

Estudio del manejo poscosecha del maíz tierno (*Zea mays L.*) procedente del cantón San Miguel de la provincia de Bolívar

Ladino A.; Valencia S.

Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria,
Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología DECAB, Quito, Ecuador;
e-mail: eledu_008@hotmail.com; silvia.valencia@epn.edu.ec

Resumen: Se estudió el efecto de los tratamientos poscosecha, preenfriamiento y atmósfera modificada pasiva (AM), en la calidad de maíz tierno procedente del cantón San Miguel de la Provincia de Bolívar, Ecuador. Las muestras preenfriadas y sin preenfriar fueron empacadas con láminas de polietileno de baja densidad (PEBD) y policloruro de vinilo (PVC) y almacenadas a 4 °C y 90% de humedad relativa (HR) durante 7, 14 y 21 días, seguidos de 2 días a 20 °C para simular el tiempo de vida en estante. Se realizaron determinaciones físicas, químicas, fisiológicas, y sensoriales de cada tratamiento. Se determinaron los índices de madurez para lo cual se identificó el cambio de color de los estigmas en las mazorcas, desde la formación de la flor femenina hasta el día de la cosecha, el llenado de los granos y el contenido de sólido solubles totales (SST) en los mismos. La cosecha se realizó a los 168 días después de la siembra, las mazorcas presentaron un diámetro promedio de 6,6 cm y el 75% de las muestras presentaron 100% 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 (P > 0,05). El tratamiento EA (preenfriamiento y empacado con PEBD), disminuyó la pérdida del contenido de SST, redujo la pérdida de peso de las mazorcas y se mantuvo la firmeza. La calidad comercial para todos los tratamientos se mantuvo hasta 21 días excepto para el tratamiento EB (preenfriamiento y empacado con PVC). El costo del preenfriamiento y empacado (PEBD) fue de 0,08 USD/kg.

Palabras clave: poscosecha, maíz tierno, índices de madurez, hidroenfriamiento, atmósfera modificada pasiva.

Abstract: The effect of pre-cooling postharvest treatment and modified atmosphere (MA) on the quality of fresh corn from San Miguel town of the province of Bolivar, Ecuador, was studied. Samples, pre-cool or not, were packed with low-density polyethylene (LDPE) and polyvinyl chloride (PVC) films, and stored at 4 °C and 90% relative humidity (RH) for 7, 14 and 21 days followed by 2 days at 20 °C to simulate shelf life. Physical, chemical, physiological and sensory analyses were performed. Maturity index were determined by using the stigmas color changes in the cobs, from the female flower until the harvest day, grain filling, and total soluble solids content (SST). Cobs were harvest after 168 days of sowing, cob's average diameter was 6.6 cm and 75% of the samples showed wilted stigmas. The highest SST content was 10.6 °Brix. All samples, pre-cool or not, stored 21 days at 4 °C and 90% RH, showed a non-climateric respiration pattern, range 20 – 38 mg CO₂/kg*h (P >0.05). EA treatment (pre-cooled and packed samples with LDPE) applied to cobs reduced both, SST loss and weight loss, and maintained firmness. The concentration of CO₂ inside the packages was around 5 - 6%. None of the treated samples presented off-flavor. Commercial quality of treated samples was maintained during 21days, except for EB sample (pre-cooled and packed samples with PVC). Pre-cooling and packing cost (LDPE) was 0.08 USD/kg.

Keywords: postharvest, fresh corn, maturity index, hydrocooling, passive modified atmosphere

1. INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays L.*) ocupa, a nivel mundial, el tercer lugar en producción después del trigo y el arroz [14; 17]. Este cultivo se siembra para el consumo en fresco, para la industria de alimentos, como forraje para consumo animal, y actualmente se utiliza para la producción de biocombustibles [3; 10].

En el Ecuador el cultivo de maíz tierno suave (choclo) presenta una superficie de siembra de 53 393 ha, con una producción de 53 725 t. En la Provincia de Bolívar, este cultivo es uno de los de mayor importancia comparado con los cultivos de papa y trigo [5]. El maíz tierno es un producto altamente perecible que presenta una elevada tasa de respiración, por lo que es necesario aplicar diferentes tecnologías poscosecha para reducir el deterioro de la calidad [15]. El inadecuado manejo poscosecha de los

productos hortofrutícolas reduce la calidad y disminuye el tiempo de útil de los mismos [6].

El preenfriamiento y la atmósfera modificada pasiva, conjuntamente con el almacenamiento a temperatura y humedad relativa (HR) controladas son algunas de las alternativas utilizadas para extender la vida útil de los productos [7]. El preenfriamiento es el proceso en el cual se reduce rápidamente la temperatura de los productos hortofrutícolas (calor de campo) luego de la cosecha [16]. El preenfriamiento de un producto hortofrutícola se realiza previo a un procesamiento industrial, almacenamiento o transporte refrigerado [6]. La atmósfera modificada pasiva se produce por la disminución de oxígeno (O₂) y la acumulación de dióxido de carbono (CO₂) como resultado de la respiración de los productos, y la permeabilidad del material de empaque (película plástica). 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 [7]. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de los tratamientos hidrogenfriamiento y almacenamiento con dos tipos de empaque 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, Ecuador, almacenado a temperatura y humedad relativa controladas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la materia prima

Se utilizó maíz tierno de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado) en etapa de madurez lechosa. Para la caracterización física y química y para el estudio de la fisiología poscosecha se utilizó maíz tierno cosechado en el mes de noviembre del 2010, en el sector de Rumipamba del cantón San Miguel de la provincia de Bolívar.

Las mazorcas fueron cosechadas, seleccionadas, empacadas en sacos de polipropileno y transportadas, en un camión con cubierta para evitar el calentamiento de las mazorcas, a la Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional en Quito (tiempo aproximado 5 h) y se mantuvieron a temperatura ambiente (alrededor de 13 °C) durante la noche hasta su procesamiento al día siguiente (tiempo aproximado 17 horas). Se utilizaron 13 sacos de maíz tierno (60 mazorcas/saco y 37,2 kg/saco aproximadamente).

En las mazorcas se eliminaron las brácteas, y se realizó un corte transversal en el pedúnculo, a un centímetro desde la base de la mazorca, el cuál fue utilizado como reserva de nutrientes de la mazorca. Luego, las mazorcas se colocaron en mallas plásticas, para facilitar la aplicación de los tratamientos, se preenfriaron y se colocaron en gavetas

plásticas. El exceso de agua se eliminó con un soplador de aire (Marca Electro Mecano, modelo 5075-2, Quito) a temperatura ambiente. Luego las mazorcas se almacenaron a 4 °C hasta el momento del empaque.

Preenfriamiento, empaque y almacenamiento refrigerado

El preenfriamiento se realizó en un hidrogenfriador (Marca Lactoquinox, modelo TENF-01, Quito). Las mazorcas (19 °C en el centro del raquis), fueron sumergidos en agua (con 100 ppm de cloro) a 3 °C durante 20 min. La temperatura final de las mazorcas fue de 5 °C. La temperatura se midió con termocuplas y 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.

Para el empaque se utilizaron bandejas de poliestireno expandido (16,5 x 22 cm) y 2 tipos de láminas, polietileno de baja densidad (PEBD) y policloruro de vinilo (PVC). Se colocaron dos mazorcas por bandeja con un peso aproximado de 600 g/bandeja. Se utilizaron 30 mazorcas enteras por tratamiento. El producto empacado se almacenó a 4 °C y 90% de HR.

Se utilizó un diseño factorial 2² donde las variables del proceso fueron el preenfriamiento y el tipo de empaque (Tabla 1), la evaluación de la calidad del producto se realizó a los 7, 14 y 21 días seguido de 2 días a temperatura ambiente, se designó a los tiempos de almacenamiento como primer, segundo y tercer periodo de almacenamiento, respectivamente.

Tabla 1: Códigos para 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

Determinación de los índices de madurez de la materia prima

Por disponibilidad de la materia prima, esta etapa de la investigación se realizó con mazorcas cosechadas en estado de ámpula (junio del 2011) del sector de Aguacoto

(cantón Guaranda) del Campus de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Estatal de Bolívar, y los análisis se realizaron en dicho lugar.

El llenado de grano se relacionó con el incremento del diámetro ecuatorial y longitud de la flor femenina hasta la cosecha de las mazorcas.

El cambio de color de los estigmas se evaluó mediante la comparación visual de los estigmas en el atlas de color de Küppers [8]. Se determinó una escala de marchitez de los estigmas con un rango de 1 a 5, donde a cada unidad de la escala le correspondió hasta un 20% de marchitamiento del largo total de los estigmas. Los datos de estos análisis se registraron cada 3 días desde la aparición de los estigmas hasta la cosecha de las mazorcas.

Para la determinación del contenido de sólidos solubles totales (SST) se preparó el jugo, para lo cual se utilizaron 3 lotes de 10 mazorcas cada uno. Se pesaron 250 g de granos de maíz, se licuaron durante 30 s, luego se tamizó para separar los sólidos gruesos (diámetro de la malla 0,5 mm). Finalmente, el jugo se centrifugó a 11 180 g por 10 min 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) [12]. Los resultados se expresaron en °Brix. Las determinaciones se realizaron cada 7 días por 4 semanas, desde la formación de los granos hasta la cosecha. Estos análisis se realizaron 30 min después de la cosecha con mazorcas cosechadas en junio-2011.

Caracterización física, química y sensorial de maíz tierno, y evaluación de la calidad visual

Análisis físicos y químicos

El peso se determinó en forma directa en una balanza electrónica (Marca Boeco, modelo BBAS, Hamburgo) y se reportó en g.

El volumen se determinó de acuerdo al volumen de agua desplazada al sumergirlas completamente en este líquido. La densidad se determinó a partir del peso y volumen de las mazorcas. La longitud y el diámetro se determinaron según la norma INEN-1 761 [9].

La firmeza se determinó como la fuerza requerida para lograr un corte transversal en el grano. El corte se realizó en un Texturómetro (Marca Lloyd Instruments, modelo 1000 S, Leicester). Se determinó la firmeza de 40 granos [4], se utilizó el método modificado con las siguientes condiciones, 60 mm/min de velocidad, 5 N de fuerza y 6 mm de distancia de corte.

La determinación de los análisis químicos, se realizó en el jugo preparado según lo descrito anteriormente.

El pH se determinó utilizando un pH-metro (Marca Orion, modelo 210A, Massachusetts) [2].

Los SST se determinaron siguiendo el método descrito anteriormente [12]

La acidez titulable se determinó por titulación [2]. Una muestra de 5 mL de jugo se diluyó en 50 mL de agua destilada, se añadió tres gotas de fenolftaleína 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 ($f_a = 0,045$).

Para el análisis de los macro y micronutrientes se determinó el contenido de humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, proteína, contenido de almidón, minerales (calcio, potasio, sodio, fósforo, hierro) y vitamina C [2].

Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó con la ayuda de 12 panelistas semi-entrenados. Se utilizó una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas [1]. Para la estandarización del método de cocción, se utilizó una marmita de 10 L (Marca Legion, modelo 940221, Ohio). Para determinar el tiempo de cocción, las mazorcas fueron cocidas en agua a ebullición (90 °C) durante 5, 10, 15, 20, 25, 30 min. Se utilizó una relación de peso de las mazorcas: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 (15 min) se utilizó la zona central de la mazorca, 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 el análisis, cada panelista recibió 2 rodajas de cada tratamiento, colocadas en recipientes desechables e identificados con un código de 3 dígitos al azar. Los atributos que se evaluaron fueron: apariencia, sabor, dulzor, dureza, fibrosidad y presencia de sabores extraños.

Evaluación de la calidad visual

Los atributos y la escala utilizados se presentan en la Tabla 2. La calificación total de la calidad visual fue el promedio de las calificaciones obtenidas de los atributos (Tabla 3).

Tabla 2: Escala de evaluación de la calidad visual para mazorcas de maíz tierno

ESCALA	ATRIBUTOS			
	Turgencia	Marchite del pedúnculo	Porcentaje de patógenos	Otros defectos
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 fórmula descrita a continuación [13]:

$$I = (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5) / N \quad (1)$$

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 3: Escala de valoración de la calidad total para mazorcas de maíz tierno

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

Estudio de la fisiología poscosecha de maíz tierno

La tasa de respiración, en las mazorcas preenfriadas y sin preenfriar, se determinó en función de la producción de dióxido de carbono (CO₂), utilizando un sistema dinámico de respiración (Marca Post Harvest Research, modelo 31, Davis) que consta de tableros de flujo y humidificadores. Las muestras fueron colocadas en cámaras de respiración (con tres repeticiones) y conectadas al sistema de respiración. En cada cámara se colocó un peso aproximado de 0,5 kg de muestra, para lo cual se seleccionaron las mazorcas para obtener el peso deseado. La toma de las muestras de gases para los análisis, a la entrada y salida de las cámaras, se realizó con una jeringuilla plástica de 1 mL, por duplicado. Se determinó el porcentaje de CO₂ del aire extraído de cada cámara en un analizador rápido de CO₂/O₂ (Marca Post Harvest Research, modelo CG-100, Davis). Las determinaciones se realizaron durante 21 d.

Aplicación de los tratamientos poscosecha: hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de empaque y almacenamiento refrigerado

Análisis físicos y químicos

La determinación de firmeza, pH, SST y acidez titulable se realizaron con los métodos descritos anteriormente.

La pérdida de peso se expresó como porcentaje de pérdida de peso en cada periodo de almacenamiento respecto al peso inicial.

La concentración de CO₂ en el interior de los empaques se determinó utilizando el analizador rápido de gases (Marca Post Harvest Research, modelo CG-100, Davis). Las muestras de gases se tomaron por duplicado. Para evitar el daño del empaque por el uso de las jeringuillas, se adaptó un séptum de silicona en los empaques. Estos análisis se realizaron al final de primer, segundo y tercer período de almacenamiento.

Evaluación de la calidad visual.

La evaluación de la calidad visual se realizó mediante la determinación de los atributos especificados en la Tabla 2.

Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó según el método descrito anteriormente.

2.6.5 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.

2.7 Estimación de los costos de implementación de los tratamientos poscosecha

Para la estimación de los costos se utilizó la información de los costos de materiales, uso de equipos, y procesos que intervienen en los tratamientos poscosecha. Se consideró como base de cálculo una hectárea de producción de maíz tierno. Se realizó el diseño de un hidrogenfriador para establecer la capacidad del compresor y los costos del equipo. Se estimó el número de trabajadores necesarios para el procesamiento del producto en un día.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de los índices de madurez de la materia prima

En el proceso de llenado del grano, se observó que a los 140 días la flor femenina presentó un diámetro de 3,4 cm. Luego la planta inició la producción de polen y alargamiento de los estigmas. El incremento de la longitud y el diámetro 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 en estado de ámpula. En los días posteriores el incremento del diámetro estuvo relacionado con el llenado del grano (Tabla 4).

Tabla 4: Variación del diámetro y longitud de las mazorcas (con brácteas) desde la formación de la flor hasta la cosecha.

DDS	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
140	3,4 ± 0,47	37,0 ± 5,22
143	4,3 ± 0,65	37,0 ± 5,22
146	4,5 ± 0,64	37,4 ± 5,19
149	4,8 ± 0,70	38,3 ± 5,06
152	5,4 ± 0,67	38,6 ± 5,04
155	5,8 ± 0,66	38,9 ± 4,97
158	5,9 ± 0,68	39,0 ± 5,04
161	6,0 ± 0,62	39,2 ± 4,82
164	6,3 ± 0,58	39,2 ± 5,10
167	6,6 ± 0,61	39,2 ± 4,72
168	6,6 ± 0,62	39,2 ± 4,70

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

El contenido de SST, se incrementó de 9,7 a 10,6 °Brix desde el día 154 que inició el análisis hasta el día 168. Estos análisis se realizaron en el Cantón San Miguel 30 min después de la cosecha de las mazorcas (junio- 2011).

Las condiciones climáticas presentadas en junio del 2011, como baja precipitación (<500 mm), temperaturas mayores a 26 °C y HR menores al 60%, produjeron estrés hídrico en las plantas [3], lo cual afectaría a la viabilidad de la polinización, al llenado de los granos, al tamaño de las mazorcas y al rendimiento de las mismas.

En relación al color de los estigmas, se detectó que dentro de la plantación existió una variedad de matices para el color de los estigmas. 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 el día 139 los colores predominantes de los estigmas fueron N₀₀C₂₀Y₈₀ y N₀₀C₁₀Y₇₀ (Fig. 1 A, B) que correspondieron a un matiz con una cobertura de superficie del 0% de Negro, 20-10% de cian y 80-70% de amarillo [8], 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 también presentó 2 colores predominantes N₆₀Y₈₀M₄₀ y N₈₀Y₆₀M₄₀ (Fig. 1 C, D) que correspondieron a un matiz con una cobertura de superficie del 60-80% de Negro, 80-60% de amarillo y 40% de magenta, respectivamente.

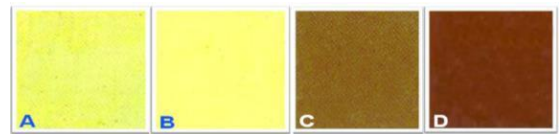


Figura 1: N₀₀C₂₀Y₈₀ (A), N₀₀C₁₀Y₇₀ (B), N₆₀Y₈₀M₄₀ (C), N₈₀Y₆₀M₄₀ (D).

En la Fig. 2 se presenta la escala de marchitez de los estigmas con un rango de 1 a 5 relacionados con los días después de la siembra.

La cosecha se realizó en el día 168 con el 100% de marchitez del largo de los estigmas y el contenido máximo de SST de 10,6 °Brix, los granos se encontraban inmaduros, con un líquido lechoso en su interior, los valores del diámetro y longitud de la mazorca fueron de 6,6 y 39,2 cm, respectivamente.

Caracterización física y química del maíz tierno

Análisis físicos

El peso promedio de las mazorcas sin brácteas fue de 316,2 g, que correspondió al 52,3% del peso total de las mazorcas con brácteas (Tabla 5). En un estudio de caracterización física de mazorcas se reportaron valores similares a los encontrados en esta investigación [14].

Tabla 5: Caracterización física de las mazorcas, INIAP-111 (Guagal mejorado)

VARIABLE	Mazorcas con brácteas	Mazorcas sin brácteas
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 (N) ¹	-	21,53 ± 3,40

Media± DS, n=50; excepto 1: n=40

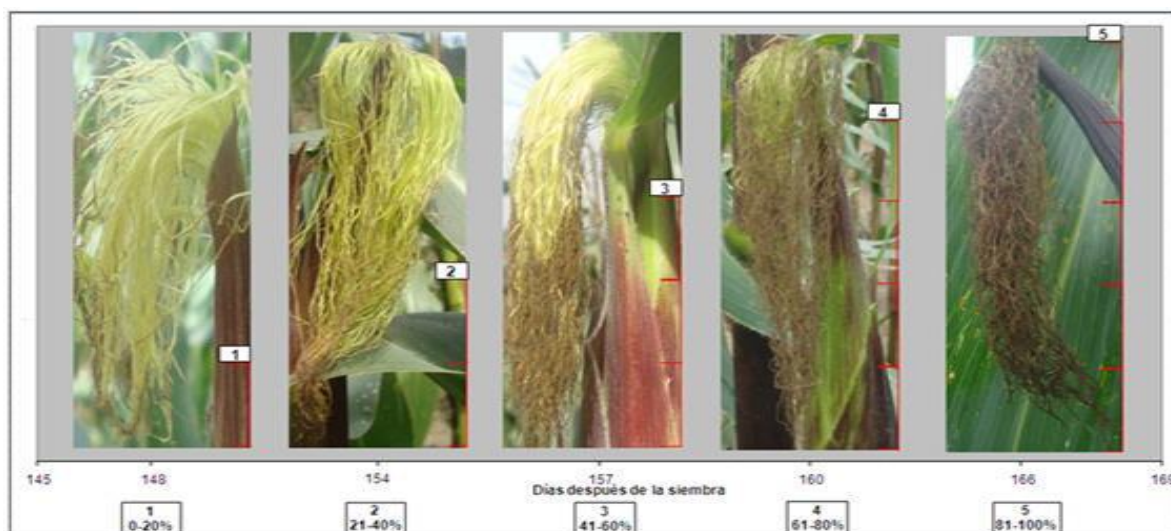


Figura 2: Escala de marchitez de los estigmas.

Es importante mencionar que existió variabilidad de peso entre las muestras analizadas, por lo cual se obtuvo una desviación estándar alta (Tabla 5). La longitud y el diámetro de las mazorcas con brácteas se encuentran como mazorcas de tipo I (grande) [9].

Análisis químicos

La composición química de los granos de maíz tierno se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: Composición química de los granos de maíz tierno variedad INIAP-111 (Guagal mejorado).

Componente	Contenido en 100 g de materia comestible ¹
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
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

Las mazorcas presentaron un alto contenido de humedad (Tabla 6) que correspondió a una mazorca en etapa lechosa denominada maíz tierno o

“choclo”. Los otros parámetros como ceniza, extracto etéreo y fibra cruda se presentaron en porcentajes menores al 3%.

El maíz es una fuente importante de carbohidratos, de los cuales el almidón se presentó en mayor proporción. El pH de 7,2 y acidez titulable de 0,5 g/100g, caracterizaron al maíz tierno como un producto neutro.

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 presentado en la Tabla 4, en donde las determinaciones se realizaron 30 min después de la cosecha. El tiempo transcurrido desde la cosecha hasta la realización de los análisis, que incluyó el transporte y almacenamiento previo (aproximadamente 17 horas después) influyó en el contenido de SST.

Estudio de la fisiología poscosecha de maíz tierno

La tasa de respiración del maíz tierno almacenado a 4 °C y 90% HR disminuyó con el tiempo de almacenamiento, y presentó el patrón de respiración de un producto no climatérico (Fig. 3).

La tasa de respiración inicial para las mazorcas preenfriadas y sin preenfriar fue alrededor de 38 mg CO₂/kg*h, luego disminuyó y permaneció alrededor de 20 mg CO₂/kg*h. La tasa de respiración, no presentó diferencia significativa entre los tratamientos (Fig. 3). Se ha reportado 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 [15]. Estos valores son mayores a los obtenidos en este

estudio, lo que se justificaría debido a la variedad de maíz estudiado.

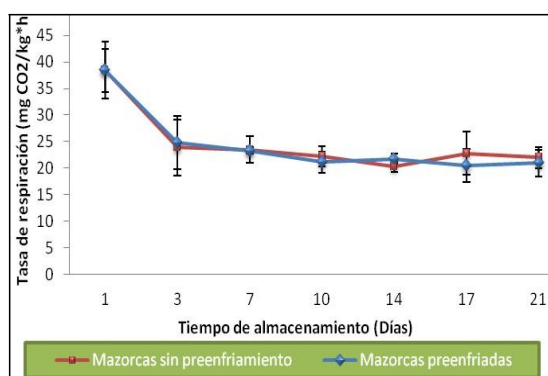


Figura 3: Tasa de respiración de mazorcas de maíz tierno INIAP-111 (Guagal mejorado) preenfriadas y sin preenfriar (a 4 °C y 90% HR)

Ensayos de los tratamientos poscosecha de hidroenfriamiento y empaqueo con dos tipos de empaque

Preenfriamiento

El tiempo para enfriar las mazorcas 19 a 5 °C fue 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. Los resultados están dentro del rango establecido para el enfriamiento con agua fría [18].

Análisis físicos y químicos

El pH fue cercano a 7 y la acidez titulable fue 0,1 g/100g. Estos parámetros no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos durante todo el almacenamiento.

El contenido de SST disminuyó con el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos. El preenfriamiento presentó diferencias significativas ($P < 0,05$), independientemente del tipo de empaque. El valor más alto del contenido de SST se observó en el tratamiento EA (rango 6,5-8,0), en todos los períodos de almacenamiento.

Pérdida de peso (%)

La pérdida de peso se incrementó durante todo el periodo de almacenamiento para todos los tratamientos (Fig. 4). Las mazorcas que tenían empaque de PEBD (EA y SEA) fueron las que presentaron menor pérdida de peso ($P < 0,05$), que aquellas empacadas con 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 la pérdida de peso en los tratamientos estudiados. La interacción entre las variables del proceso, para obtener la menor pérdida de peso, se produjo al utilizar PEBD independientemente del preenfriamiento.

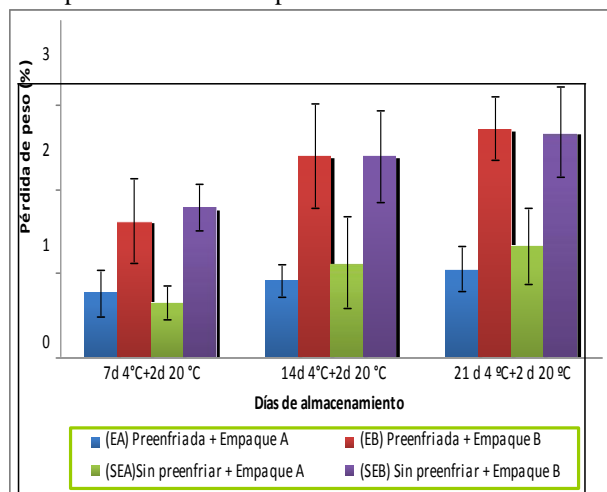


Figura 4: Pérdida de peso (%) de las mazorcas de maíz tierno almacenadas 4 °C, seguidos de 2 días a 20 °C.

En una investigación similar, se ha reportado 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 [12].

Concentración de CO₂ en el interior de los empaques

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) [6;11]. No se detectó fermentación en las muestras empacadas. El preenfriamiento no produjo ningún efecto en la variación de la atmósfera en el interior de los empaques. Al cambiar las condiciones de almacenamiento se incrementó rápidamente la concentración de CO₂.

En el primer periodo de almacenamiento (Fig. 5A) se encontró una diferencia significativa en el material de empaque con mayor concentración en los tratamientos EA y SEA. El espesor del PVC (0,008 mm) fue menor que el de PEBD (0,016 mm), y la permeabilidad del PVC fue mayor que la del PEBD. El segundo periodo de almacenamiento (Fig. 5B) presentó un comportamiento similar al anterior. Finalmente al tercer periodo de almacenamiento (Fig. 5C) disminuyó la concentración de CO₂ hasta valores de 3 y 5% CO₂. En este periodo no existió diferencia significativa al utilizar distinto material de empaque.

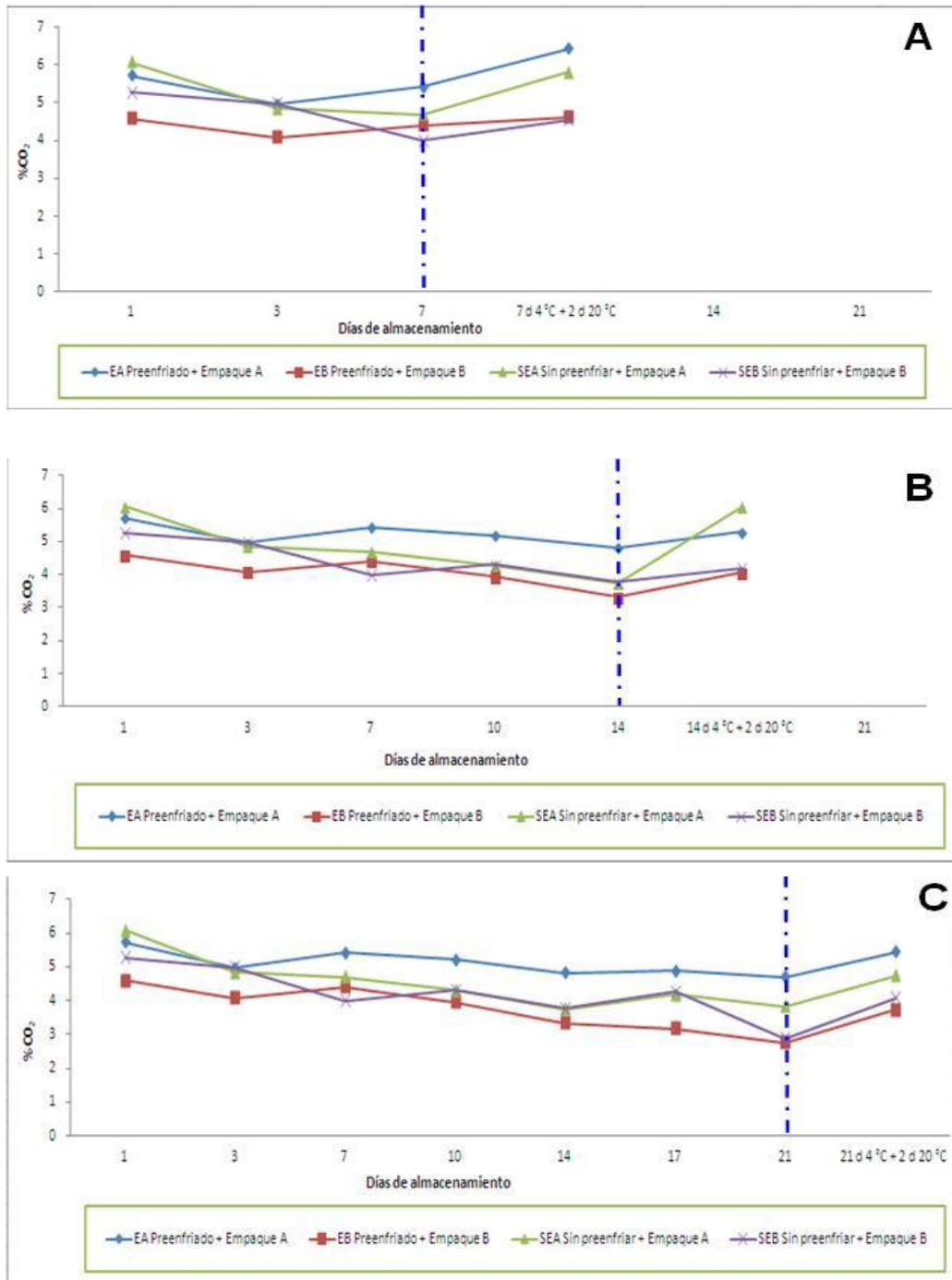


Figura 5: Concentración de CO₂ en el interior de los empaques durante el tiempo de almacenamiento de 7, 14 y 21 días a 4 °C seguido de 2 días a 20 °C.

Firmeza

La firmeza se incrementó para todos los tratamientos, durante todos 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 el tipo de empaque influyó significativamente en la firmeza de los granos. Los tratamientos EA y SEA presentaron menor firmeza que los tratamientos EB y SEB ($p < 0,05$). Para el segundo y tercer periodo de almacenamiento, el preenfriamiento y el empaque influyeron significativamente en la firmeza de los granos ($p < 0,05$). El tratamiento EA presentó un valor menor que los demás tratamientos. La firmeza de los productos en el almacenamiento está relacionada con la pérdida de peso [12], a menor pérdida de peso menor incremento de la firmeza del maíz tierno.

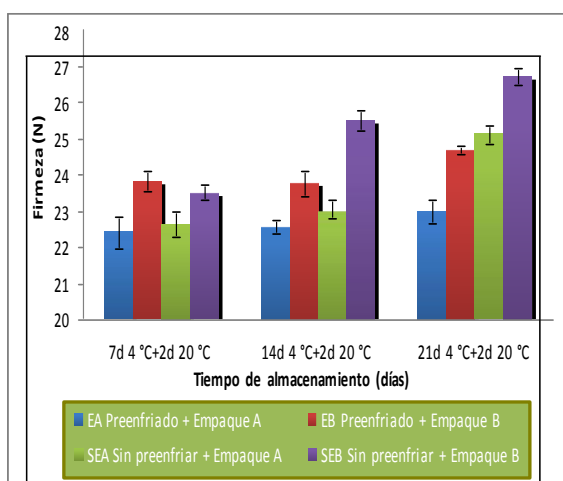


Figura 6: Firmeza (N) de los granos de maíz tierno, INIAP-111 (Guagal mejorado)

Contenido de almidón

El contenido de almidón presentó variaciones en cada periodo de almacenamiento (Fig. 7). En algunos casos, esta variación podría deberse a la variabilidad biológica de las muestras analizadas. En el primer periodo de almacenamiento el preenfriamiento y el material de empaque presentaron diferencias significativas en el contenido de almidón ($p < 0,05$) de las mazorcas. En el segundo periodo de almacenamiento las muestras preenfriadas presentaron menor contenido de almidón que las muestras sin preenfriar ($p < 0,05$). Al final del almacenamiento, no existieron diferencias significativas en el material de empaque.

Evaluación de la calidad visual de las mazorcas

Las mazorcas presentaron una apariencia fresca, turgente, durante los periodos de almacenamiento. En el primer periodo de almacenamiento, las muestras presentaron marchitez moderada del pedúnculo, luego los valores disminuyeron hasta un marchitamiento extremo (Tabla 7).

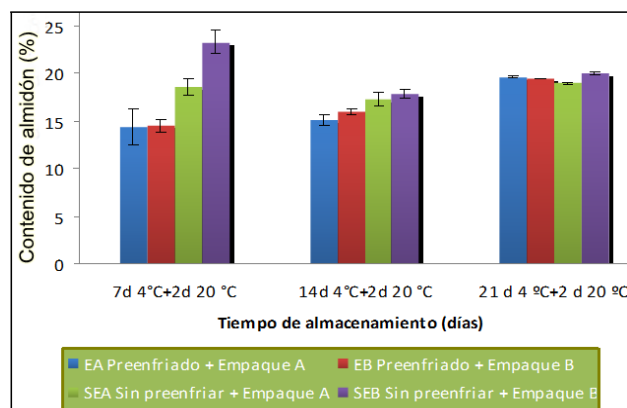


Figura 7: Contenido de almidón del grano (% base seca) de maíz tierno.

La presencia de patógenos fue escasa (≈ 4) para todos los tratamientos, excepto para el tratamiento EB en el tercer periodo de almacenamiento por lo cual éstas muestras no se incluyeron en el análisis sensorial. Las manchas pardas y el daño físico en las mazorcas fueron escasas para todos los tratamientos en todos los periodos de almacenamiento.

Tabla 7: Índice de evaluación de la calidad visual de las mazorcas de maíz tierno INIAP-111 (Guagal mejorado) durante el tiempo de almacenamiento

ATRIBUTO	Días	Tratamientos			
		EA	EB	SEA	SEB
Turgencia	7d	4,4	4,1	3,8	3,8
	14d	3,7	3,8	3,5	3,4
	21d	3,5	3,3	3,5	3,2
Marchitez del pedúnculo	7d	3,6	3,2	3,5	2,5
	14d	2,7	2,3	3,0	2,5
	21d	2,0	1,0	1,5	1,4
Presencia de patógenos	7d	4,3	4,2	4,2	4,2
	14d	3,8	3,5	4,2	4,1
	21d	3,5	2,8	3,9	3,9
Manchas pardas	7d	4,9	5,0	5,0	5,0
	14d	3,8	3,4	4,1	3,9
	21d	3,6	3,3	3,4	3,6
Daño mecánico	7d	4,9	5,0	5,0	5,0
	14d	4,2	4,2	4,3	4,1
	21d	4,2	4,2	3,9	3,9

Índice de evaluación, $n=30$

En la Tabla 8 se presenta la evaluación final de la calidad de las mazorcas. Todos los tratamientos presentaron calidad B, apto para el consumo, excepto el tratamiento EB que se consideró como no comercializable.

Tabla 8: Evaluación de la calidad visual de las mazorcas de maíz tierno, INIAP-111 (Guagal mejorado)

Días de almacenamiento	Tratamientos			
	EA	EB	SEA	SEB
7 d a 4 °C+2 d a 20 °C	A	A	A	A
14 d a 4 °C+2 d a 20 °C	B	B	B	B
21 d a 4 °C+2 d 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, apto para el consumo

C: No comercializable

Análisis sensorial

El tiempo de cocción de las mazorcas fue de 15 min. No existieron diferencias significativas en los atributos de apariencia, sabor, dulzor y sabores extraños (Tabla 9) en el primer y segundo períodos de almacenamiento. Esto se correlaciona con la disminución del contenido de SST, reportado en el análisis químico. El material de empaque produjo diferencias significativas ($p < 0,05$) en los atributos de dureza y fibrosidad. Los tratamientos con PEBD presentaron valores menores que los empacados con PVC, estos resultados confirmaron lo obtenido en los análisis de firmeza instrumental. En el tercer periodo de almacenamiento el tratamiento EB se excluyó del análisis sensorial por la presencia de patógenos, por tanto no se determinaron las diferencias significativas para este periodo de almacenamiento. La apariencia de las mazorcas se mantuvo fresca hasta el final almacenamiento. El sabor y el dulzor de las mazorcas disminuyeron según la percepción de los panelistas, y no se reportó la presencia de sabores extraños.

Tabla 9: Resultados de la evaluación sensorial del maíz tierno durante el almacenamiento.

Atributo	Días	Tratamientos			
		EA	EB	SEA	SEB
Apariencia	7d	4,8a	4,4 ^a	6,4a	5,5a
	14d	3,9a	4,4 ^a	4,9a	4,2a
	21d	4,6	-	4,1	4,3
Sabor	7d	5,5a	4,8 ^a	4,8a	3,8a
	14d	3,5a	4,6 ^a	4,7a	4,7a
	21d	3,7	-	4,1	3,7
Dulzor	7d	4,0a	3,7 ^a	4,8a	3,4a
	14d	3,0a	3,8 ^a	3,3a	3,5a
	21d	3,1	-	3,8	3,6
Dureza	7d	4,3a	4,9b	3,8b	4,9b
	14d	6,1a	6,5 ^a	5,5a	5,1a
	21d	4,0	-	5,7	4,4
Fibrosidad	7d	4,3a	4,6b	3,2a	4,9b
	14d	5,9a	5,3 ^a	5,5a	4,9a
	21d	4,3	-	6,1	4,8
Sabores extraños	7d	1,7a	1,8 ^a	0,9a	1,1a
	14d	1,1a	1,3 ^a	1,7a	1,4a
	21d	2,9	-	1,7	2,8

Media ± DS, n=12. Valores en la misma fila seguidos por

letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

3.5 Estimación de la implementación de los costos de los tratamientos poscosecha

Se realizó los cálculos para el tratamiento que mejor características de conservación, el tratamiento EA (preenfriamiento y empacado con polietileno de baja densidad). Se consideró una capacidad de procesamiento de 200 sacos de maíz tierno de 37,2 kg/saco. Se obtuvo un peso neto para preenfriar de 3891 kg/día (52, 3 % peso de mazorcas sin brácteas). Se considera el costo del equipo de enfriamiento que se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10: Costos del equipo de enfriamiento

Cantidad	Detalle	Costo (USD)
1	Piscina de inmersión: 3,72 m ² (1,2x1,2x2,6 m), láminas de acero inoxidable	750,00
1	Unidad condensadora: 0,94 kJ, compresor de 10 HP, refrigerante R-134 ^a , 208/220 V, 60Hz, 3Ph	2 115,00
1	Unidad Evaporadora: 0,94 kJ, tubería de cobre 5/2' tipo K un ventilador	1 1490,00
1	Sistema de circulación de agua: tubería flexible de 5/8', bomba de agua 2HP	770,00
1	Sistema de control electrónico: con microprocesador digital con gestión para control de temperatura, termómetro, operación del evaporador y compresor	1 275,00
1	Costo de montaje e instalación	850,00
Total		7 250,00

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

El costo de la energía es de 2,7 USD/día, con 8 horas de funcionamiento del equipo en proceso más dos horas para enfriar el recambio de agua.

Se consideró el 5% y 10% del costo total para el mantenimiento y la depreciación de la maquinaria. El equipo funciona durante 85 días al año (temporada de cosecha de maíz tierno), este costo fue de 12,8 USD/día. Se consideraron diez personas para la preparación de la materia prima, una persona para el proceso de preenfriamiento y dos para el empacado. Con un sueldo básico mensual de 300 USD. 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 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 (0,5 x 0,3 m). El costo de las láminas plásticas fue de 52,8 USD/día. El costo de las bandejas utilizadas fue de 64,8 USD/día (0,03 USD/bandeja). El costo del material de empaque fue de 117,6 USD/día (Tabla 11).

Tabla 11: Costos de los tratamientos poscosecha de preenfriamiento y empacado en láminas plásticas.

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

4. CONCLUSIONES

Las características físicas del maíz tierno de la variedad INIAP-111 (Guagal mejorado), longitud y diámetro medidos con brácteas, caracterizó a las mazorcas como de tipo I (grande) según la norma INEN 1761. El llenado de los granos, los días después de la siembra y la marchitez de los estigmas fueron las variables que determinaron los índices de madurez de maíz tierno. Las muestras empacadas con PEBD presentaron una reducción de la pérdida de peso en un 50% menor que en las muestras empacadas con PVC. No se detectaron olores ni sabores extraños en las muestras analizadas durante todo el almacenamiento. La calidad comercial del maíz tierno para todos los tratamientos, excepto para el tratamiento EB (preenfriamiento y empacado con PVC), se mantuvo hasta 21 días. El costo del preenfriamiento y empacado (PEBD) fue 0,08 USD/kg.

5. REFERENCIAS

- [1] Anzaldúa, A., 1994, "La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica", E. Aciriba, Zaragoza, España., pp. 45-50.
- [2] AOAC, 2005, "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists", Arlington, USA.
- [3] Betancurt, C., Duque, J. y Texo, J., 2009, "Perspectivas generales de desarrollo de la Industria de los Biocombustibles en el Uruguay", Tesis previa a la obtención de Contador público, Montevideo, Uruguay, pp. 26,27.
- [4] 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, p. 1625.
- [5] Espac, 2010. <http://157.100.43.205/lcds-samples/testdrive-remoteobject/main.html#> (Agosto, 2011).
- [6] Kader, A., 2002, "Postharvest Technology of Horticultural Crops", Third edition, Universidad de California, United States of America, pp. 39-64, 513.
- [7] 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.
- [8] Küppers, H., 2002, "Atlas de los colores", Editorial Blume, Barcelona España, pp. 17, 18, 57, 61, 71.
- [9] Pacheco, R., Moreno, F., Sambrano, O., Borja, J. y Orozco, L., 1990, "Hortalizas Frescas. Choclo-Maíz Tierno, Norma INEN 1-761", INEN, Quito, Ecuador, p. 2.
- [10] Parsons, D., 1991, "Manuales para Educación Agropecuaria, Maíz", 2da Edición, Editorial Trillas, México, D.F., México, pp. 9-22.
- [11] 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.
- [12] Risse, A. y McDonald, E., 1990, "Quality of Supersweet Corn Film-overwrapped in Trays", Hortscience, 25, pp. 322-328.
- [13] 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, pp. 259-266.
- [14] 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), p. 60.
- [15] Suslow, T. y Cantwell, M., 2008, "Maíz Dulce": (Elote) Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha", http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Ma%C3%ADz_Dulce_Elote/ (Mayo, 2011).
- [16] 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.
- [17] Verissimo, L., 1999, "Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería: Cereales", Centrium, Barcelona, España, p. 9, 10.
- [18] 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.