

## Efecto del tiempo de almacenamiento refrigerado sobre la calidad de la mazorca del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*)

Effect of storage time under refrigeration on the cob quality of the "Delicia" super sweet hybrid (*bt1*)

M.E. Avila R.<sup>1</sup>, O.L. Borges F.<sup>2</sup> y J.C. Bernáez Z.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fundación para la Investigación Agrícola Danac. Dirección: San Javier-vía Guarataro, estado Yaracuy, Venezuela. Apartado postal 182 .

<sup>2</sup>Instituto y Departamento de Genética, Facultad de Agronomía, Facultad de Agronomía, UCV Maracay, Venezuela. Apartado postal 4579.

<sup>3</sup>Instituto de Química y Tecnología, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. Apdo. Postal 4579.

### Resumen

El estudio se realizó para conocer el efecto del tiempo de almacenamiento bajo refrigeración sobre la estabilidad de los componentes de calidad en términos de humedad, composición de carbohidratos y color en mazorcas del híbrido de maíz superdulce "Delicia", portador del gen *brittle-1*. La caracterización de la calidad de maíces superdulces portadores del gen *bt1* no es conocida para las condiciones tropicales de Venezuela. Esta información contribuirá al establecimiento de las verdaderas posibilidades de desarrollar estos cultivares para tales condiciones. Para ello se estableció una parcela experimental en las cercanías de Villa de Cura, estado Aragua, Venezuela, en agosto de 2001. Las mazorcas se cosecharon a los 23 días después de la polinización y fueron empacadas en bandejas cubiertas con plástico termoencogible. Las características de calidad de la mazorca se determinaron en muestras con 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento (DA) a 4°C. Se tomaron muestras uniformes de granos del centro de las mazorcas para los diferentes análisis. Los atributos de calidad fueron afectados significativamente ( $P < 0,01$ ) por los DA. Se observaron pérdidas de humedad del grano con el tiempo de refrigeración; sin embargo, éstos presentaron una hidratación óptima para todos los DA ( $>70\%$ ). El contenido de azúcares totales fue alto ( $>40\%$ ) hasta los 14 DA. Se encontró que los azúcares reductores y azúcares totales y sólidos solubles del grano disminuyeron; mien-

Recibido el 9-9-2005 ● Aceptado el 27-3-2007

Autor de correspondencia e-mail: manuel.avila@lycos.com; oborges@cantv.net

tras que los niveles de almidón se incrementaron con el aumento de los DA. Se observaron incrementos de luminosidad y disminuciones del color amarillo a partir de los 14 DA. Estos resultados indican que las mazorcas del híbrido "Delicia" (*bt1*) pueden mantener en las características físicas y químicas típicas de un maíz superdulce hasta los 14 días de almacenamiento a 4°C, demostrando un gran potencial como producto refrigerado.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., maíz dulce, *brittle-1*, calidad, refrigeración.

## Abstract

An study was carried out to determine the effect of storage time under refrigeration on the stability of several components of cob quality in the super sweet tropical hybrid «Delicia» which carries the *brittle-1* (*bt1*) gene. Description of quality features in super sweet maize cultivars carrying the *bt1* gene were not known for the tropical conditions of Venezuela. This information will contribute to the establishment of the real possibilities for developing these cultivars under such conditions. An experimental plot was established near Villa de Cura city at Aragua state, Venezuela in August, 2001. Cobs were harvested 23 days after pollination and packaged in foam trays with a shrinkable thermoplastic film. The quality characteristics were determined in the samples after 0, 7, 14, 21, and 28 days of storage (DS) at 4°C. Uniform grain samples from the middle section of the cobs were used for different analyses. The quality attributes were significantly affected ( $P < 0.01$ ) by the DS. Moisture content losses of the kernels were observed with the increase in the storage time under refrigeration, though an optimum hydration (>70%) was shown for all of the DS. The content of total sugars was high (>40%) up to 14 DS. It was found that reducing sugars, total sugars and soluble solids contents of the kernels decreased, while the levels of starch increased with the DS. Changes to yellowness in the grain color with the DS were evident. These results show the potentiality for using the cobs of the hybrid «Delicia» as a refrigerated product.

**Key words:** *Zea mays* L., sweet corn, *brittle-1*, quality, refrigeration.

## Introducción

La calidad de las mazorcas de maíz dulce se determina en función de la textura y el dulzor de sus granos (24). La textura crujiente y la succulencia de los granos son aspectos deseables para el consumidor y se ven afectados principalmente por la pérdida de humedad (4). El apreciado sabor dulce está relacionado con altos

## Introduction

Quality of the sweet corn ears is determined as a function of the texture and sweetness of its grains (24). The crisp texture and succulence of the grains

are desirable aspects for consumers and are mainly affected by the moisture lost (4). The appreciated sweet taste is related with high levels

niveles de azúcares y sólidos solubles y bajo contenido de almidón del grano, con los que se evita el desagradable sabor amiláceo (17). Otro factor determinante de la calidad es el color, ya que es el primer contacto que se experimenta cuando se consume cualquier alimento (19). Los consumidores generalmente prefieren granos de maíz de color amarillo claro o brillante cuando se consume como mazorca tierna; ya que las coloraciones salmón y amarillo pálido o con tonalidades marrón resultan indeseables (13).

El mercado de maíz dulce ha evolucionado en las zonas de climas templados como Estados Unidos con la utilización de híbridos superdulces portadores del gen *shrunken-2* (*sh2*). Estos presentan un mayor dulzor y crujencia que los maíces dulces tradicionales (23) y mantienen su calidad por períodos más prolongados luego de la cosecha (9, 24), debido principalmente a la baja conversión de azúcares para la síntesis de almidón y a la poca pérdida de humedad durante la madurez del grano (9). En los últimos años, los maíces superdulces basados en el gen *sh2* han sido introducidos y caracterizados en Venezuela, a fin de evaluar su potencial y estabilidad durante el almacenamiento como producto refrigerado (6). Sin embargo, la producción de maíz dulce en los trópicos no ha tenido éxito debido a las altas temperaturas ambientales, las cuales aceleran la síntesis de almidón del grano y disminuyen su calidad. Por otra parte, los altos niveles de azúcares y bajos de almidón de la semilla reducen las reservas energéticas necesarias para su germinación (2). Lo anterior ha limitado la obten-

of sugar and soluble solids and low content of grain starch which avoids the disagreeable amylaceous taste (17). Another determinant quality factor is the color because is the first contact when any food is consumed (19). Consumers generally prefer corn grains of clear yellow or brilliant when are consumed as tender corn ears since the colorations salmon-like and pale yellow or with brown tones are undesirable (13).

The sweet corn market has evolved in the temperate climate regions, like U.S.A., through the use of super sweet hybrids carrying the *shrunken-2* (*sh2*) gene. These possess higher sweetness and are more crisp than the traditional sweet corns (23) and keep its quality for more prolonged periods after harvesting (9, 24) mainly because of their low sugar conversion for the starch synthesis and to the small moisture lost during grain maturity (9). In recent years, super sweet corns based on the *sh2* gene have been introduced and characterized in Venezuela with the purpose of evaluating their potentiality and stability during storage as refrigerated product (6). However, the sweet corn production in the tropics does not have been successful because of the high environmental temperatures which accelerate the grain starch synthesis and diminish its quality. Furthermore, the higher sugar levels and lower of starches reduce the energetic reserves needed for germination (2). That has limited obtaining super sweet corn hybrids *sh2* in our tropical conditions so it production is accomplished with seed

ción de híbridos superdulces *sh2* en nuestras condiciones tropicales, por lo que su producción se realiza con semilla importada de regiones de clima templado.

Los trabajos de mejoramiento genético en Venezuela permitieron la obtención de la variedad de maíz 'CENIAP Dulce' (18), homocigota para el gen *brittle1* (*bt1*). A partir de esta fuente se desarrolló un nuevo híbrido de maíz superdulce llamado "Delicia", sin embargo, la caracterización física y química de las mazorcas de híbridos portadores del gen *bt1* no es conocida en Venezuela. Los maíces que poseen el gen recesivo *bt1* en estado homocigoto, se caracterizan por presentar granos dorados, altos niveles de azúcares totales (>40%) (5), mantienen su ternura en la planta luego de la madurez por lo que pueden cosecharse por períodos más prolongados que los maíces dulces tradicionales basados en el gen *sugary 1* (*su1*) (8). Adicionalmente, la fuente original con el gen *bt1* fue mejorada bajo las condiciones tropicales (5), lo cual le confiere ventajas adaptativas frente a otros maíces superdulces producidos comercialmente en Venezuela, tales como aquellos portadores del gen *sh2*. El híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) se presenta como una alternativa para fomentar la producción y consumo de maíz dulce en los trópicos debido a su buena adaptación a estos ambientes.

Las características de calidad del maíz dulce pueden ser mantenidas por más tiempo en condiciones de refrigeración (11). Este método de conservación ejerce pocos efectos negativos sobre el sabor y la textura (20).

imported from temperate climate regions.

Researches on genetic improvement in Venezuela conducted to obtaining the corn variety 'CENIAP Dulce' (18), homozygote for the *brittle 1* (*bt1*) gene. From this source, a new super sweet maize hybrid was developed called «Delicia», however, the physical and chemical characterization of corn ears of hybrids carrying the *bt1* gene are not known in Venezuela. Corn that possesses the recessive *bt1* gene in homozygote state is characterized by showing gold color grains, high levels of total sugars (>40%) (5), keeps their tenderness in the plant after maturity so can be harvested for more prolonged periods of time than the traditional sweet corns based on the *sugary 1* (*su1*) gene (8). Additionally, the original source with the *bt1* gene was improved under tropical conditions (5), which give adaptive advantages in relation to other super sweet corns produced commercially in Venezuela, such as those with the *sh2* gene. The super sweet corn hybrid "Delicia" (*bt1*) appears as an alternative to promote the production and consumption of sweet corn in the tropics for its good adaptation to these environments.

Quality characteristics of sweet corn can be kept for a longer time under refrigeration. This conservation method has few negative effects on taste and texture (20). Refrigeration combined with selection, classification and packaging techniques could increase the aggregate value of corn when commercialized for the corn ear consumption. Common requirements

La refrigeración combinada con técnicas de selección, clasificación y empaque pueden aumentar el valor agregado del maíz cuando es comercializado para el consumo de mazorcas. Los requisitos comunes de un almacenamiento refrigerado son la temperatura baja regulada y el control de la humedad relativa (1). El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del tiempo de almacenamiento bajo refrigeración a 4°C sobre algunos componentes de calidad en mazorcas del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*).

## Materiales y métodos

### Ensayo y diseño de campo

En agosto del año 2001 se estableció una parcela experimental con semillas del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) en la Hacienda "Haras Catigüire" ubicada en las cercanías de Villa de Cura, Estado Aragua, Venezuela. Previo a la siembra, la semilla fue tratada con Semevím (Thiodicarb) aplicado a razón de 1cc por 100 kg de semilla. El área de la parcela fue de 176 m<sup>2</sup> a una densidad de 41.666 plantas · ha<sup>-1</sup>. La fertilización se llevó a cabo en dos fases; la primera al momento de la siembra donde se aplicaron 300 kg · ha<sup>-1</sup> de un fertilizante de fórmula completa (14-14-14) y a los 25 días después de la siembra se realizó un aplicación complementaria con urea en la dosis de 100 kg · ha<sup>-1</sup>. Esta práctica se desarrolló conjuntamente con el control de malezas y aporque del cultivo. No se realizó control de plagas y enfermedades, se le suministró riego a lo lar-

for refrigerated storage are a regulated low temperature and control of the relative humidity (1). The objective of the present study was to determine the effect of storage time under refrigeration at 4°C on several quality components in ears of the super sweet corn hybrid "Delicia" (*bt1*).

## Materials and methods

### Assay and field design

An experimental plot was established with seeds of the super sweet corn hybrid "Delicia" in August, 2001 at the "Haras Catigüire" ranch located in "Villa de Cura", Aragua state, Venezuela. The seeds were treated with Semevím (Thiodicarb) at a rate of 1cc for 100 kg of seed. The plot area was 176 m<sup>2</sup> and planted at a rate of 41.666 plants · ha<sup>-1</sup>. Fertilization was accomplished in two phases: the first one at the sowing time when 300 kg · ha<sup>-1</sup> of a complete formula fertilizer (14-14-14) was applied and 25 days after sowing applying 100 kg · ha<sup>-1</sup> of urea. This latest practice was jointly conducted with manual weed control and crop cultivation. Practices for control of insects and diseases were not used, irrigation was regularly applied during the growing season and pollination was allowed to occur freely. The ears were harvested 23 days after pollination in the first hours of the day for diminishing dehydration as indicated by Masuda *et al.* (15). The samples were taken to a corn processing facility for application of different treatments which were defined by the number of

go del crecimiento y se permitió la libre polinización. La cosecha de las mazorcas se realizó a los 23 días después de la polinización en las primeras horas del día para disminuir su deshidratación conforme a lo encontrado por Masuda *et al.* (15). Las muestras fueron trasladadas a una planta procesadora de maíz para la aplicación de los tratamientos, definidos por días de almacenamiento (DA) de 0, 7, 14, 21 y 28 días, con mazorcas acondicionadas a 4°C. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental estuvo constituida por tres mazorcas.

#### **Acondicionamiento de las muestras**

El acondicionamiento de las muestras fue realizado en la empresa Del Monte Andina C.A. ubicada en Turmero, Estado Aragua, Venezuela, siguiendo el procedimiento aplicado por Camacho *et al.* (6) en el cual se tomaron mazorcas sin daños o lesiones provocadas por insectos y hongos, luego se lavaron y deshojaron parcialmente con remoción de las barbas, dejando sólo las primeras hojas de cobertura, y se cortaron en ambos extremos para ajustarlas al empaque. Las tres mazorcas de cada tratamiento se empacaron en bandejas de plástico, luego fueron envueltas con películas de polietileno termoencogible y selladas en túnel de calor a una temperatura de 60°C por 1 min. Las bandejas se identificaron y se colocaron en cámara frigorífica a (4±1°C), donde fueron enfriadas lentamente y almacenadas durante los períodos definidos por los tratamientos. En cada

days of storage (DS) as 0, 7, 14, 21, and 28 days of refrigeration at 4°C. A randomized complete block design with three replications was used in where each experimental unit consisted of three conditioned ears.

#### **Samples conditioning**

Conditioning of samples was conducted at «Del Monte Andina, C. A.» food processing facility located in Turmero, Aragua state, Venezuela by following the procedure applied by Camacho *et al.* (6) by which corn ears without damages or lesions caused by insects and fungi were selected, washed, ear sheaths partially removed leaving only the first ones, silks were completely removed, and both extremes of the ear cut for packaging. The three corn ears for each treatment were placed in plastic trays and sealed with polyethylene thermo shrinkable films in a heat tunnel at a temperature of 60°C for 1 minute. The trays were identified and storage in a refrigerated chamber at 4±1°C for the indicated periods of time. After each treatment time a manual corn shattering was accomplished by keeping the integrity of the grains taking those grains from the middle of the ear because of its uniformity. Equal quantities of grains from each corn ear were weighted and homogenized in an «Oster» blender for 1 minute, following the method described by Zhu *et al.* (24).

#### **Determination of the chemical components of quality**

All of the analysis were conducted in the Laboratory of Vegetable Products of the Institute of Chemistry and Technology of the Facultad de Agronomía, Universidad

tiempo de tratamiento se realizó el desgrane manual de las mazorcas manteniendo la integridad de los granos y se tomaron únicamente aquellos del centro de la mazorca debido a su mayor uniformidad. Posteriormente se pesaron cantidades iguales de cada una de las mazorcas y se homogenizaron en una licuadora Marca Oster durante 1 min, según el método descrito por Zhu *et al.* (24).

### **Determinación de los componentes químicos de calidad**

Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Productos Vegetales del Instituto de Química y Tecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, en Maracay Edo. Aragua, Venezuela. La humedad del grano se determinó utilizando el método de desecación por estufa N° 925.10 de la AOAC (3) y los resultados se expresaron como porcentaje en base húmeda. Los azúcares reductores y totales se analizaron a través del método colorimétrico de Nelson-Somogyi N° 925.35 (3) y los resultados se expresaron como porcentaje de glucosa en base seca. El contenido de almidón se determinó por el método de McCready *et al.* (16) siendo corregidos en base seca. Los sólidos solubles se determinaron con el uso de un refractómetro ABBE y los resultados fueron expresados en °Brix corregidos a 25°C.

### **Determinación del color del grano**

La determinación del color se realizó mediante un colorímetro ColorQUEST-II™ marca HunterLab (Reston, VA, U.S.A.), el cual proporcionó valores de: a) Luminosidad (L) o blancura de la muestra, que es la

Central de Venezuela, in Maracay, Aragua state, Venezuela. The grain moisture was determined by using the method of desiccation in stove N° 925.10 of the AOAC (3) and the results were expressed in percentages on humid base. Reducing and total sugars were analyzed by the colorimetric method of Nelson-Somogyi N° 925.35 (3) and results were expressed as glucose percentage on dry base. The starch content was determined by the method of McCready *et al.* (16) on dry base. The soluble solids were determined using a refractometer ABBE and results were expressed in °Brix corrected at 25°C.

### **Grain color determination**

Grain color was determined by using a colorimeter ColorQUEST-II™ HunterLab (Reston, VA, U.S.A.), which gave values of: a) Luminosity (L) or sample whiteness which is the total reflection of light in a scale (0 to 100), where 0 represents perfect black and 100 is perfect white; b) Shade or "a" parameter, known as the predominant wave length, where negative values shows a tendency to red color, and c) the color intensity or "b" parameter where negative values show a tendency to blue color and positive values a tendency to yellow color.

### **Statistical analysis**

Physical and color components were subjected to analysis of variance (ANAVAR) according to the experimental design and means were compared by the least significant difference test. In addition, the chemical variables were submitted to a correlation analysis and linear

reflexión total de la luz en una escala (0 a 100), donde 0 es negro perfecto y 100 es blanco perfecto; b) Matiz o parámetro "a", conocido como la longitud de onda predominante, donde los valores negativos indican tendencia hacia el color verde, mientras que los valores positivos indican tendencia hacia el color rojo y c) la intensidad del color o parámetro "b", que a valores negativos indican tendencia hacia el color azul y a valores positivos indican tendencia hacia el color amarillo.

### **Análisis estadísticos**

A los componentes físicos y de color se les realizaron análisis de varianza (ANAVAR) conforme al diseño experimental y comparación de medias por la prueba de mínima diferencia significativa. Adicionalmente las variables químicas fueron sometidas a análisis de correlación de Pearson y regresión lineal. Todos los análisis se efectuaron mediante el programa Statistix® for Windows (21).

## **Resultados y discusión**

Los DA tuvieron efectos importantes sobre los componentes de calidad bajo estudio. Hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos para todas las variables evaluadas, con bajos coeficientes de variación para la mayoría de ellas; indicando un buen nivel de precisión en el experimento (cuadro 1).

### **Componentes químicos**

En el cuadro 2 se presenta la comparación de medias de los componentes químicos y físicos de calidad del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) en los diferentes DA. La compa-

regression analyses. All of the analyses were made using the Statistix® program for Windows (21).

## **Results and discussion**

Days of storage had important effects on the quality components under study. There were highly significant differences between treatments for every variable evaluated with small coefficients of variation for the majority of them, indicating a good level of precision for the experiment (table 1).

### **Chemical components**

Table 2 shows the mean comparison of chemical and physical components of ears of the super sweet hybrid "Delicia" (*bt1*) in different DS. Means comparisons allowed distinguishing two homogeneous groups for the moisture content variable, showing an important diminishing tendency with the increase of DS. However, in concordance with Wann *et al.* (22), the grains showed moisture levels higher than 70.00%, keeping them suitable for consumption for all of the DS. These results are similar to those of Camacho *et al.* (6) for super sweet corns of sh2 type cultivated in Venezuela and studied under similar storage conditions. Maintenance of high moisture levels could be attributed to package and storage temperature that delayed the metabolic processes like transpiration related to grain losses (11). Beside that, the high content of soluble carbohydrates in super sweet corn grains increases the osmotic retention of moisture (10). A high moisture level



**Cuadro 1. Cuadros medios de los componentes químicos y color del grano del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) en diferentes días de almacenamiento.**

**Table 1. Mean squares of the chemical components and grain color of the super sweet corn hybrid "Delicia" (*bt1*) in different days of storage.**

Fuente	Grados de libertad	Humedad (%)	Azúcares reductores (% <sup>bs</sup> )	Azúcares totales (% <sup>bs</sup> )	Almidón (% <sup>bs</sup> )	Sólidos solubles °Brix	Luminosidad L	Matiz d	Intensidad b
Repetición	2	0,75	2,26	2,15	3,3	1,36	0,51	0,09	1,02
DA <sup>1</sup>	4	2,81**	59,36**	301,48**	12,06**	13,99**	10,34**	24,26**	4,04**
Error	8	0,51	0,78	7,87	0,53	0,49	0,58	0,40	0,36
C.V. (%)		0,96	5,11	7,52	18,12	3,5	1,11	9,17	2,16

<sup>1</sup>DA: Días de almacenamiento a 4°C

<sup>bs</sup>Base seca

\*\*Significativo al nivel de P=0,01

**Cuadro 2. Promedios de las características de calidad en el híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) en diferentes días de almacenamiento refrigerado a 4°C.**

**Table 2. Averages of quality characteristics in super sweet corn hybrid "Delicia" (*bt1*) in different days of refrigerated storage at 4°C.**

DA <sup>2</sup>	Promedios <sup>1</sup>									
	Componentes químicos					Color				
	Humedad —% <sup>bs</sup> —	Azúcares reductores —% <sup>bs</sup> —	Azúcares totales —% <sup>bs</sup> —	Almidón —% <sup>bs</sup> —	Sólidos solubles —°Brix—	Luminosidad L	Matiz d	Intensidad b		
0	76,4 <sup>a</sup>	22,8 <sup>a</sup>	46,7 <sup>a</sup>	1,8 <sup>c</sup>	28,8 <sup>a</sup>	65,5 <sup>c</sup>	9,2 <sup>a</sup>	26,9 <sup>b</sup>		
7	75,0 <sup>ab</sup>	20,4 <sup>b</sup>	43,1 <sup>a</sup>	2,0 <sup>c</sup>	19,8 <sup>c</sup>	67,7 <sup>b</sup>	8,7 <sup>a</sup>	27,2 <sup>b</sup>		
14	74,4 <sup>b</sup>	17,1 <sup>c</sup>	43,4 <sup>a</sup>	4,6 <sup>b</sup>	21,4 <sup>b</sup>	69,6 <sup>a</sup>	7,2 <sup>b</sup>	27,8 <sup>b</sup>		
21	75,1 <sup>ab</sup>	14,0 <sup>d</sup>	29,4 <sup>b</sup>	5,1 <sup>ab</sup>	19,7 <sup>c</sup>	69,8 <sup>a</sup>	7,4 <sup>b</sup>	28,0 <sup>b</sup>		
28	73,8 <sup>b</sup>	11,9 <sup>e</sup>	23,8 <sup>c</sup>	6,4 <sup>a</sup>	17,1 <sup>d</sup>	69,6 <sup>a</sup>	2,1 <sup>c</sup>	29,9 <sup>a</sup>		

<sup>1</sup>Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de P=0,05

<sup>2</sup>DA: Días de almacenamiento a 4°C

bs: Base seca

ración de medias permitió distinguir dos grupos homogéneos para la variable Contenido de Humedad, observándose una tendencia de disminución importante con el incremento de los DA. Sin embargo, según lo establecido por Wann *et al.* (22), los granos presentaron niveles de humedad superiores a 70,00%, haciéndolos aptos para el consumo durante todos los DA. Estos resultados son similares a los señalados por Camacho *et al.* (6) para maíces superdulces de tipo *sh2* cultivados en Venezuela y estudiados en condiciones de almacenamiento similares. El mantenimiento de los altos niveles de humedad puede ser atribuido al empaque y a la temperatura de almacenamiento que retrasan los procesos metabólicos, como la transpiración, asociados a las pérdidas de agua del grano (11). Por otra parte, los altos contenidos de carbohidratos solubles en granos de maíces superdulces, aumentan la retención osmótica de la humedad (10). Un alto nivel de humedad implica el mantenimiento de una textura crujiente y succulencia de los granos (4).

Los DA afectaron significativamente el contenido de azúcares reductores de los granos. Estos disminuyeron entre los períodos de conservación de manera lineal. El análisis de regresión lineal fue significativo ( $P < 0,01$ ) con un  $R^2 = 0,99$  (datos no mostrados), permitiendo estimar una tasa diaria de 0,40%. Los promedios de azúcares reductores en las mazorcas del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) fueron mayores de 11,00% durante todos los DA, superando los niveles de 3,00% a 6,00% señalados por Zhu *et al.* (24) para

implies the maintaining of a crisp texture and grain succulence (4).

DS affected in a significant way the reducing sugar content of grains which decreased between conservation periods in a linear way. The linear regression analysis was significant ( $P < 0.01$ ) with  $R^2 = 0.99$  (data not shown) allowing the estimation of a daily decrease rate of 0.40%. Reducing sugars averages in the super sweet corn hybrid "Delicia" (*bt1*) were above 11.00% for all of the DS, surpassing the levels of 3.00% to 6.00% mentioned by Zhu *et al.* (24) for sweet corns. The decreases of reducing sugars are usually undesirable; particularly fructose losses which has a sweetener power superior to sucrose, the main responsible for sweet taste in different corn genotypes (*su, se, and sh2*) (23).

Total sugars of grains decreased during conservation. Values over 40% were observed until 14 DS; from this date up higher losses occurred, for this reason 21 and 28 DS were included in the homogeneous groups with the smallest averages (table 2). The regression analysis was significant ( $P < 0.01$ ) and the regression adjustment  $R^2 = 0.84$  indicated an estimated daily loss of 0.85%. The reductions found 21 DS are related to the irreversible conversion of sugars into starch (12) that probably contributes to diminishing of sweetness in the grains. The results found in this study were similar to those obtained by Garwood *et al.* (11) for super sweet corns of *sh2* type, cultivated in temperate climates and storage at 4°C, in that study losses of total sugars of 31.00% are showed for

maíces dulces. Las disminuciones de azúcares reductores suelen ser inde-seables; en particular la pérdidas de fructosa que tiene un poder edulcorante superior a la sacarosa, principal responsable del sabor dulce en diversos genotipos de maíz (*su*, *se* y *sh2*) (23).

Los azúcares totales de los granos disminuyeron durante la conservación. Se observaron valores sobre 40,00% hasta los 14 DA; a partir de esta fecha ocurrieron las mayores pérdidas, por lo que 21 y 28 DA se enmarcaron en los grupos homogéneos con los menores promedios (cuadro 2). El análisis de regresión fue significativo ( $P < 0,01$ ) y el ajuste de la regresión  $R^2 = 0,84$  indicó una merma diaria estimada de 0,85%. Las reducciones encontradas a partir de los 21 DA están asociadas a la conversión irreversible de los azúcares en almidón (12), lo que probablemente contribuya a la disminución del dulzor en los granos. Los resultados encontrados en este estudio fueron similares a los obtenidos por Garwood *et al.* (11) para maíces superdulces de tipo *sh2* cultivados en climas templados y almacenados a 4°C, en ese estudio se indican pérdidas de azúcares totales de 31,00% para maíces de tipo *su* en un lapso de 96 horas, mientras que en nuestro estudio ocurrió una disminución de 23,70% en 28 DA (que es equivalente a 672 horas).

El contenido de almidón presentó un incremento significativo con los DA. Su valor máximo fue alcanzado a los 28 DA con 6,42%, el cual resultó inferior a los promedios de 39,10% y 67,36% señalados por Cartaya *et al.* (7) para maíces del tipo *su1* y a los

corns of *su* type in a period of 96 hours, whereas in our study a decrease of 23.70% took place in 28 DS, equivalent to 672 hours.

Starch content showed a significant increase with DS. Its maximum value was reached at 26 DS with 6.42% which was lower than the averages of 39.10% and 67.36% reported by Cartaya *et al* (7) for corns of *su1* type and to values of 39.00% and 64.00% of starch indicated by Creech (8) for corn genotypes at different ripening periods. The small starch averages found are caused by the effect of the *bt1* gene, which according to Lopes and Larkins (14) is blocking the starch accumulation in the endosperm, avoiding the characteristic starches taste in corn with high starch content.

The averages of soluble solids in grains showed significant reductions with the DS permitting the establishment of four homogeneous groups. The regression adjustment  $R^2 = 0.70$  was significant ( $P < 0.01$ ) allowing the estimation of a daily loss of 0.33 °Brix. The °Brix of the super sweet hybrid "Delicia" (*bt1*) surpassed the values found by Camacho *et al* (6) for super sweet corns of the *sh2*; however, they resulted inferior to those obtained for corns of *su* type that generally present a high accumulation of another polysaccharides like the phytoglycogen that has a small contribution to sweetness and increases the grain creamy. The phytoglycogen is low in super sweet corns because of the high levels of total sugars (9, 24). Values of found soluble solids probably give a higher rigidity and low creamy to grains at

promedios de 39,00% y 64,00% de almidón indicados por Creech (8) para diversos genotipos de maíz a diferentes períodos de maduración. Los bajos promedios de almidón encontrados se deben al efecto del gen *bt1*, el cual según a Lopes y Larkins (14) bloquea la acumulación de almidón en el endospermo, evitando el sabor amiláceo característico de maíces con alto contenido de almidón.

Los promedios de sólidos solubles en los granos presentaron reducciones significativas con los DA, permitiendo el establecimiento de cuatro grupos homogéneos. El ajuste de la regresión  $R^2=0,70$  fue significativo ( $P<0,01$ ) permitiendo estimar una pérdida diaria de 0,33 °Brix. Los °Brix del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) superaron a los valores encontrados por Camacho *et al.* (6) para maíces de tipo superdulces (*sh2*); sin embargo, resultaron inferiores a los obtenidos para maíces de tipo *su* que generalmente presentan una alta acumulación de otros polisacáridos solubles como el fitoglicógeno, el cual contribuye poco con el dulzor y acentúa la cremosidad del grano. El fitoglicógeno es bajo en los maíces de tipo superdulce, por los altos niveles de azúcares totales (9 y 24). Los valores de sólidos solubles encontrados probablemente le confieran una mayor rigidez y poca cremosidad a los granos al momento de su consumo y la disminución observada a través de los DA podría explicar las pérdidas de azúcares totales con la conservación.

### Color del grano

Los promedios de luminosidad se incrementaron vigorosamente durante los primeros DA (cuadro 2) y

the moment of its consumption and the decrease observed through the DS could explain the losses of total sugars with conservation.

### Grain color

Luminosity averages increased in a vigorous way during the first DA (table 2) and kept invariable until 28 DS showing pale grains initially and reflecting a higher luminosity with the increase of storage time. The Shade parameter showed the largest decreases after 14 and 28 DS that could be associated to the yellow-gold coloration losses that corn shows when DS increases. The initial reddish coloration is attributed to the expression of complementary genes (ARC) for red aleurone that were present in the original germplasm source used to obtain the «CENIAP Dulce» corn variety (5). The Intensity averages kept stable until 21 DS and only at 28 DS showed the lowest values indicating a change to a yellow coloration.

### Correlations of the chemical components of quality

Chemical components of quality of the super sweet hybrid "Delicia" (*bt1*) were significantly correlated in a positive and negative way (table 3). Grain moisture was positively correlated with sugars (reducing and total) and soluble solids, indicating that the high levels of soluble carbohydrates, besides of contributing with sweetness, confer a higher osmotic retention and as a consequence, dehydration delays. This behavior was consistent with reports by authors in similar studies (10).

In super sweet grains the largest

luego se mantuvieron invariables hasta los 28 DA, describiendo unos granos inicialmente opacos y con el incremento del almacenamiento reflejaron una mayor luminosidad. El matiz presentó las mayores disminuciones a los 14 y luego a los 28 DA; lo que debe estar asociado a las pérdidas de coloración amarillo-dorado que experimenta el maíz con el aumento de los DA. La coloración rojiza inicial se atribuye a la expresión de genes complementarios (ARC) para color de aleurona roja presentes en la fuente original de germoplasma utilizada para la obtención de la variedad "CENIAP Dulce" (5). Los promedios de intensidad se mantuvieron estables hasta los 21 DA y sólo a los 28 DA presentaron los menores valores, indicando un cambio en la coloración hacia el amarillo.

### **Correlaciones de los componentes químicos de calidad**

Los componentes químicos de calidad del híbrido de maíz superdulce "Delicia" (*bt1*) estuvieron correlacionados significativamente de manera positiva y negativa (cuadro 3). La humedad del grano se correlacionó positivamente con los azúcares (reductores y totales) y los sólidos solubles, indicando que los altos niveles de carbohidratos solubles presentes, además de contribuir con el dulzor, le confieren mayor retención osmótica de humedad y en consecuencia se retrasa la deshidratación. Este comportamiento fue consistente con lo reportado por otros autores en estudios similares (10).

En granos de tipo superdulces la mayor fracción de los sólidos solubles esta constituida por los azúcares

fraction of soluble solids is constituted by sugars (reducing and total) and there is not evidence of another type of a soluble carbohydrate, like phytoglycogen, that explains the positive correlation of soluble solids and reducing and total sugars in the grain. The soluble solids and sugars were negatively associated with the starch content by the irreversible conversion of sugars, mainly sucrose, for the starch synthesis in the corn endosperm (14).

### **Conclusions**

The time of refrigerated storage at 4°C affected in a significant way the characteristics of quality of ears of the tropical hybrid *Delicia* (*bt1*). The moisture and reducing sugars decreased with DS, although high levels were kept for all DS; the total sugars maintained high levels until the 14 DS, whereas the starch content increased. Grain coloration showed increases in luminosity with the DS and strong losses of yellow color at 14 DS. The generated information permitted to establish that ears of the super sweet hybrid "Delicia" can retain its physical and chemical characteristics typical of super sweet corns in terms of moisture, carbohydrates composition, and color for 14 days of storage at 4°C, demonstrating its potentiality for being commercialized as a refrigerated product.

### **Acknowledgement**

To ELESÍ de Venezuela (ELEVENSA) for financing this

**Cuadro 3. Correlaciones de los componentes químicos de calidad del híbrido "Delicia" (*bt1*) a diferentes días de almacenamiento (DA) refrigerado a 4°C.**

**Table 3. Correlations of the chemical quality components of the hybrid "Delicia" (*bt1*) at different days of storage (DS) refrigerated to 4°C.**

Componentes	Azúcares reductores (%)	Azúcares totales (%)	Almidón (%)	Sólidos solubles (°Brix)
Humedad (%)	0,60**	0,58*	0,63*	0,54*
Azúcares reductores (%)	-	0,87**	-0,87**	0,78**
Azúcares totales (%)	-	-	-0,79**	0,75**
Almidón (%)	-	-	-	-0,58*

\*Significativo al nivel de  $P=0,01$

\*\* Significativo al nivel de  $P=0,05$

(reductores y totales) y no se evidencian otro tipo de carbohidratos solubles como el fitoglicógeno, por ello se explica la correlación positiva de los sólidos solubles y los azúcares reductores y totales de los granos. Los sólidos solubles y los azúcares reductores y totales del grano estuvieron asociados de forma negativa al contenido de almidón, por la conversión irreversible de los azúcares, principalmente la sacarosa, para la síntesis de almidón en el endospermo del maíz (14).

## Conclusiones

El tiempo de almacenamiento refrigerado a 4°C afectó significativamente las características de calidad de las mazorcas del híbrido tropical *Delicia* (*bt1*). La humedad y los azúcares reductores disminuyeron con los DA, aunque con niveles suficientemente altos para todos los DA; los

research. To Del Monte Andina C.A. for facilitating their installations and equipments for sample conditioning and to the Laboratory of Vegetable Products of the Chemical and Technology Institute of the Agronomy Faculty, Central University of Venezuela for facilitating the instrumentation required for the analyses.

*End of english version*

azúcares totales se mantuvieron a niveles elevados hasta los 14 DA, mientras que el contenido de almidón se incrementó con los DA. La coloración de los granos registró incrementos en la luminosidad con los DA y las pérdidas marcadas del color amarillo ocurrieron partir de los 14 DA. La información generada permitió establecer que las mazorcas del híbrido de maíz superdulce "Delicia" pueden

mantener en las características físicas y químicas típicas de un maíz superdulce en términos de humedad composición de carbohidratos y color hasta los 14 días de almacenamiento a 4°C, demostrando así su potencial para ser comercializado como producto refrigerado.

## Agradecimientos

A ELESÍ de Venezuela (ELEVENSA) por el financiamiento de esta investigación. A Del Monte Andina C.A. por facilitar instalaciones y equipos para el acondicionamiento de las muestras y al Laboratorio de Productos Vegetales del Instituto de Química y Tecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela por proporcionar la instrumentación necesaria para la ejecución de los análisis.

## Literatura citada

1. Abril, J. y A. Caps. 1999. Procesos de conservación de alimentos. 1<sup>era</sup> edición. Ediciones Mundi-Prensa. (Ed.) Madrid, España. 283 p.
2. Alfaro Y. y A. Bejarano. 2001. El maíz dulce en Venezuela. Divulgativo CENIAP. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Venezuela (on-line): <http://www.ceniap.gov.ve/divulgativo/maiz-d.html>.
3. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15<sup>th</sup> edition. Washington, DC. USA, 1300 p.
4. Azanza, F., B. Klein y J. Juvik. 1996. Sensory characterization of sweet corn lines differing in physical and chemical composition. *J. of Food Science*. 61(1):253-257.
5. Brewbaker, J.L. 1977. 'Hawaiian super-sweet #9' Corn. *HortScience*. 12:355-356.
6. Camacho, C., B. Alfonso, L. Ortiz De Bertorelli y F. De Venanzi. 2002. Estudio de la estabilidad de las características químicas, microbiológicas y sensoriales de mazorcas refrigeradas de híbridos de maíz super dulce. *Arch Latinoamer Nutr*. 52(2):180-186.
7. Cartaya, L., L. Ortiz y M.A. Bejarano. 1991. Características físicas y químicas de los granos de maíz dulce de las variedades "Pajimaca" y "Riqueza" durante el proceso de maduración. *Agronomía Trop*. 41(5-6): 205-214.
8. Creech, R. 1965. Genetic control of carbohydrates synthesis in maize endosperm. *Genetics*. 52: 1175-1186.
9. Evensen, K. y C. Boyer. 1986. Carbohydrate composition and sensory quality of fresh and stored sweet corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 111(5):734-768.
10. Ferguson, J., D. Dickinson y A. Rhodes. 1979. Analysis of endosperm sugar in a sweet corn inbred (Illinois 677a) which contain the sugary enhancer (*se*) gene and comparison of *se* with other corn genotypes. *Plant Physiol*. 63:416-420.
11. Garwood, D., F. McArdle, S. Vanderslice y J. Shannon. 1976. Postharvest carbohydrate transformations and processed quality of high sugar maize genotypes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 101(4):400-404.
12. Hannah, C., M. Giroux y C. Boyer. 1993. Biotechnological modification of carbohydrates for sweet corn and maize improvement. *Scientia Horticulturæ*. 55:177-197.



13. Huelsen, W. 1954. Sweet corn. Interscience Publisher Inc.(Ed) New York, NY, USA, 409 p.
14. Lopes, M. and Larkins, B. 1993. Endosperm origin, development, and function. *The Plant Cell*. 5:1383-1399.
15. Masuda, R., I. Yamashita y K. Kaneko. 1997. Diurnal variation in contents of tasty compounds and activities of sugar metabolizing enzymes in the sweet corn (*Zea mays* L.) kernels. *Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi*. 44(3):186-191.
16. McCready, R., J. Guggols, J. Silveira y H. Owens. 1950. Determination of starch and amilose in vegetable. *Anal. Chem.* 22(9):1156-1158.
17. Nelson, O. y D. Pan. 1995. Starch synthesis in maize endosperms. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 46:475-496.
18. Obregón, P. 2000. Mejoramiento genético del maíz en Venezuela. *En: Fontana, H. y González, C. (Comps.) El maíz en Venezuela. Fundación Polar (Ed). Caracas. Venezuela. 530 p.*
19. Pérez, J., J. Fernández, M.Y. Rosmini y M. Sayas. 1999. El color en los alimentos. *Techno Food*. 8: 32-43. Buenos Aires. Argentina.
20. Potter, N. 1990. La ciencia de los alimentos. Harla (Ed) Ciudad de México, Mexico. 749 p.
21. Statistix® for Windows (1996). User's Manual. Analytical Software. Tallahassee, FL.
22. Wann, E., G. Brown y W. Hills. 1971. Genetic modification of sweet corn quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96:441-444.
23. Wong, A., J. Juvik, D. Breeden y J. Swiander. 1994. Shrunken-2 sweet corn yield and chemical components of quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(4):747-755.
24. Zhu, S., J. Mount y J. Collins. 1992. Sugar and soluble changes in refrigerated sweet corn (*Zea mays* L.). *J. Food Science* 57(2):454-457.