. Dependiendo de la etapa de desarrollo, los azúcares presentes en el endospermo se transforman en almidones (Riad, 2004). El contenido de almidón presentó variaciones en cada periodo de almacenamiento, como se indica en la Figura 22. En algunos casos, ésta variación podría deberse a la variabilidad biológica de las

muestras analizadas. En el primer periodo de almacenamiento las muestras preenfriadas presentaron menor contenido de almidón que aquellas sin preenfriar ($p < 0,05$). De la misma manera se presentó una diferencia significativa ($p < 0,05$) en el material de empaque. Las muestras empacadas con PEBD (14,1 y 18,6) presentaron menor contenido de almidón que las muestras empacadas con PVC (14,5 y 23,24) ($p < 0,05$). Existió una interacción entre las dos variables (preenfriamiento y material de empaque) en la cual el menor contenido de almidón se presentó al aplicar el preenfriamiento independiente mente del material de empaque.

En el segundo periodo de almacenamiento las muestras preenfriadas presentaron menor contenido de almidón que las muestras sin preenfriar ($p < 0,05$). No existieron diferencias significativas en el material de empaque e interacción entre las variables.

En el tercer periodo de almacenamiento, las muestras empacadas con PEBD presentaron un menor contenido de almidón (19,6 y 18,9) que las muestras empacadas con PVC (19,4 y 19,9). El material de empaque usado no presentó diferencias significativas.

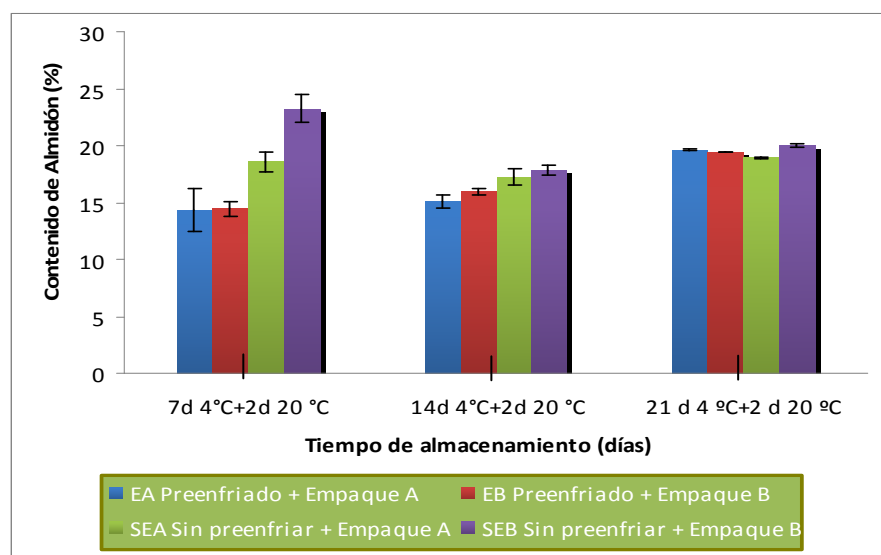


Figura 22: Contenido de almidón del grano (% base seca) de maíz tierno, preenfriado y sin preenfriar recubierta con láminas plásticas (A: PEBD; B: PVC), almacenados a 4 °C, seguido de 2 días a 20 °C

3.5.6 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL DE LAS MAZORCAS

En la Tabla 17 se presentan los resultados de la evaluación de la calidad visual del maíz tierno durante el almacenamiento. Se observó que el índice de evaluación para el atributo de turgencia se mantuvo entre los valores de 3,43 a 4,37 comparados con el valor inicial de 4,72. Las mazorcas presentaron una apariencia fresca durante los períodos de almacenamiento, como se indica en el Anexo J.

Para la marchitez del pedúnculo los índices de evaluación se redujeron independientemente de la aplicación del preenfriamiento o del empaque. El valor inicial para la marchitez del pedúnculo fue de 4,8 (≈ 5 , fresco), los tratamientos empacados con PVC (EB y SEB) presentaron valores menores de marchitez que los tratamientos empacados con PEBD (EA y SEA). Todos los tratamientos presentaron una marchitez moderada hasta el primer periodo de almacenamiento, posteriormente los valores disminuyeron hasta llegar a un marchitamiento extremo. El corte en el pedúnculo de la mazorca produjo una herida en la cual, eventualmente, puede producirse un ataque de microorganismos e incrementar la pérdida de humedad a través de esta herida.

La presencia de patógenos, presentó un índice entre 2,8 a 4,3. El índice inicial fue de 5 esto indicó que no existió ninguna presencia de patógenos al iniciar la experimentación. Para todos los períodos de almacenamiento La presencia de patógenos fue escasa para todos los tratamientos, excepto en el tercer periodo de almacenamiento para el tratamiento preenfriado y empacado con PVC (EB) por lo cual no se lo incluyó para realizar el análisis sensorial.

Las manchas pardas que se presentaron en las mazorcas fueron escasas para todos los tratamientos, durante los períodos de almacenamiento, los índices de evaluación se mantuvieron entre 3,3 y 5. El daño físico producido por cortes, o golpes a los granos se evidenció de manera escasa en todos los períodos de almacenamiento, la infestación de microorganismos y cambios de color alrededor del corte o golpe, se incrementó con el tiempo de almacenamiento.

En la Tabla 18 se resume la evaluación final de la calidad de las mazorcas, con los promedios de los valores obtenidos de los índices de evaluación. Se clasificaron a las mazorcas como calidad A: mantiene las características iniciales de calidad de las mazorcas frescas; calidad B: se presenta deterioro pero son aptas para el consumo, no existió presencia visual de patógenos y calidad C: se consideró como no comercializable, presentó granos secos, presencia de patógenos y pedúnculo marchito. Hasta el tercer periodo de almacenamiento, todos los tratamientos presentaron calidad B, apto para el consumo, excepto el tratamiento EB que presentó valores inferiores a 3 por lo que se consideró como no comercializables.

Tabla 17. Índice de evaluación de la calidad visual de las mazorcas de maíz tierno, variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) durante el tiempo de almacenamiento

| ATRIBUTO | Días de almacenamiento | Tratamientos | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|------|------|------|
| | | EA | EB | SEA | SEB |
| Turgencia | 7 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 4,37 | 4,13 | 3,83 | 3,77 |
| | 14 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,70 | 3,77 | 3,53 | 3,43 |
| | 21 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,47 | 3,27 | 3,47 | 3,23 |
| Marchitez del pedúnculo | 7 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,57 | 3,17 | 3,53 | 2,53 |
| | 14 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 2,73 | 2,47 | 3,03 | 2,53 |
| | 21 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 2,00 | 1,03 | 1,47 | 1,43 |
| Presencia de patógenos | 7 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 4,33 | 4,20 | 4,20 | 4,17 |
| | 14 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,67 | 3,53 | 4,17 | 4,13 |
| | 21 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,50 | 2,83 | 3,90 | 3,97 |
| Manchas pardas | 7 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 4,97 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| | 14 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,77 | 3,37 | 4,10 | 3,90 |
| | 21 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 3,63 | 3,30 | 3,37 | 3,63 |
| Daño mecánico | 7 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 4,97 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| | 14 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 4,20 | 4,23 | 4,27 | 4,07 |
| | 21 días a 4 °C+2 días a 20 °C | 4,17 | 4,20 | 3,97 | 3,93 |

Índice de evaluación, n=30

Tabla 18. Evaluación de la calidad visual de las mazorcas de maíz tierno, variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) durante el tiempo de almacenamiento

| Días de almacenamiento | Tratamientos | | | |
|-------------------------------|--------------|----|-----|-----|
| | EA | EB | SEA | SEB |
| 7 días a 4 °C+2 días a 20 °C | A | A | A | A |
| 14 días a 4 °C+2 días a 20 °C | B | B | B | B |
| 21 días a 4 °C+2 días a 20 °C | B | C | B | B |

A = entre 4-5, B = entre 3-4, C = <3

A: Mantiene las características iniciales

B: Se presenta deterioro pero es apto para el consumo

C: No comerciable

3.5.7 ANÁLISIS SENSORIAL

Se determinó que el tiempo de cocción para Quito (presión atmosférica 0,72 atm) fue de 15 min. Los resultados del análisis sensorial de las mazorcas de maíz tierno se presentan en la Tabla 19 para los distintos períodos de almacenamientos.

En el primer y segundo períodos de almacenamiento la aplicación del preenfriamiento y el material de empaque no produjeron diferencias significativas en los atributos de apariencia, sabor, dulzor y sabores extraños.

Los panelistas indicaron que el atributo apariencia de las muestras se mantuvo como fresca hasta el final del tercer periodo de almacenamiento, con intervalos cercanos a la mitad de la escala de evaluación no estructurada.

El sabor y el dulzor de las mazorcas disminuyeron según la percepción de los panelistas de 5,5 a 3,3. Esto se correlaciona con la disminución del contenido de SST (Brix), reportado en los análisis químicos para estas muestras. El material de empaque causó diferencias significativas ($p < 0,05$) en los atributos de dureza y fibrosidad. Los tratamientos con PEBD (EA y SEA) presentaron valores menores que los empacados con PVC, y los valores evaluados aumentaron durante el

tiempo de almacenamiento estos resultados confirmaron lo obtenido en los análisis de firmeza instrumental antes mencionado.

Tabla 19. Resultados de la evaluación sensorial de maíz tierno, preenfriado y sin preenfriar recubierta con láminas plásticas, almacenados a 4 °C, seguido de 2 días a 20 °C

| Atributos | Días de almacenamiento | Tratamientos | | | |
|------------------|---------------------------------|--------------|-------|-------|--------|
| | | EA | EB | SEA | SEB |
| Apariencia | 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4,83a | 4,37a | 6,36a | 5,52a |
| | 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 3,98a | 4,43a | 4,87a | 4,23a |
| | 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4,66 | - | 4,14 | 4,31 |
| Sabor | 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 5,50a | 4,81a | 4,81a | 3,78a |
| | 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 3,49a | 4,62a | 4,68a | 4,65a |
| | 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 3,69 | - | 4,12 | 3,74 |
| Dulzor | 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4,01a | 3,65a | 4,88a | 3,44a |
| | 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 3,01a | 3,77a | 3,28a | 3,45a |
| | 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 3,09 | - | 3,84 | 3,63 |
| Dureza | 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4,34a | 4,86b | 3,79b | 4,90b |
| | 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 6,13a | 6,49a | 5,47a | 5,08a |
| | 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4 | - | 5,72 | 4,4 |
| Fibrosidad | 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4,32a | 4,61b | 3,19a | 4,86b |
| | 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 5,92a | 5,29a | 5,47a | 4,89a |
| | 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 4,34 | - | 6,11 | 4,79 |
| Sabores extraños | 7 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 1,71a | 1,80a | 0,86a | 1,12a |
| | 14 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 1,06a | 1,27a | 1,65a | 1,427a |
| | 21 días a 4 °C + 2 días a 20 °C | 2,91 | - | 1,68 | 2,77 |

Media \pm DS, n=12

Para cada variable, valores en la misma fila seguidos por letras diferentes son estadísticamente diferentes

En el tercer periodo de almacenamiento el tratamiento preenfriado y empacado con PVC (EB) se excluyó del análisis sensorial por la presencia de patógenos. No se pudo determinar las diferencias significativas para este periodo de almacenamiento.

Los panelistas reportaron que no se percibieron sabores extraños producidos por fermentación anaerobia durante todos los períodos de almacenamiento. Este resultado concuerda con las bajas concentraciones de CO₂ (6%) determinadas en el interior de los empaque.

3.6 ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE IMPLANTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS POSTCOSECHA PARA MAÍZ TIERNO

Los tratamientos postcosecha propuestos para las mazorcas de maíz tierno fueron preenfriamiento de las mismas (hidroenfriador) y empacado con PEBD, como producto final se obtiene maíz tierno empacado en bandeja, cada bandeja medirá 0,16 m de ancho y 0,22 m de largo y contendrá 2 mazorcas con un peso neto aproximado de 0,6 kg. El flujograma del proceso se presenta en el Anexo K y el diseño del hidroenfriador se detalla en el Anexo L.

Para calcular los costos del preenfriamiento se consideró una capacidad de procesamiento de 200 sacos de maíz tierno con brácteas (producción aproximada de una hectárea de cultivo) con un peso aproximado de 37,2 kg/saco. Se utilizó el 52,3% del peso total de la mazorca (caracterización de la materia prima) para obtener el peso neto de enfriamiento. Con estos datos se obtuvo un peso total de 7 440 kg de los 200 sacos considerados para el proceso, y un peso neto de materia prima para enfriar de 3 891,1 kg/día (mazorcas sin brácteas).

Se consideró el costo del equipo, el costo de la energía eléctrica, la depreciación y mantenimiento del equipo y costo de operación (mano de obra directa). El costo del equipo de hidroenfriamiento se presenta en la Tabla 20 del Anexo K y fue

igual a 7 250 USD, con un compresor de 4HP. Se consideró el costo de energía eléctrica empleada en el funcionamiento del equipo por 8 h de trabajo para enfriar la materia prima más una hora de preenfriamiento del agua antes del procesamiento y una hora más para el recambio de agua después de las primeras 4 horas de trabajo; con un total de funcionamiento del equipo de 10 h. El costo de la energía fue de 2,7 USD para 3 891,1 kg/día.

Para calcular los costos de mantenimiento y depreciación del equipo se estimaron que fueron del 5 y 10% del costo del equipo de hidrogenfriamiento, respectivamente, se consideró que el equipo trabaja solo en la época de producción de maíz tierno (de junio a septiembre), 85 días al año por 10 horas de trabajo al día. El costo del mantenimiento y depreciación del equipo de hidrogenfriamiento fue de 12,8 USD/día.

Para calcular el costo de mano de obra directa se consideró a 10 personas para la preparación de la materia prima y 1 persona para el preenfriamiento y escurrido y 2 para empaclado. Con un sueldo mensual de 300 USD. La mano de obra utilizada será contratada exclusivamente para la temporada de cosecha desde el mes de junio hasta septiembre. El costo de la mano de obra empleada fue de 183,5 USD/día.

El costo del preenfriamiento fue de 199 USD/día.

Para determinar el costo del empaque se consideró el costo de las láminas plásticas (rollos de stretch film) disponibles en el mercado, es decir 7 USD por el rollo de 430 m de largo y 0,3 m de ancho. Cada empaque pesa 0,6 kg y se utilizó aproximadamente 0,15 m² (0,5x0,3 m). El costo de las bandejas utilizadas fue de 0,03 USD/bandeja. El costo de las láminas plásticas fue de 52,8 USD/día y de las bandejas de 64,8 USD/día

El costo del empaque fue de 117,6 USD/día

Tabla 20. Costo de los tratamientos postcosecha de preenfriamiento y empacado en láminas plásticas

| Tratamiento | Costo (USD/día) | Costo (USD/kg) |
|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Preenfriamiento | 199 | 0,05 |
| Empacado | 117,6 | 0,03 |
| Total | 316,6 | 0,08 |

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Los índices de madurez dependieron de las condiciones climáticas en el momento de la cosecha. El llenado de los granos (longitud y diámetro de la mazorca), los días después de la siembra y la marchitez de los estigmas fueron las variables que determinaron los índices de madurez de maíz tierno.
- El contenido de SST, se incrementó hasta 8,5% desde la etapa de floración femenina hasta la cosecha (de 154 a 168 días después de la siembra).
- Se estableció una escala de marchitez para cuantificar el estado de madurez de las mazorcas. La cosecha se realizó cuando más del 75% de las plantas presentaron el 100% del largo de los estigmas marchitos.
- Los valores de longitud y diámetro medidos con brácteas, caracterizó a las mazorcas como de tipo I (grande) según la norma INEN 1 761 con diámetros superiores a 7 cm y longitud mayores a 20,1 cm.
- En el maíz tierno INIAP-111 (Guagal mejorado), el 52,3% del peso total de las mazorcas correspondió al peso del raquis y los granos y el 47,7% restante correspondió al peso de las brácteas consideradas como desecho de este producto.
- Los resultados de pH y acidez titulable caracterizaron a las mazorcas de maíz tierno como un producto neutro, no ácido.
- Los granos de maíz tierno presentaron altos contenidos de carbohidratos y cantidades relativamente bajas de otros nutrientes.

- El patrón de respiración de las muestras enfriadas y sin preenfriar correspondió a productos no climatéricos. No existieron diferencias significativas en la tasa de respiración de estas muestras.
- El empaque PEBD redujo la pérdida de peso en las mazorcas durante todo el periodo de almacenamiento. La pérdida de peso fue 50% menor en muestras empacadas con PEBD que en las muestras empacadas con PVC. La pérdida de peso al final del almacenamiento de 21 días a 4 °C mas 2 días a 20° C para los tratamientos fue 1,05 y 1,32% para EA (preenfriado + PEBD) y EB (preenfriado + PVC), respectivamente.
- La concentración de CO₂ en el interior de los empaques fue 4-6 % para todos los tratamientos, estos valores no produjeron fermentación en las muestras de maíz tierno. Las muestras empacadas con PEBD (EA y SEA) presentaron mayor concentración de CO₂ que las empacadas PVC (EB y SEB).
- Las muestras estudiadas tienen contenido variable de almidón durante el almacenamiento. Estas variaciones dependerían de la variabilidad biológica de las muestras analizadas.
- El preenfriamiento redujo la pérdida del contenido SST, mantuvo la turgencia en todas las muestras almacenadas.
- Los panelistas no detectaron olores ni sabores extraños en todas las muestras analizadas durante todo el almacenamiento. La calidad comercial para todos los tratamientos se mantuvo hasta 14 días.
- Las mazorcas de maíz tierno preenfriadas y empacada con PEBD (EA) fueron las que presentaron menor pérdida de la calidad durante el almacenamiento.
- El costo total de la aplicación de los tratamientos preenfriamiento y empaque (PEBD) fue USD. 0,08/kg de maíz tierno.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas experimentales durante varios años (al menos tres años), en distintas épocas de cosecha (época lluviosa y época seca) y en distintos lugares de crecimiento, para asegurar que los índices de cosecha reflejen las características de madurez de las mazorcas.
- Realizar un estudio de mercado de maíz tierno preenfriado y empacado con PEBD, para determinar la viabilidad comercial de este producto.
- Realizar investigaciones relacionadas con la aplicación de otros tratamientos postcosecha como irradiación y/o aplicación de recubrimientos comestibles, seguidos de almacenamiento a temperaturas inferiores a las de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Aharoni, Y., Copel, A., Gil, M. y Fallik, E., 1996, "Polyolefin Stretch Films Maintain the Quality of Sweet Corn During Storage and Shelf-life", *Postharvest Biology and Technology*, 7, pp.171-176.
2. Alonso, A., Reyes H. y Nieto A., 2002, "Tabla de composición de alimentos de Uruguay", <http://www.mercadomodelo.net/documentos/tabla.pdf>, (Enero, 2012).
3. Alvarado, S. Jaramillo, R. Parra, R. Valverde, F., 2011, "Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar", Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias "Estación Experimental Santa Catalina", *International Plant Nutrition*, Boletín técnico No.150, Quito, Ecuador, p. 27.
4. Anzaldúa, A., 1994, "La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica", E. Aciba, Zaragoza, España., pp. 45-50.
5. AOAC, 2005, "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists", Arlington, USA.
6. Asturias, M., 2004, "Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre." <http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/libro%20maiz.pdf>, (Enero, 2011).
7. Avendaño, C., Molina, J., Trejo, C., López, C. y Cadena, J., 2008, "Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz", *Agronomía*, 19 (1), 27.
8. Baldwin, E., Nisperos, M. y Baker, R., 1995, "Edible Coating for Lightly Processed Fruits and vegetables", *HortScience*, 30, (1), 35.
9. Boyette, M., Estes, E. y Rubin, A., 1992, "Maintaining the Quality of North Carolina Fresh Produce: Hydrocooling", AG-414-4. N.C.,

- <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/postharv/ag-414-4/index.html>, (Marzo, 2011).
10. Brecht, J., 2002, "Sweetcorn", <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/131sweetcorn.pdf>, (Marzo, 2011).
 11. Bustamante, J., Allés, A., Espadas, M. y Muñoz, J., 2000, "El Cultivo del Maíz para Ensilar", Centro de Capacitación y Experiencias Agrarias de Mahón (Menorca), 18, 1.
 12. Carrera, M. y Mateo, J., 2005, "Prontuario de Agricultura, Cultivos Agrícolas", E. Aedos, México D.F., México, pp.18-20.
 13. Cartaya, L., Ortiz, L. y Bejarano, A., 1991, "Características físicas y químicas de los granos de maíz dulce de las variedades "Pajimaca y Riqueza" durante el proceso de maduración." *Agronomía Tropical*, 41, 205.
 14. Cepeda, R., 1987, "El Fenómeno de la Maduración", Instituto Internacional de Cooperación Para la Agricultura, Tecnología del Manejo Postcosecha de Frutas y Hortalizas, Bogota, Colombia, pp. 42, 57- 62.
 15. CIMMYT, 1995, "Manejo de los Ensayos e Informe de los Datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT", CIMMYT, México, D.F, pp. 15, 16, 17.
 16. Cotula, L., Dyer, N., y Vermeulen, S., 2008 *Fuelling Exclusion? The Biofuels Boom and Poor People's Access to Land*, IIED, Londres, Inglaterra, p. 70.
 17. Deak, T., Heaton, K., Hung, C. y Beuchat, R., 1987, "Extending the shelf life of fresh sweet corn by shrink-wrapping, refrigeration and irradiation", *Journal Food Science*, 52, 1625.

18. ESPAC, 2010, (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador), <http://157.100.43.205/lcads-samples/testdrive-remoteobject/main.html#>, (Agosto, 2011).
19. FAO, 1989, "Manual Para el Mejoramiento del Manejo Poscosecha de Frutas y Hortalizas" (Food and Agriculture Organization of the United Nations), <http://www.fao.org/docrep/x5056s/x5056S00.htm#%20Contents>, (Febrero, 2010).
20. FAO, 2001, "El Maíz en los Trópicos" (Food and Agriculture Organization), <http://www.fao.org/DOCREP/003/X7650S/X7650S00.HTM>, (Julio, 2011).
21. FAO, 2003, "Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas del campo al mercado", (Food and Agriculture Organization), <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>, (Enero, 2012)
22. Garcés, N., 1987, "Cultivos de la Sierra: Maíz", "Universidad Central del Ecuador", Quito, Ecuador, pp.115, 116.
23. Galinat, C., 1995, "El Origen del Maíz: El Grano de la humanidad", *Economic Botany*, 49, (1), 6.
24. Gordon, E., 1992, "Cooling Methods in Postharvest Tecnology of Horticultral Crop", University of California. Davis. CA, pp. 56-62.
25. Kader, A., 2002, "Postharvest Technology of Horticultural Crops", Third edition, Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales, California, United States of America, pp. 39-64, 513.
26. Kitinoja, L. y Kader, A., 1996, "Manual de Prácticas de Manejo Postcosecha de los Productos Hortofrutícolas a Pequeña Escala", California, U.S.A, pp. 7-9.

27. Kitinoja, L. y Kader, A., 2003, "Técnicas de Manejo Poscosecha a Pequeña Escala: Manual para los Productos Hortofrutícolas (4ª Edición)", http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae075s/ae075s03.htm#Maturity_Standards, (Julio, 2011).
28. Küppers, H., 2002, "Atlas de los colores", Editorial Blume, Barcelona España, pp. 17, 18, 57, 61, 71.
29. Lafitte, H., 1993, "Identificación de Problemas en la Producción de Maíz Tropical", CIMMYT, México, pp. 2- 4.
30. López, Á., 2003, "Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas del Campo al Mercado", Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, 151, 61.
31. Mendoza, R. G., 2001, "Guía para el Manejo Integrado del Maíz Mecanizado", <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/idiap/maizmecanizado1.pdf>, (Julio, 2011).
32. Nuss, E. y Tanumihardjo, S., 2010, "Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 417.
33. Otero, M., 2001, "Estudio de la Fisiología postcosecha de piñas entera sometidas a tratamientos postcosecha y de piñas mínimamente procesadas almacenadas a condiciones controladas de humedad y temperatura", Tesis previa a la obtención de Ingeniero Químico, Quito, Ecuador, pp. 43-45.
34. Pacheco, R., Moreno, F., Sambrano, O., Borja, J. y Orozco, L., 1990, "Hortalizas Frescas. Choclo-Maíz Tierno, Norma INEN 1-761", INEN-Norma Técnica Obligatoria, Quito, Ecuador, p. 2.
35. Parra, A. y Hernández, J., 2007, "Fisiología poscosecha de frutas y hortalizas", 1era edición, Editorial Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogota, Colombia, pp. 23-25, 31, 32.

36. Parsons, D., 1991, "Manuales para Educación Agropecuaria, Maíz", 2da Edición, Editorial Trillas, México, D.F., México, pp. 9-22.
37. Riad, G., 2004, "Atmosphere modification to control quality deterioration during storage of fresh sweetcorn cobs and fresh-cut kernels", Tesis previa a la obtención de Doctor de Filosofía, Escuela de Postgrado, Universidad de Florida, Florida, United States of America, p. 4.
38. Risse, A. y McDonald, E., 1990, "Quality of Supersweet Corn Film-overwrapped in Trays", *Hortscience*, 25, 322.
39. Ritchie, S. y Hanway, J., 1984, "How a Corn Plant Develops", Special Report, Iowa State University of Science and Technology, Iowa, United States of America, p. 2.
40. Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Aharoni, Y., Wiseblum, y Vinokur, Y., 2002, "Nested modified-atmosphere packages maintain quality of trimmed sweet corn during cold storage and the shelf life period", *Postharvest Biology and Technology*, 18, 259.
41. Saltveit, M., Reidm M., 1997, "Respiration: The Physiologist's yardstick in Postharvest Physiology and Handling of Horticultural Commodities", Editor Kader, A., Saltveit, M., Reidm M. University of California, Oakland, pp. 40-46.
42. Sánchez, A. y Villamizar, F., 2003, "Acondicionamiento y Empaque de Hortalizas Para Reducción de Residuos Vegetales en Centrales de Abastos", *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 5 (1), 60.
43. Silva, E., Dobronski, J., Herredia, J. y Monar, C., 1997, "Variedad de Maíz Blanco Harinoso para la Provincia de Bolívar." INIAP-111 "Guagal Mejorado". Programa de maíz. Estación Experimental "Santa Catalina". Plegable Divulgativo, 146, 2.

44. Suslow, T. y Cantwell, M., 2008, "Maíz Dulce": (Elote) Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha" (University of California-Davis), http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Ma%C3%ADz_Dulce__Elote/ (Mayo, 2011).
45. Terranova, 1995, "Producción Agrícola I", Terranova, Bogotá, Colombia, pp. 110-112.
46. Thompson, J., Mitchell, G., Rumsey, T., Kasmire, R. y Crisosto, C., 2002, "Commercial Cooling of Fruits Vegetables, and Flowers", 2da Edición, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, California, United States of America, pp. 1, 6, 19-21, 24.
47. Verissimo, L., 1999, "Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería: Cereales", Centrium, Barcelona, España, p. 10.
48. Vigneault, C., Goyette, B., Gariépy, Y., Cortbaoui, P., Charles, M. y Raghavan, V., 2007, "Effect of ear orientations on hydrocooling performance and quality of sweet corn", *Postharvest Biology and Technology*, **43**, 351.
49. Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. y Joyce, D., 1998, "Introducción a la Fisiología y Manipulación Postcosecha de Frutas, Hortalizas y Plantas Ornamentales", Editorial Acriba, Zaragoza, España, p. 29
50. Yáñez, C., Zambrano, L., Caicedo, M., Sánchez, V. y Heredia, J., 2003, "Catálogo de Recursos de Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos", INIAP, Quito, Ecuador, pp. 4, 131.
51. Yáñez, C., Zambrano, L., Sánchez, V. y Heredia, J., 2007, "Manual de Producción de Maíz para Pequeños Productores y Productoras", INIAP, Quito, Ecuador, p. 8.

ANEXOS

ANEXO A

ALMACENAMIENTO DE MAÍZ TIERNO



Figura 23. Mazorcas de maíz tierno empacadas en bandejas de poliuretano y láminas plásticas (A), Almacenamiento de mazorcas de maíz tierno en la cámara de refrigeración (B)

ANEXO B

FOTOGRAFÍA DEL HIDROENFRIADOR



Figura 24. Hidroenfriador (Marca Lactoquinox, modelo TENF-01, Quito)

ANEXO C

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS LÁMINAS PLÁSTICAS UTILIZADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN

Empaque A de POLIPACK

Material: Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

Tamaño: 0.3 x 300 m

Espesor: 0.016 mm

Brillo: 82%

Impacto al dardo: 203 g

Límite Elástico CD: 333,9 kg/cm²

Rasgado CD: 400,0 g

Ruptura CD: 185 kg f⁻¹

Elongación CD: 660,1%

Límite Elástico MD: 516,7 kg/cm²

Rasgado MD: 450 g

Ruptura MD: 265 kg f⁻¹

Elongación MD: 398,1 %

Empaque B de ANCHOR PACKAGING

Material: Cloruro de Polivinilo (PVC) grado alimenticio

Tamaño: 0,3 x 300 m

Espesor: 0,008 mm

ANEXO D

CODIFICACIÓN DE LOS MATICES EN LA CARTA DE COLOR DE KÜPPERS

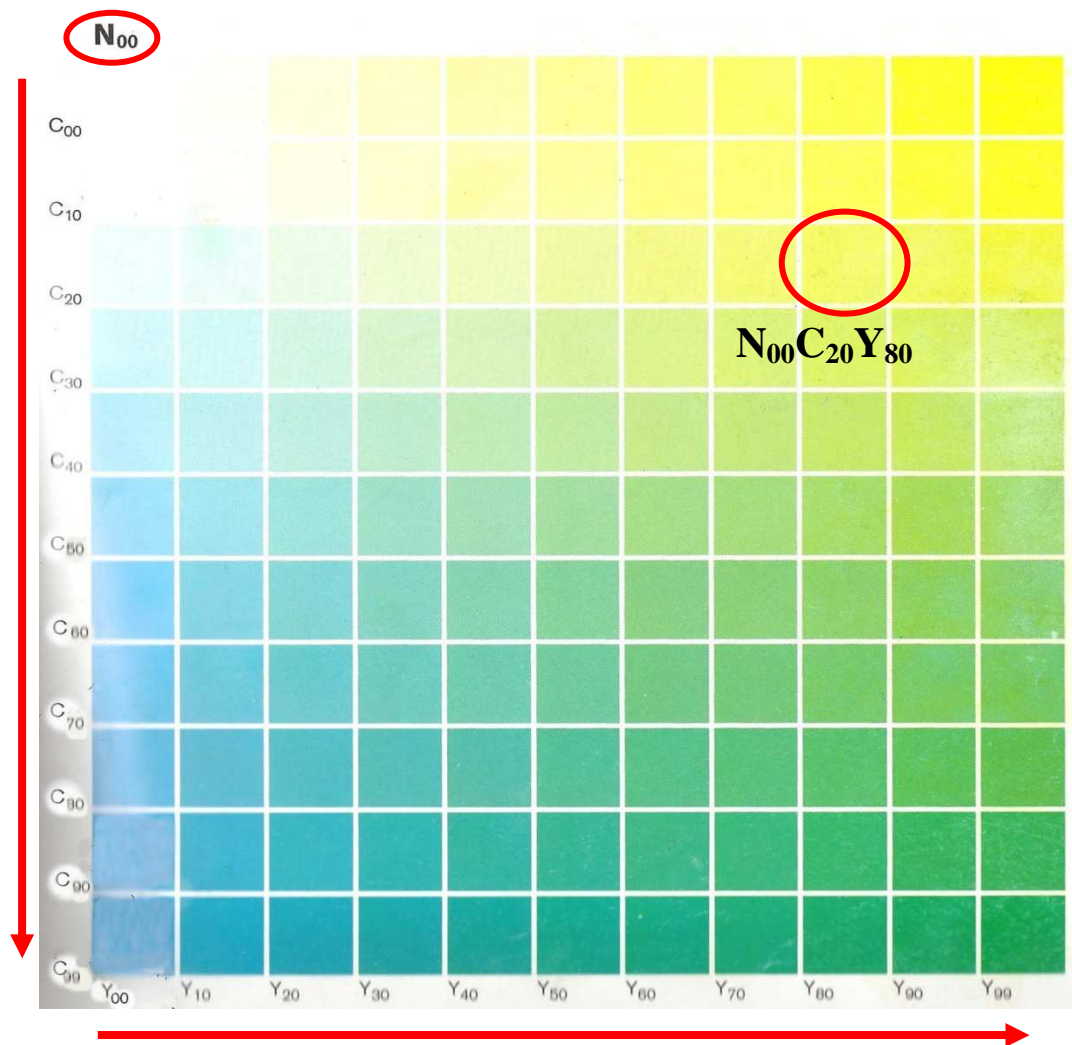


Figura 25. Codificación de los matices en la carta de color de Küppers

El atlas de color de Küppers utiliza diferentes tablas con un orden sistemático y cuantitativo para cada matiz. Los matices son la combinación de los colores fundamentales amarillo (Y), magenta (M), cian (C), negro (N) y con la intervención del fondo blanco del papel (Küppers, 2002).

La gradación de las mezclas se expresan en porcentajes que equivalen concretamente a la proporción de superficie cubierta por cada color fundamental. La valoración se produce con diferencias del 10% entre un matiz y el siguiente y

entre una tabla y la consecutiva. Las tablas se dividen en 5 series, tres denominadas de mezclas acromáticas debido a la intervención del negro y dos de mezclas denominadas cromáticas debido a la intervención exclusiva del amarillo, magenta y cian. Para codificar un matiz, Küpper sugiere primero seleccionar la tabla, luego desplazarse en el eje vertical de arriba hacia abajo hasta encontrar la escala adecuada y finalmente en el eje horizontal de izquierda a derecha (Küppers, 2002).

ANEXO E
FOTOGRAFÍAS DEL TEXTURÓMETRO

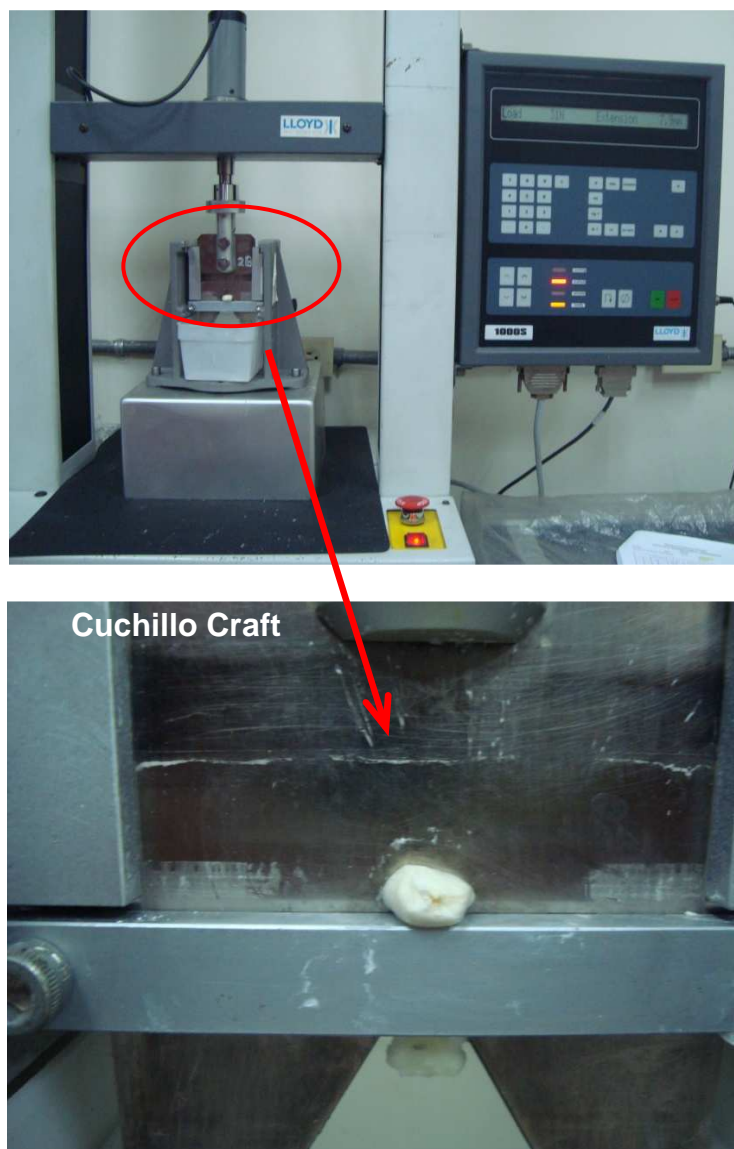


Figura 26. Texturómetro (Lloyd Instruments, Modelo 1000 S, Leicenter)

ANEXO F

ENCUESTA DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE MAÍZ TIERNO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL

PRODUCTO: MAIZ TIERNO

FECHA:.....

HORA:.....

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

Nº.....

Nº.....

Nº.....

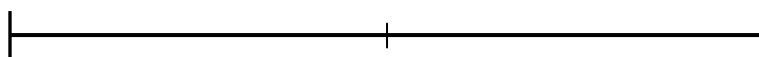
Nº.....

ATRIBUTO

APARIENCIA:

Muy Seco

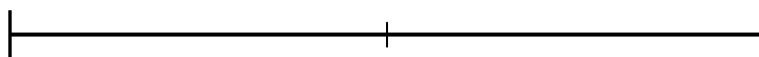
Muy Fresco



SABOR:

Insípido

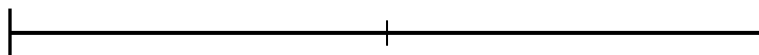
Intenso sabor a Choclo



DULZOR:

Sin Dulce

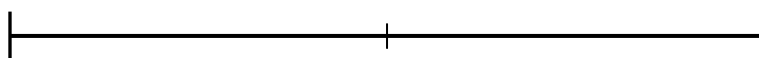
Muy Dulce



DUREZA:

Muy Suave

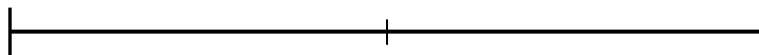
Muy Duro



FIBROSIDAD:

Nada Fibroso

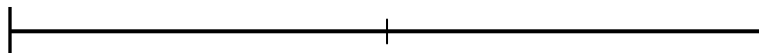
Muy Fibroso



SABORES EXTRAÑOS:

Ausencia

Presencia Intensa



OBSERVACIONES:

.....
.....

Gracias por su colaboración.

EL/SV/JR

ANEXO G

FOTOGRAFÍAS DE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL



Figura 26. Fotografías de la pérdida de la turgencia: Mazorca con granos turgentes(A), mazorca con pérdida de turgencia de los granos en la mazorca (B)

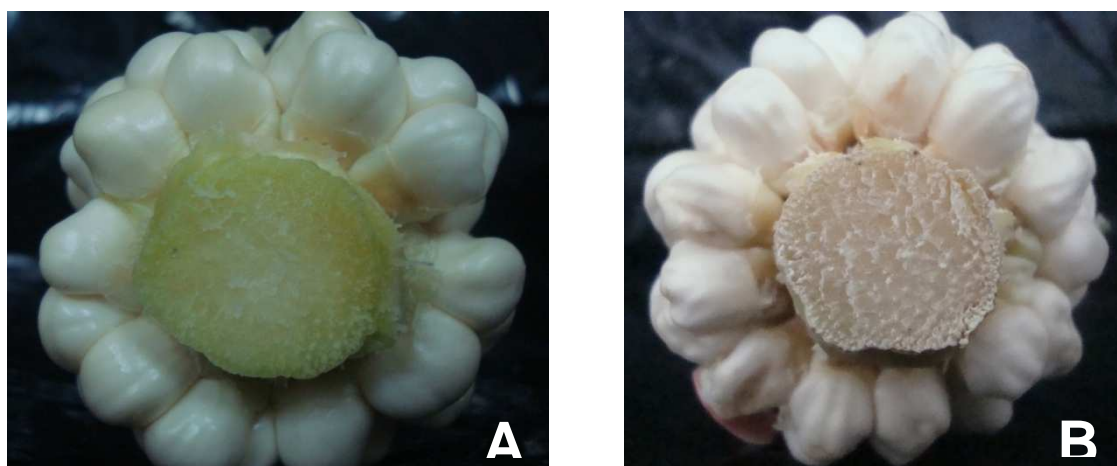


Figura 28. Fotografías de la marchitez del pedúnculo: pedúnculo fresco(A), pedúnculo marchito (B)

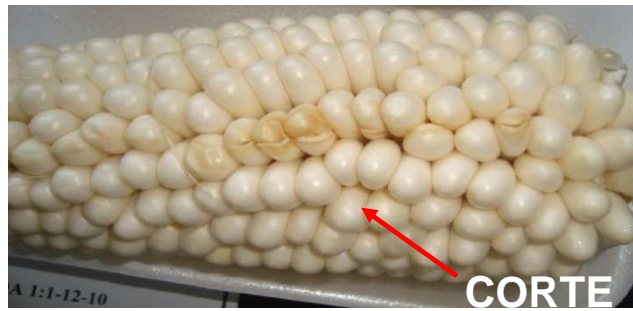


Figura 29. Fotografías de daño mecánico



Figura 30. Fotografía de manchas pardas

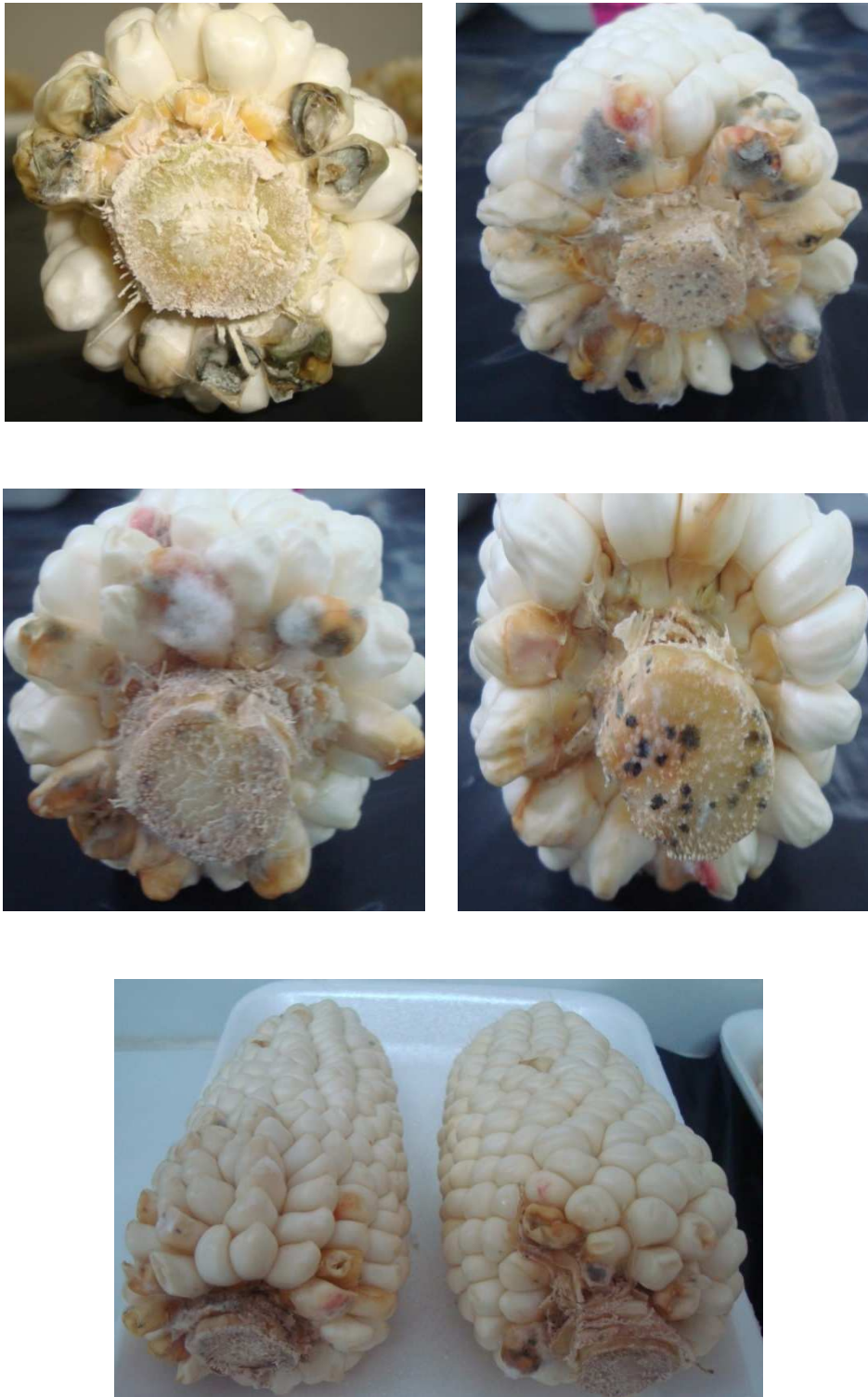


Figura 31. Fotografía de presencia de patógenos en la mazorca

ANEXO H

FOTOGRAFÍAS DE SISTEMA DE RESPIRACIÓN - SÉPTUM

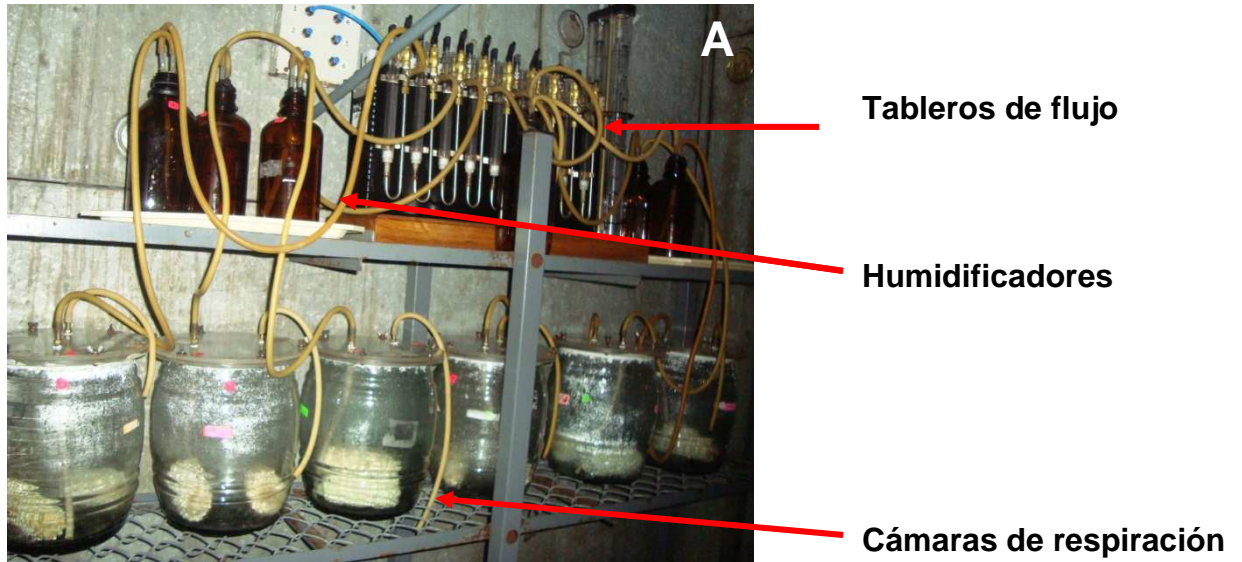


Figura 32. Sistema de respiración (A); Séptum de silicona en el empaque (B)

ANEXO I

CONDICIONES DE TRABAJO DEL ANALIZADOR DE GASES POSTHARVEST RESEARCH

| | |
|---|------------|
| Volumen de muestra: | 1 mL |
| Gas portador: | Nitrógeno |
| Flujo de gas portador: | 100 mL/min |
| Presión del gas portador: | 15 psig |
| Para determinar atmósfera interna | |
| Estándar de CO₂: | 3% |
| Rango del detector de CO₂: | 0,8% |
| Regulación del registrador | |
| Rango del registro de CO₂: | 10v |
| Para determinar tasa de respiración | |
| Estándar de CO₂: | 0,49% |
| Rango del detector de CO₂: | 0,2% |
| Regulación del registrador | |
| Rango del registro de CO₂ (estándar): | 10v |
| Rango del registro de CO₂ (muestra): | 1v |

Analizador rápido de CO₂-O₂ Postharvest Research



ANEXO J

FOTOGRAFÍAS DE MAÍZ TIERNO ALMACENADO A
TEMPERATURA Y HR CONTROLADAS

Figura 33. Mazorcas de maíz tierno almacenados durante 7 días a 4 °C seguidos de 2 días a 20 °C

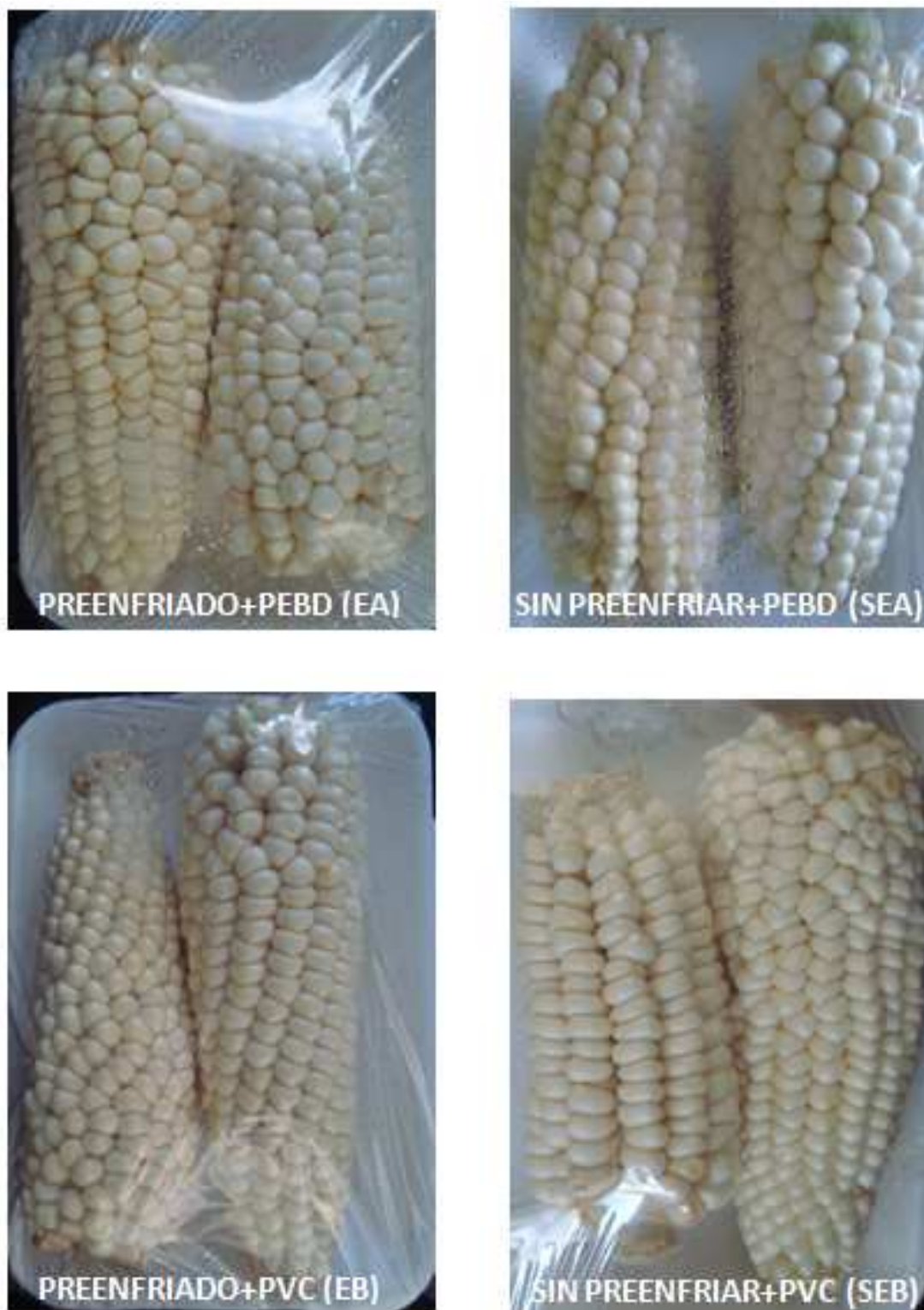


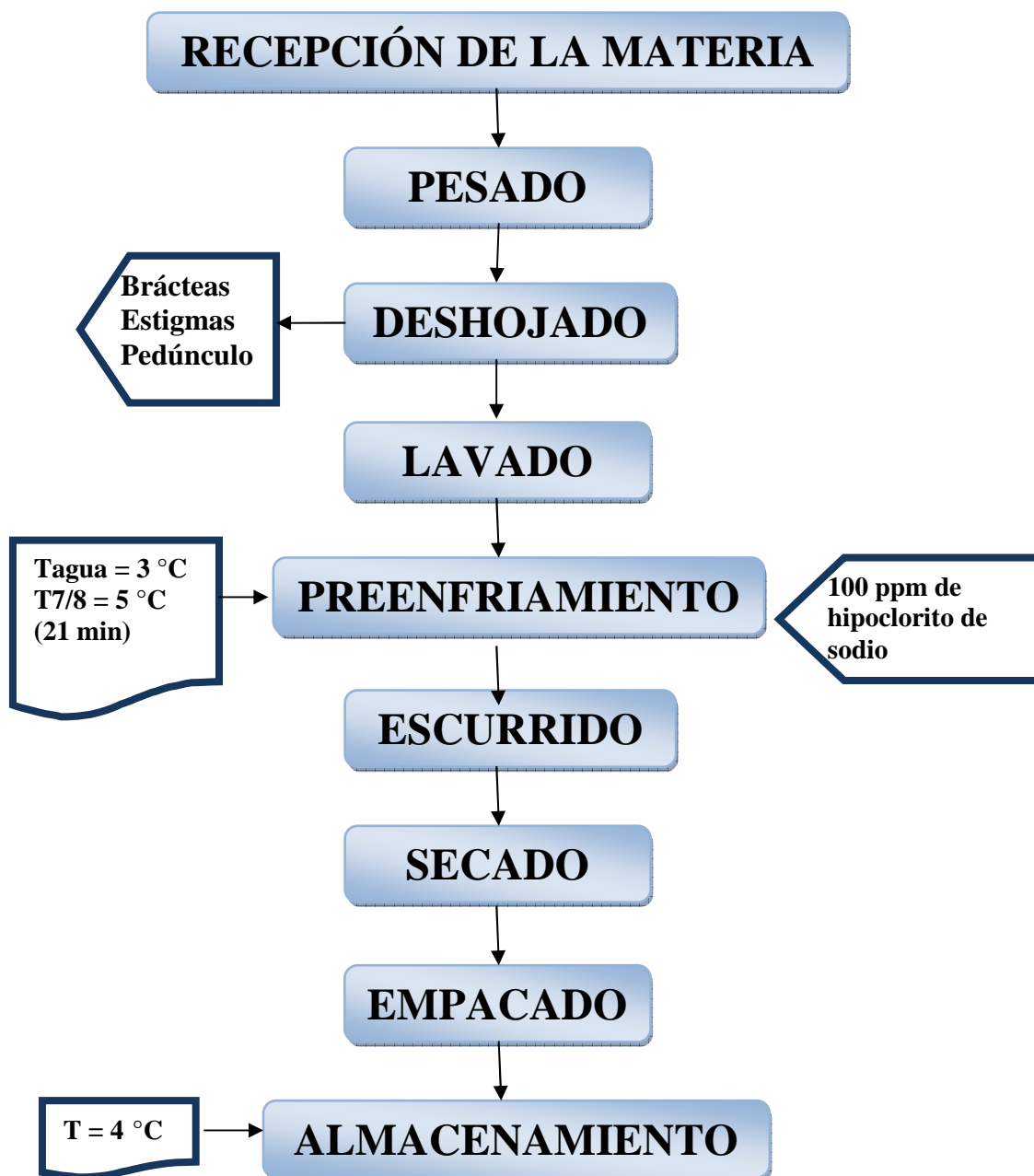
Figura 34. Mazorcas de maíz tierno almacenados durante 14 días a 4 °C seguidos de 2 días a 20 °C



Figura 35. Mazorcas de maíz tierno almacenados durante 21 días a 4 °C seguidos de 2 días a 20 °C

ANEXO K

FLUJOGRAMA PARA PREENFRÍAR Y EMPACAR MAÍZ TIERNO



ANEXO L

DISEÑO DEL HIDROENFRIADOR

Se consideró para la capacidad del proceso la producción de una hectárea de maíz tierno con un promedio de 200 sacos, cada saco de 37 kg de mazorcas de maíz tierno con brácteas. Se utilizó el 52,3% del peso total de la mazorca (caracterización de la materia prima) para obtener el peso para preenfriar al día, que se realizará en 8 horas en el día más una hora para preenfriar el agua antes del proceso. Se obtiene como carga de preenfriamiento 486 kg/h de maíz tierno.

Se consideró una temperatura inicial de las mazorcas de 20 °C, una temperatura 7/8 de 5 °C y la temperatura del agua de 3 °C. En las pruebas piloto el tiempo requerido para reducir la temperatura de 19 °C a 6°C fue de 20 min. Considerando las operaciones de carga y descarga el tiempo de preenfriamiento será de 30 min por cada carga de refrigeración, en una hora se preenfria 2 cargas es decir 243 kg/carga.

Dimensiones de la piscina de inmersión:

Considerando las pruebas piloto donde se obtuvo una relación del volumen de agua: peso de las mazorcas, de 6:1 el volumen requerido es 1 500 L. Se recomienda una que la piscina de inmersión (tanque) debe llenarse con las $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad, es decir de 200 L.

Las dimensiones del tanque son:

Alto: 1 m

Ancho: 1 m

Largo: 2 m

Cálculo de la carga de refrigeración:

$$q_{\text{agua}} = \frac{1\,500\text{L}}{10\text{ h}} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times (20-3) ^\circ\text{C} = 10\,659 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Cp_{\text{maíz tierno}} = Cp_W(\% \text{ agua}) + Cp_P(\% \text{ proteína}) + Cp_G(\% \text{ grasa}) + Cp_{CH}(\% \text{ CH}) + Cp_C(\% \text{ ceniza})$$

$$Cp_{\text{maíz tierno}} = 4,18 (73,23) + 1,6 (2,88) + 1,7 (1,56) + 1,4 (21,62) + 0,8 (0,67)$$

$$q_{\text{maíz tierno}} = \frac{485,93\text{ kg}}{\text{h}} \times 3,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times (20-5) ^\circ\text{C} = 28062 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Carga de refrigeración} = 10\,659 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 28062 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Carga de refrigeración} = 38\,721 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Considerando que en todo el día de procesamiento se realizará dos cambio de agua en la piscina de inmersión y que se enfriara previamente antes del proceso hasta llegar a una temperatura de 3 °C. El agua rec irculará durante cuatro horas, se realizará el cambio de agua y se enfría nuevamente durante el descanso de los operarios y se trabajará las 4 horas restantes

Cálculo de la cantidad necesaria de refrigerante y potencia del compresor:

Fluido Refrigerante: R-134a

$$T_{\text{condensación R-134a}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{evaporación R-134a}} = -2\text{ }^\circ\text{C}$$

Para calcular la cantidad de refrigerante necesaria, la potencia del compresor se utiliza las ecuaciones 1a, 2a, 3a, 4a y el diagrama de Presión- Entalpía R-314a (Figura 36).

Circulación del refrigerante

$$H_a = 390\text{ kJ/kg}$$

$$H_b = 420\text{ kJ/kg}$$

$$H_d = 232\text{ kJ/kg}$$

$$H_a - H_d = 158\text{ kJ/kg}$$

$$H_b - H_a = 30 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = 655 \text{ kPa}$$

$$P_1 = 270 \text{ kPa}$$

$$\text{Circulación del refrigerante} = \frac{\text{Carga del refrigerante}}{H_a - H_d} = \frac{38\,721,41 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{158 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 245,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$n_s = 0,86 - 0,38 \frac{655 \text{ kPa}_2}{270 \text{ kPa}_1} = 0,76$$

$$COP_R = \frac{H_a - H_d}{H_b - H_a}$$

$$COP_R = 158/30 = 5,26$$

$$\text{Potencia del compresor} = \frac{\text{Carga del refrigerante}}{\frac{H_a - H_d}{H_b - H_a} \times n_s} = 9\,686,16 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Potencia del compresor} = 3,71 \text{ HP} \approx 4 \text{ HP}$$

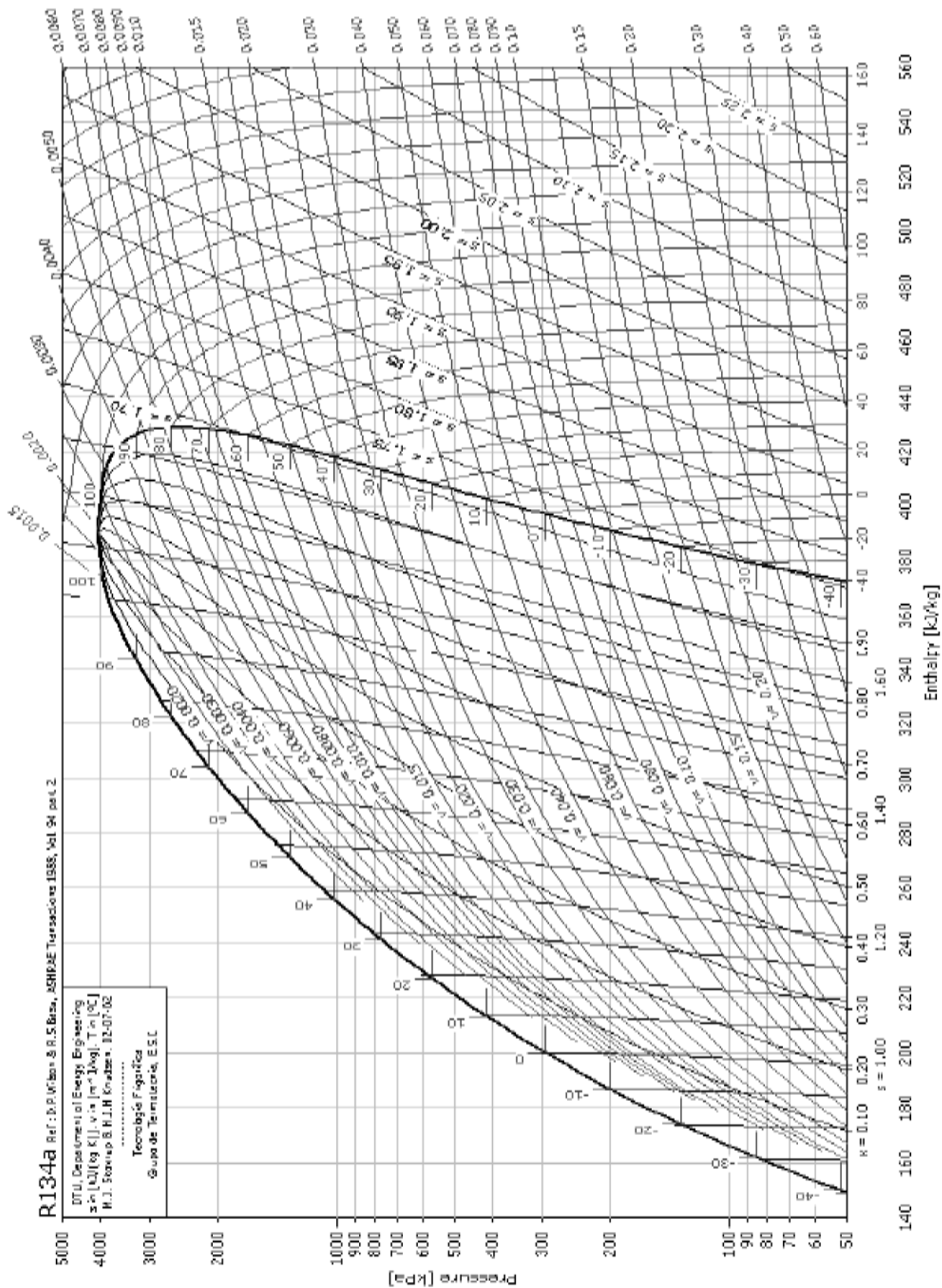


Figura 36. Diagrama Presión-Entalpia para refrigerante R-134a

Costo de equipo de refrigeración:**Tabla 21.** Costos del equipo de enfriamiento

| Cantidad | Detalle | Costo(USD) |
|-----------------|---|-------------------|
| 1u | Piscina de inmersión: 3,72 m ³ (1,2x1,2x2,6 m), laminas de acero inoxidable (e =0,7 mm). | 750,00 |
| 1u | Unidad condensadora: 0,94 kJ (12.000 BTU), Compresor de 10 HP, refrigerante R-134a, 208/220V, 60 Hz, 3 Ph | 2 115,00 |
| 1u | Unidad Evaporadora: 0,94 kJ (10 000 BTU/h), tubería de cobre 5/8" tipo K un ventilador | 1 490,00 |
| 1u | Sistema de circulación de agua: tubería flexible de 5/8", Bomba de agua 2HP. | 770,00 |
| 1u | Sistema de control electrónico: con microprocesador digital con gestión para control de temperatura, termómetro, operación del evaporador y compresor | 1 275,00 |
| 1u | Costo de montaje e instalación | 850,00 |
| Total | | 7 250,00 |

Fuente: Comunicación personal con el Ing. Ángel Real, FRIOLAC.