



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE HIDALGO**



**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**EVALUACIÓN DE TEXTURA, COLOR Y ALGUNOS  
CARBOHIDRATOS COMO ÍNDICES DE MADUREZ EN ELOTES  
DE MAICES DE COLOR**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**THANIA ALEJANDRA URRUTIA HERNÁNDEZ**

**DIRECCIÓN: DRA. ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS**

**Tulancingo de Bravo Hidalgo,  
2006.**

EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN LOS LABORATORIOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS DEL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS.

## DEDICATORIA

A mis padres, por sus desvelos y preocupaciones para el alcance de mis sueños. Su confianza eterna en mis acciones y despertar en mí alma la sencillez, humildad y ayuda al prójimo.

A mis hermanos, por enseñarme que el cumplimiento de las metas no depende sólo del estudio sino también de la Fe en la familia y en Dios. Gracias por sus bendiciones. Los amo

A Scarlett, un angelito de Dios, porque cada momento junto a ti, es una gran enseñanza de vida. ¡Te adoro pequeña!

A Mario, mi amor y mejor amigo. Por tu Fe, paciencia y confianza infinita complementas mi vida.

Por su amor infinito...

¡¡ Este logro también es suyo!!

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Elia Nora y al M en C. Rubén, que son grandes seres humanos y seguramente serán los mejores padres. Gracias por el apoyo en el desarrollo de la tesis y preocupación por mi bienestar personal. Dios los bendiga y llene de felicidad en su nueva tarea.

A los asesores: Dra. Norma, Dr. Joel, Dra. Alma y M. en A. Elizabeth por su tiempo y acertados consejos en la revisión de este trabajo.

A la Dra. Maria Isabel Reyes por su colaboración en el análisis estadístico de los datos y revisión del documento.

A mis compañeros de clase: Lupita, Marco, Sandy, Martha, Maye, Blancas, Ismael, Pao, Chuy, Coco, Veroy Bris por su paciencia, apoyo y compartir conmigo además de un aula, grandes momentos de risa y ciertos enojos que nos hicieron crecer. Gracias.

A Sharon, mi mejor amiga y hermana. Por tus eternas y sinceras bendiciones.

A Juanita por ser una gran persona, compañera y sobre todo verdadera amiga.

A Gonzalo, por tus consejos en el momento indicado, así como a Yuri y Margarita, por su apoyo y amenas conversaciones.

Y aquellas personas que hicieron de mi estancia en el ICAp una experiencia agradable, Infinitas gracias!!

## RESUMEN

Elotes de maíz de color azul, rojo y blanco fueron cosechados en estado de madurez comercial y almacenados por 24 h a temperatura de refrigeración. Se clasificaron en cuatro estados, siendo el estado 1 el más lecho y 4 el más maduro. A las mazorcas se les determinaron parámetros de color (L, a\*, b\*, C y h°) y de textura (fracturabilidad, dureza y resiliencia) antes de ser divididas en tres fracciones. La porción central fue desgranada, utilizándose una parte de la misma para la determinación de humedad y sólidos solubles totales, del resto se tomaron 20 g que fueron liofilizados hasta 13% de humedad y empleados en la cuantificación de humedad, azúcares reductores, azúcares totales y almidón.

En los parámetros de color, no se presentaron diferencias significativas entre los elotes de maíces de color blanco y azul, mientras que en elote de maíz rojo se apreciaron cambios en los parámetros L, a\*, b\* y h°. En los parámetros de textura, el elote de maíz rojo requirió de una mayor fuerza (2.537 N) para fracturar el grano, respecto a los elotes blanco y azul (1.559 y 1.562 N, respectivamente), el elote que presentó mayor dureza y resiliencia fue el de maíz azul. Tanto el color, como el estado de madurez, no mostraron tener influencia en la dureza de los granos.

En el contenido de sólidos solubles totales existieron diferencias significativas tanto por el color como por el estado de madurez, siendo el elote de maíz blanco el que mantuvo un mayor contenido durante los cuatro estados, éste descendió con la madurez al igual que el porcentaje de humedad, cuyo comportamiento demostró diferencias significativas entre los cuatro estados de madurez.

El contenido de azúcares reductores y totales fue descendiendo con la humedad, mientras que se incrementó el almidón. El elote de maíz rojo presentó el menor contenido de azúcares reductores y mayor en almidón. El estado de madurez y el color fueron altamente significativos en el contenido de azúcares de los elotes analizados.

## 1. INTRODUCCIÓN

En México y otras regiones de Mesoamérica el maíz se ha cultivado desde hace 5,000 años. Actualmente es el cultivo más importante por ser el alimento básico de la población Mexicana (Gandara *et al.*, 2003). Los Estados de San Luís Potosí, Puebla, Morelos y Jalisco aportan el 69.5% de la producción nacional de elote (SIACON, 2004). Estos estados atienden nichos de mercado para productos alimenticios muy específicos, donde está muy generalizado el uso de los elotes para el consumo humano, ya sean cocidos, asados, en preparaciones especiales o en conservas (Robles, 1983).

En la industria, los elotes son apreciados para verdura fresca o enlatados (Jugenheimer, 1981) y en todos los niveles socioeconómicos de México es común su consumo como complemento o ingrediente básico en diversos platillos nacionales e internacionales (Olivares, 1995). Los elotes de maíces de color, son ampliamente preferidos por la población de México por su textura y sabor respecto a los elotes de maíces blancos (Armendáriz, 1982), además de ser una fuente de explotación para la industria alimentaria y farmacéutica, debido a sus características y propiedades nutraceuticas (Gandara *et al.*, 2003).

Aunque anteriormente, el elote solo podía ser utilizado para consumo en estado fresco o natural, lo que impedía extender su cultivo a gran escala, en la actualidad ya se cuenta con la tecnología y equipos especiales que permiten alargar por mas tiempo sus características óptimas de consumo (Jugenheimer, 1981) conservado su calidad y composición a través del manejo poscosecha. Estas características se pueden identificar durante el desarrollo de los maíces pigmentados, a través de índices de cosecha adecuados.

El conocimiento de la madurez óptima y punto de cosecha de los elotes ha radicado por mucho tiempo en las prácticas tradicionales, como son el observar la coloración, tamaño y estado lechoso del grano, así como la coloración de las sedas. Sin embargo, actualmente con el apoyo de pruebas analíticas es posible

determinar un método efectivo que apoye en la determinación del punto exacto de madurez del elote en el campo.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar parámetros de textura y color, así como el contenido de humedad, sólidos solubles totales, azúcares totales, reductores y almidón en granos de elotes de maíces de color como índices para determinar el estado de este producto, así como también identificar el potencial de los maíces de color rojo, azul y blanco para ser comercializados como elote.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Maíces pigmentados

En México, el maíz es la especie cultivada de mayor importancia, no sólo por la superficie sembrada, sino también por el potencial de utilización que representa para la población y para el agricultor. En su mayoría el maíz se cultiva en un sistema de producción temporal que permite un amplio uso de variedades criollas, que ocupan aproximadamente el 85% de la superficie de maíz. La diversidad existente es tal que en México se han definido al menos 50 razas diferentes, de las 305 razas identificadas hasta 1974, a nivel mundial (Linares *et al.*, 2002).

La distribución de maíces criollos en México se encuentra asociada principalmente a las cadenas montañosas de la sierra madre oriental, occidental, eje neo volcánico, sierra madre del sur y a la península de Yucatán. En el centro del país, las principales áreas de cultivo de maíz de color azul se localizan en los estados de Puebla, Tlaxcala, México e Hidalgo, con rendimientos de 2 a 3.5 Ton ha<sup>-1</sup> (Miguel *et al.*, 2004).

La variación genética del maíz se relaciona con los factores ecológicos asociados a la altura, temperatura y humedad, así como la duración del período de crecimiento de las plantas (Linares *et al.*, 2002).

#### *Consumo de elote*

El maíz es el cultivo característico de la alimentación mexicana y muchas costumbres de su consumo han persistido desde la época prehispánica hasta nuestros días, tal es el caso de los elotes tiernos (Franco, 1987), que fueron considerados por los pobladores nativos de América como un bocado exquisito que consumían en forma de elotes hervidos o tostados (Weatherwax, citado por Armendáriz, 1982).

No existe evidencia de alguna variedad específica usada con este fin, sino que solo se cosechaba durante unos cuantos días de la temporada y la mayor parte de

los elotes llegaban a la madurez en mazorca, aprovechando mejor el cultivo (Weatherwax, citado por Armendáriz, 1982).

Para el mercado de elotes en México, se ha recurrido a cualquier variedad de maíz, aunque algunos agricultores prefieren aquellos de endospermo harinoso, como el “Cacahuacintle”, que además de utilizarse en la elaboración de pozole, se consume como elote alcanzando en este estado su mayor precio en el mercado (Landaverde, citado por Armendáriz, 1982). Esta variedad es preferida para elotes en la Mesa Central debido al tipo de endospermo, la base de la mazorca está completamente llena de granos y cuenta con un pedúnculo pequeño y delgado; sin embargo ya casi no se encuentra en forma pura (Wellhausen *et al.*, citados por Armendáriz, 1982).

En el estudio realizado por Ortega, citado por Armendáriz (1982), en la sierra madre occidental y zonas adyacentes, se reportan al menos cinco tipos de maíz, como el tipo harinoso para proporcionar elotes u otro precoz para una rápida producción de elotes. En Valparaíso, Zacatecas este mismo autor encontró un maíz denominado “de color” y “arroz” que corresponden a los elotes occidental y cónico norteño, respectivamente. Wellhausen *et al.*, citados por Armendáriz (1982), establecieron que más que buscar un efecto sobre el sabor, la selección practicada por los agricultores a favor del color de la aleurona o pericarpio en las sub-razas “elotes occidentales” y “elotes cónicos”, ha tenido la función de mantener la característica de endospermo harinoso.

Otros tipos de maíces para consumo de elote y con buen mercado son los denominados “pintos” y “negros”, que resultan adecuados por ser precoces, bastante dulces y de endospermo harinoso, así como la variedad llamada “precoz para elotes” que tiene un grano de tamaño medio, blanco y algo grueso (Landaverde, citado por Armendáriz, 1982).

#### *Elotes de maíces de color*

Los maíces de color representan un amplio acervo genético y una gran cantidad de materiales criollos para la alimentación humana, con buenas características

eloteras (Ruiz, 2002). Su consumo es preferido en el medio rural o provincia a diferencia de los elotes de grano blanco que son los preferidos en los centros urbanos (Schulz, citado por Armendáriz, 1982). Sin embargo, no se cuenta con suficiente información de las propiedades alimenticias y nutritivas, o de los valores culturales y tradicionales que los agricultores les asignan para seguirlos conservando (Miguel *et al.*, 2004).

De acuerdo con Wellhausen *et al.* (1987) y Flores (1993) la diversidad de maíces de grano pigmentado en México presenta colores que van desde el negro hasta el rosa, siendo mas comunes los azules y los rojos (Salinas *et al.*, 1999).

El maíz azul o morado es tradicionalmente empleado en la elaboración de tortillas, atole, tesgüino (bebida alcoholica obtenida de la fermentación del grano) y el pinole, que es una mezcla de maíz azul tostado y molido con canela, azúcar, miel y otros ingredientes (Hernández, 1981). El pinole se consume directamente o como bebida al mezclarse con agua o leche. Las características mas destacadas del maíz azul son el atractivo color del grano y su sabor diferente (Dickerson, 1990) aunque se cultiva en muy poca proporción y presenta un sobreprecio (FIRA, 1998). Este grano contiene flavonoides que son utilizados actualmente como fuente de antioxidantes.

Las variedades criollas han sido menospreciadas, a pesar de que muchas de ellas presentan un comportamiento agronómico aceptable reflejado en altos grados de adaptación al ambiente, potencial productivo y resistencia a factores adversos. Cabe mencionar que la diversidad genética se extiende más allá de las características agronómicas, abarcando aspectos bioquímicos, fisiológicos y nutrimentales. Para Brush (1995) y Louette y Smale (1996) los elementos que determinan el cultivo de materiales criollos y mejorados son de naturaleza agronómica y socioeconómica.

#### *Características del maíz dulce modificado genéticamente*

El endospermo del maíz dulce, a diferencia del maíz normal, posee carbohidratos de bajo peso molecular, tales como azúcares y dextrinas, que producen que los granos

mantengan por un tiempo mas prolongado la succulencia (jugosidad), textura blanda y sabor característico (Cartaya *et al.*, 1991). Por el contrario, el maíz dulce tradicional conserva su calidad solamente uno o dos días, por lo que después de cosecharse su vida de anaquel es muy corta. Las variedades tradicionales no pueden almacenarse por periodos largos.

Los maíces dulces presentan genes que alteran la síntesis de almidón y existen tres tipos que han sido ampliamente utilizados: sugary1 (*su*), sugary enhancer1 (*se*) y shrunken2 (*sh2*). Todas las variedades dulces utilizadas comercialmente son híbridos simples, es decir, resultado del cruzamiento de dos líneas puras (Ordás *et al.*, 2003). El gen recesivo en el cromosoma cuatro causa la disminución del almidón y un aumento de los azúcares del endospermo, los cuales se duplican en relación con el genotipo normal, ocasionando un incremento de los polisacáridos solubles en agua, principalmente los fitoglicógenos, que proporcionan una textura cremosa y agradable a los granos (Carey *et al.*, 1984), este gen causa la acumulación de azúcares a expensas del almidón y una gran disminución del contenido de carbohidratos totales de manera que estos maíces poseen cuatro a ocho veces más azúcares que los híbridos no mutantes. Además, el gen no sintetiza la enzima ADP-glucosa fosforilasa, clave en la síntesis del almidón, causando una acumulación de sacarosa y lípidos en lugar de polisacáridos solubles y almidón (Carey *et al.*, 1984).

#### *Maíz dulce variedad sugary 1*

El maíz dulce *su* o maíz súper dulce, presenta un contenido mas alto de azúcares en la madurez que va de dos a tres veces mas la cantidad de sacarosa (Creech, citado por Boyer y Shannon, 1987), un período más largo de cosecha por retener mayor cantidad de azúcares y por perder humedad más lentamente (Garwood *et al.*, citados por Kays, 1991), posee una textura suave y crujiente, no requiere adición de azúcar al procesarlo y es excelente como producto refrigerado y congelado. Además presenta rendimientos comparables a los cultivares híbridos *sh2* (Wong *et al.*, 1994), siendo por lo tanto, muy cotizado en varios países.

Por otra parte, estudios sobre el almacenamiento refrigerado del maíz súper dulce han demostrado que este maíz conserva mayor contenido de sacarosa y de azúcares totales que el maíz dulce, así como mejores características sensoriales durante 5 a 10 días a temperaturas entre 4 y 7 °C (Olsen *et al.*, 1990).

#### *Maíz dulce variedad extradulce (se)*

Las variedades extradulces (*se*) producen mazorcas con granos tiernos que tienen un contenido de azúcar mayor que las variedades súper dulces. Los pericarpios suaves de los granos hacen que el maíz sea tierno y fácil de masticar. El período de la cosecha y almacenamiento de las variedades *se* son ligeramente más largos que el maíz dulce tradicional.

#### *Maíz dulce variedad sh2*

El nombre común de las variedades *shrunken-2 (sh2)* se deriva de la apariencia en forma encogida o arrugada de los granos secos. Comúnmente denominados “súper dulce,” las variedades *shrunken-2* tienen períodos de cosecha y almacenamiento más largos y tienen el mayor contenido de azúcar. Sin embargo, las variedades *sh2* tienen algunas desventajas. Los tejidos o membranas en esta variedad son relativamente gruesos, dando una textura dura o crujiente, los rendimientos generalmente son más bajos que en el maíz dulce tradicional. El gen mutante *shrunken-2* ocasiona la conversión del azúcar en un proceso más lento que en el maíz normal (Rogers, citado por Camacho *et al.*, 2001).

#### *Maíz no dulce*

En Estados Unidos, pese a toda la tradición elotera característica en el maíz dulce, se han hecho mejoramiento de variedades comerciales no dulces para la producción de elotes y los agricultores prefieren el maíz dentado o las variedades para asar como “*truckers favorite*” que es de mejor calidad dentro de los maíces no dulces para elote, o bien aquellas variedades de endospermo pseudoalmidonoso como son la “*golden bantam*” y la “*black mexican*” (Jones, citado por Armendáriz, 1982).

## **2.2. Características del elote para consumo fresco y uso industrial**

Para la comercialización de los elotes en estado fresco son adecuados los cultivos con desuniformidad en la maduración ya que así es posible ofrecer el producto durante un lapso de tiempo más largo. Además es de importancia tomar en consideración aspectos de dulzura, consistencia del pericarpio y precocidad (Jugenheimer, 1981). En cambio, cuando el elote es destinado para su proceso o industrialización, Shoemaker, citado por Armendáriz (1982), menciona que la industria enlatadora requiere de variedades con uniformidad de madurez y aquellas donde después de la cosecha, la formación de almidón sea un proceso lento (Bergeret, citado por Franco, 1987). Los factores que determinan la calidad del elote destinado para producto enlatado son: el grado de terneza y endurecimiento del pericarpio, la naturaleza de los polisacáridos presentes, el contenido de azúcar y lo compacto que se encuentren los polisacáridos en el endospermo (Culpepper *et al.*, citados por Darbyshire *et al.*, 1978).

### **2.2.1. Características del grano**

#### **a. Morfología y composición**

Desde el punto de vista botánico, el grano de maíz es un fruto (cariópside) por tener el pericarpio íntimamente ligado al endospermo del germen (Wolf *et al.*, citado por Miranda, 1976). Los componentes más importantes del grano desde el punto de vista nutricional son el endospermo y el germen, que representa del 80 al 85% y del 10 al 15% respectivamente, del peso total del grano.

El endospermo consiste de dos secciones mayores. La porción interna es la principal región donde se sintetiza el almidón, mientras que en la región superior o externa se sintetizan proteínas (Boyer y Shannon, 1987). El endospermo, además está formado por una capa de aleurona que lo circunda y por un parénquima amiláceo (Wolf *et al.*, citados por Miranda, 1976).

Los carbohidratos constituyen del 70 al 85% del peso del endospermo, estos carbohidratos principalmente son almidones en forma de gránulos que se encuentran dentro de una matriz proteica, contenidos en las células del

parénquima. En la región harinosa del endospermo estas células son mayores y con paredes más gruesas que en las de la región córnea (Cano, citado por Miranda, 1976).

Las proteínas asociadas con los gránulos de almidón representan del 8 a 10% del peso del endospermo y su mayor concentración se encuentra en la capa de aleurona. Las células aleurónicas son de paredes muy engrosadas y su citoplasma es abundante en proteína; los elementos del parénquima son de paredes más delgadas y contienen muchos gránulos de almidón (Duvick, citado por Miranda, 1976).

La capa de aleurona puede ser considerada como una fuente de enzimas para la digestión del almidón de las capas celulares subyacentes (Kiesselbach, citado por Miranda, 1976) y según Cano, citado por Miranda (1976), este tejido “de reserva” es muy susceptible a sufrir cambios en su naturaleza química y tales cambios se expresan en muy diferentes formas, por ejemplo: patrones de coloración, densidad, textura, opacidad, reventazón y valor alimenticio que son la expresión de genes específicos.

El germen tiene del 15 al 30% de proteína que representa del 15 al 20% de la proteína total del grano; la cantidad de lípidos varía de 25 a 40% y constituye del 82 al 84% del contenido total del grano.

El pericarpio representa aproximadamente el 6% del peso total del grano, cubre totalmente a éste y es la pared ovárica desarrollada. El grosor del pericarpio es menor en la parte central y superior del grano y mayor en la base del mismo y de acuerdo con Poey, citado por Miranda (1976), la susceptibilidad del grano a enfermedades fungosas y a otros parásitos puede ser mayor cuando es menor el espesor del pericarpio y mayor la suavidad del endospermo. Por otra parte, el pericarpio es de difícil digestión y poco valor nutritivo por estar constituido principalmente por celulosa.

## b. Coloración

En los granos de maíz, los pigmentos responsables de la coloración se encuentran principalmente en el pericarpio, en la capa aleurona o en ambas estructuras y según Cano, citado por Miranda (1976), los colores rojo y púrpura se deben a la capa aleurona; amarillo o blanco al parénquima endospermico; mientras que el anaranjado, rojo o pardo al pericarpio (Kiesselbach, citado por Miranda, 1976). Las antocianinas son responsables de los colores rojo, anaranjado, azul y púrpura de frutas, flores y otros productos de origen vegetal. Generalmente se encuentran en la cáscara aunque también se pueden localizar en la parte carnososa (Badui-Dergal, 1999).

El color de las antocianinas depende de varios factores intrínsecos, como son los sustituyentes químicos que contenga y la posición de los mismos en el grupo flavilio; por ejemplo, si se aumentan los hidroxilos del anillo fenólico se intensificara el color azul, mientras que la presencia de grupos metoxilo provoca la formación del color rojo (Badui-Dergal, 1999).

Las antocianinas presentes en el maíz de grano azul se derivan comúnmente de la cianidina, en tanto que en los de grano rojo provienen de la pelargonidina (Straus, citado por Salinas *et al.*, 1999), aunque otros autores mencionan también la presencia de la peonidina y malvidina en maíces de grano rojo (Caldwell y Peterson, 1992), así como delfinidina, en maíces de grano azul (Bustillos, 1997).

Considerando los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , que son parámetros asociados con el tinte de la muestra, el color de los maíces de grano azul está integrado por un tinte rojizo, dado por el valor positivo en  $a^*$  y por un tinte de amarillo expresado por el valor positivo de  $b^*$  (Salinas *et al.*, 1999).

## c. Textura

De acuerdo a la textura del grano, éste ha sido denominado con nombres comunes: dentado, cristalino, harinoso, ceroso, palomero y dulce. Estos se refieren

principalmente a la organización y tipos de gránulos de almidón en el endospermo del mismo.

Cano, citado por Miranda (1976) sugirió dos categorías principales en base a su estructura subcelular del endospermo: amilífero y aporreticular; en la primera categoría se agrupan los tipos amilífero reticular y amilífero semi-reticular; en el primer caso la matriz de proteína se dispone en un retículo bien definido y a este tipo pertenecen los maíces cristalinos y everta (palomeros). La segunda categoría amilífero semi-reticular, se caracteriza por que la matriz de proteína se dispone en un retículo irregular y discontinuo y pertenecen a este tipo los maíces harinosos. Finalmente, los maíces de endospermo dulce no tienen matriz proteica y pertenecen a la categoría aporreticular.

De acuerdo con Poey, citado por Miranda (1976), el grado de compactación de los gránulos de almidón en el endospermo determina el fenotipo de las dos estructuras básicas: córneo y vítreo, típico de maíces palomeros (amilífero reticular) cuyos gránulos están muy compactos y asumen formas angulares sin espacios entre ellos y la textura harinosa de almidón que se forma cuando los gránulos no están muy compactados, son de forma esférica y con espacios entre ellos.

La dulzura y buena textura son dos importantes características de calidad del maíz. Los dos mutantes más comúnmente utilizados son *su* y *sh2*. El genotipo *su* almacena grandes cantidades de fitoglicógeno (Peat *et al.*, citados por Derbyshire *et al.*, 1978), un factor en la textura de los productos comestibles, pero produce más bajos niveles de azúcares en el endospermo que el mutante *sh2* el cual es bajo en fitoglicógeno (Creech, citado por Cartaya *et al.* (1991)).

### **2.2.2. Características de un elote de buena calidad**

Cuando la producción de maíz se destina para el consumo como elote, se prefieren aquellas variedades de buen desarrollo y capaces de producir elotes de buen sabor. Los elotes de mayor aceptación son aquellos de sabor agradable y de tamaño pequeño. Por lo general, las variedades que dan elotes grandes y

uniformes en tamaño, han sido diseñadas para producción de grano y solo eventualmente se cosechan para elote (Olivares, 1995).

De acuerdo con Olivares (1995), entre las características para producir elotes de buena calidad se encuentran:

1. Buena cobertura. Las envolturas deben estar lo suficientemente largas y adheridas hacia el elote para protegerlo del daño de plagas y penetración de lluvia.
2. Apariencia fresca y uniforme
3. Filas de granos bien formadas y uniformes
4. Turgencia y contenido lechoso de granos (granos tiernos)
5. Ausencia de daños y defectos (decoloración, daño de cosecha, daño causado por gusanos)

Los elotes mínimamente procesados tienen estándares adicionales de clasificación para la cubierta, apariencia, el largo y otros indicadores de calidad de la mazorca.

### **2.2.3. Índices de cosecha del elote**

El maíz dulce se considera maduro para el consumo fresco o procesamiento de granos “baby” cuando se secan los estigmas por polinización y los granos siguen inmaduros. Las hojas de envoltura aún siguen apretadas y tienen un buen aspecto verde. La mazorca se encuentra firme y turgente. Los granos están hinchados y, cuando se les presiona, parecen ser lechosos. Los granos de maíz dulce común tienen, en esta instancia, un contenido de agua de 70-75% mientras que los granos de maíz sh2 tienen un contenido de agua de 77-78% (Trevor, 2002). La cosecha para el mercado en fresco se debe hacer a mano. Las mazorcas se desprenden hacia abajo y en dirección contraria al tallo principal. Se recortan las puntas del tallo para evitar una pérdida excesiva de agua (Machuca, 2002).

Las enfermedades no representan una causa importante de pérdidas poscosecha cuando se les compara al daño ocasionado por insectos desde el campo o al

deterioro fisiológico que se produce por una tasa alta de respiración y una conversión de azúcares a almidón (Trevor, 2002).

#### **2.2.4. Índices de calidad**

La calidad del maíz dulce para el mercado fresco se evalúa de acuerdo con una apariencia fresca y uniforme, filas de granos bien formadas y uniformes, turgencia y un contenido lechoso de granos y la ausencia de daños y defectos (decoloración, daño de cosecha, daño de gusanos, insectos vivos, sedas o granos podridos). Mazorcas recortadas, deshojadas, o con un procesamiento mínimo (por ejemplo los paquetes para el horno de microondas tienen estándares adicionales de clasificación para la cubierta, la apariencia, el largo y otros indicadores de calidad de la mazorca

Los grados de calidad en Estados Unidos son fino (fancy), (fino-deshojado), (fancy-husked), No. 1, No. 1- Deshojado (No.1-Husked) y No.2 (Trevor, 2002).

#### **2.2.5. Métodos para determinar la madurez del elote**

Se han indicado diversos métodos empleados en la determinación de madurez de maíz dulce. Algunos de éstos, con ciertas modificaciones podrían ajustarse para ser empleados en elotes (Arreguín, 2002).

Armendáriz (1982), enuncia las pruebas para determinar la madurez del maíz dulce:

1. Inspección visual. A través de presionar los granos con la uña pulgar, se observa la consistencia del fluido por el estado lechoso de los granos, que se relaciona con la madurez.
2. Contenido de humedad. Basado en el conocimiento de que los granos se desecan conforme avanza el desarrollo, el contenido de humedad es un criterio de madurez. Generalmente las determinaciones de humedad se hacen por el método de horno al vacío, aunque existen otros métodos alternativos, como el horno de microondas.

3. Dureza y cantidad de pericarpio. A medida que la madurez avanza se presenta un incremento en la dureza del pericarpio. Entonces estos dos aspectos sirven como criterio de evaluación.
4. Total de sólidos solubles y humedad. Mediante el uso de un refractómetro se mide el total de sólidos solubles (x) y con la ecuación  $Y = 98.82 - 0.95x$ , se usan los datos obtenidos de sólidos solubles para predecir la humedad de los granos de maíz dulce.
5. Suculencia y textura. El suculómetro es un aparato que mide la madurez del jugo de los granos y que en etapas avanzadas el jugo cambie de consistencia. El texturómetro se usa para medir la presión requerida para penetrar el grano.
6. Gravedad específica. En salmuera de peso específico dado se ponen 100 granos y el porcentaje de granos flotantes se utiliza como medida de madurez.
7. Polisacáridos insolubles. Se utiliza como solvente de los azúcares alcohol al 80%, pero el almidón, hemicelulosa, fibras y proteínas permanecen insolubles. A medida que avanza la madurez disminuye la porción de los compuestos solubles.
8. Horno de microondas. Con el uso del horno de microondas es posible obtener en tres minutos los resultados del contenido de humedad de los granos de maíz dulce. Este método además de la rapidez ofrece la ventaja de ser tan eficiente como el del horno al vacío. El tiempo de exposición de las muestras en el horno de microondas puede variar con la manufactura o modelo.

Es importante mencionar, que la madurez del maíz es comúnmente evaluada por el contenido de humedad, color de las sedas y apariencia visible del jugo del grano. El contenido de humedad en el grano debe ser del 70 – 75% en base al peso fresco. El color de las sedas debe ser café. Los mejores granos son considerados aquellos que están en estado lechoso. El maíz de esta calidad es cosechado para su consumo en fresco (Arreguín, 2002). Se debe evitar la cosecha de mazorcas sobremaduras con granos duros, que es el siguiente factor más importante después del manejo de la temperatura apropiada asegurando la calidad de los elotes en el mercado. Con los niveles más altos de azúcar y una vida de

anaquel mas larga se logrará proporcionar un producto de alta calidad a mercados distantes (Brecht, 1999).

#### **2.2.6. Condiciones poscosecha del elote**

Después de la cosecha, la proporción de almidón del endospermo de los granos se incrementa en relación directa con la temperatura (McGinty y Edmond, citados por Armendáriz, 1982). Los granos de maíz dulce sufren pérdidas rápidas de dulzor después de la cosecha (como maíz tierno) debido a la hidrólisis de la sacarosa, reacción que es catalizada por la enzima UDP-glucosiltransferasa (Cartaya *et al.*, 1991).

Para conservar la calidad y prolongar la vida de anaquel de los elotes, Bergeret, citado por Franco (1987) indica que se recomienda colocarlos en un lugar ventilado y evitar el amontonamiento y pisoteo, de lo contrario la humedad y temperaturas producidas por la respiración de los tejidos favorecen el desarrollo de bacterias que deterioran el producto.

Las expectativas de poscosecha del maíz dulce han cambiado dramáticamente ante la mayor disponibilidad y popularidad de variedades super dulces *sh2* y en otras mutaciones naturales que fomentan la dulzura. Aunque no están relacionadas a la dulzura, percepciones y preferencias regionales del consumidor por el color del grano, han provocado un cambio significativo desde el maíz amarillo tradicional hasta el blanco y bicolor (Trevor, 2002).

##### *Temperatura y humedad relativa*

En las condiciones o manejo poscosecha, Lutz y Hardeburg, citados por Trevor (2002) recomendaron el pronto preenfriamiento y la aplicación de una capa de hielo para remover el calor de campo. Tras un enfriamiento completo, las temperaturas de almacenamiento y transito se mantienen tan cercanas a 0° C (32° F) como sea posible para retardar la pérdida de calidad en el maíz dulce. El maíz dulce no es sensible a daño por frío y una temperatura de almacenamiento de 0 °C debe combinarse con una humedad relativa entre 95 y 98 % con o sin hojas,

pero si se almacena con hojas deberá ser cubierto por alguna película de polietileno (Turk *et al.*, 2001).

El maíz dulce común no se almacena por periodos largos debido al deterioro acelerado de calidad, aún a temperaturas ideales. Cuando es necesario el almacenamiento a corto plazo para comercialización, el periodo máximo debe ser de 7 días, lo que incluye el tiempo de transporte (Trevor, 2002).

El contenido de azúcar determina la calidad del elote y puede almacenarse sin deshojarse a 0 °C sin perder aceleradamente su contenido de azúcar durante 4 a 8 días (Illynes *et al.*, 2003; Risse y McDonald, 1990). Cuando son almacenados por largos periodos de tiempo y altas temperaturas, el azúcar rápidamente se convierte en almidón, perdiendo sabor y sobre todo dulzura. Las altas temperaturas aceleran el proceso de conversión del azúcar y con ello la pérdida de su calidad.

En mazorcas de maíz dulce que fueron empacadas en películas plásticas y almacenadas a 10 y 20 °C, Deak *et al.* (1987) reportaron que la concentración de glucosa y sólidos totales disminuyó con el tiempo de almacenamiento. Las nuevas variedades extradulces tardan más en convertir el azúcar a almidón y se pueden cosechar durante un período de tiempo más largo. Además de que poseen un tiempo de almacenamiento prolongado (Illynes *et al.*, 2003). Risse y McDonald (1990) demostraron que una temperatura de almacenamiento baja y constante (0 a 1 °C) y una alta humedad relativa (95 a 100 %) son los factores poscosecha más importantes para mantener la calidad del maíz dulce, así como también con el maíz dulce regular. Durante periodos de almacenamiento de 14 a 21 días, a 1 °C se mantuvo mejor la calidad (sólidos solubles y frescura), respecto a las muestras almacenadas a 4 o 10 °C.

#### *Atmósferas modificadas*

En un intento por extender la vida de anaquel del maíz dulce, Spalding *et al.*, citados por Olsen *et al.* (1990) encontraron que el mantenimiento de la apariencia y sabor no son significativamente mejorados bajo condiciones modificadas de

almacenamiento (atmósferas modificadas o baja presión) y concluyó que los cultivos que retienen la calidad, en combinación con un pronto preenfriamiento, ofrecen mayor oportunidad de éxito que las atmósferas modificadas.

El almacenamiento con atmósferas modificadas, por ejemplo, ajustando la composición de gas, la humedad relativa en suma a la refrigeración, es más ventajoso que el frío solo, pero es más costoso. Un método menos costoso de atmósferas modificadas es el uso de películas plásticas para envolver el producto (Ben, 1985). Deak *et al.* (1987) reportaron que el maíz dulce en bolsas de película encogible y almacenamiento a 10 o 20 °C, 65 y 55 % de humedad, respectivamente, reducen los cambios asociados con la senescencia y deterioro poscosecha relativa a las muestras no cubiertas.

De acuerdo con Trevor (2002) el almacenaje o embarque en atmósferas controladas o modificadas beneficia en forma moderada la conservación de la calidad en maíz dulce. Niveles bajos de O<sub>2</sub> (3%) y elevados de CO<sub>2</sub> (10%) producen un retraso en la pérdida del contenido de sacarosa y conservan la apariencia de las mazorcas. Una atmósfera controlada a 5 °C (41 °F) es mejor que el almacenamiento bajo condiciones normales. El maíz dulce no tolera niveles bajos de O<sub>2</sub> (2%) o altos de CO<sub>2</sub> (mayor o igual a 20%). Los cambios poscosecha indeseables en la calidad del grano llevan al marchitamiento, dentado, incremento de la masa del pericarpio y la conversión de azúcar a almidón (Turk *et al.*, 2001).

#### *Tasa de respiración*

Los elotes frescos, como las frutas y otras hortalizas, respiran y transpiran mientras se desarrollan y la respiración puede disminuirse mediante el manejo de bajas temperaturas de refrigeración durante su almacenamiento (Murray, 1997). Los elotes presentan una de las tasas de respiración más lenta de los productos vegetales y las condiciones de refrigeración contribuyen a que su tasa de respiración se vea reducida y con ello también cambios indeseables (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tasa de respiración del elote a diferentes temperaturas.

Temperatura		ml CO <sub>2</sub> / Kg h <sup>-1</sup>
°C	°F	
0	32	30 - 51
5	41	43 - 83
10	50	104 - 120
15	59	151 - 175
20	68	268 - 311
25	77	282 - 435

Fuente: Indicadores básicos del manejo poscosecha del maíz dulce (Trevor, 2002). Para calcular el calor producido, se multiplica mL CO<sub>2</sub> / Kg/h por 440 para obtener Btu/ton/día o por 122 para obtener Kcal/ton métrica/día.

#### *Tasa de producción de etileno*

El etileno es una hormona producida por las plantas que afecta el crecimiento, desarrollo, maduración y envejecimiento de todas las plantas. Normalmente es producido en cantidades pequeñas por la mayoría de las frutas y vegetales. Muchas frutas producen grandes cantidades de etileno y resultan en una maduración uniforme cuando son expuestas a una fuente externa de etileno.

Según Trevor (2002), la tasa de producción de etileno para elote fresco es de 0.1  $\mu\text{L Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  a 20 °C (68 °F). El etileno exógeno no se considera un factor importante en el manejo poscosecha.

### **2.3. Carbohidratos**

Los carbohidratos son moléculas compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno; sin embargo, muchos pueden contener otros elementos como nitrógeno y fósforo. Como grupo, son definidos como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas o sustancias que producen alguno de estos compuestos después de la hidrólisis. Son el constituyente bioquímico más importante en las plantas, representan el 50-80% del peso seco total.

Los carbohidratos se clasifican en base a su grado de polimerización en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los azúcares simples o monosacáridos representan el grupo más importante y no pueden degradarse en unidades de azúcar más pequeñas. Tanto la glucólisis como la vía de las pentosas son importantes en la síntesis de estas moléculas que forman estructuras de bloques para carbohidratos más complejos. Los carbohidratos simples, tales como la sacarosa y fructosa imparten atributos de calidad importantes a muchos de los productos cosechados (Kays, 1991).

Los azúcares que tienen un grupo aldehído libre o potencialmente libre son clasificados como azúcares reductores basados en su habilidad para actuar como agente reductor (aceptando electrones o donando un hidrógeno) en una solución alcalina. La mayoría de los azúcares comunes en las plantas son azúcares reductores (glucosa, fructosa, galactosa, manosa, ribosa y xilosa). La sacarosa y rafinosa son los azúcares comunes no reductores. El nivel de los azúcares reductores es importante en varios productos poscosecha en los que cuando la concentración de azúcares reductores es alta, existe una mayor incidencia de las reacciones indeseables de oscurecimiento durante el procesado. El manejo y las condiciones de almacenamiento previas al procesamiento pueden alterar significativamente el nivel de azúcares reductores en el producto, conduciendo a una menor calidad en el producto procesado (Kays, 1991).

### **2.3.1. Monosacáridos**

En muchos productos los monosacáridos comprenden una mayor porción del total de azúcares presentes. La glucosa y fructosa son los azúcares simples predominantemente encontrados, especialmente en frutas; sin embargo, la manosa, galactosa, arabinosa, xilosa y varios otros son encontrados en un amplio número de productos cosechados (Kays, 1991).

En el endospermo de los granos de elote se encuentran principalmente los monosacáridos D-fructosa y D- glucosa en proporciones iguales. Holder *et al.*, citados por Boyer y Shannon (1987) reportaron que los granos con 21 días de

desarrollo en la planta contuvieron 1.8 mg de glucosa y 1.6 mg de fructosa por grano. La más alta concentración de azúcares reductores (9.4% del grano en peso seco) fue medido en granos de 16 días y el contenido disminuyó después de este periodo.

### 2.3.2. Oligosacáridos

De acuerdo a Kays (1991), los oligosacáridos son azúcares más complejos que producen azúcares de dos a seis moléculas simples después de la hidrólisis. Tanto los monosacáridos como los oligosacáridos son solubles en agua y juntos comprenden los azúcares totales en un producto. El oligosacárido más abundante es la sacarosa, la cual es la principal forma de transporte de carbohidratos en la mayoría de las plantas.

La síntesis de este disacárido no está completamente entendida, la sacarosa fosfato-sintetasa aparenta ser la enzima predominante que, *in vivo*, cataliza la siguiente reacción reversible:



La sacarosa también puede ser sintetizada por la sacarosa sintasa. Esta reacción también es reversible; sin embargo la dirección opuesta (la hidrólisis de sacarosa) generalmente se favorece. Además, la sacarosa también puede ser hidrolizada por la enzima llamada invertasa, produciendo glucosa y fructosa.

La sacarosa es el mayor disacárido en los granos de maíz. Las concentraciones de sacarosa (en miligramos por gramo de peso seco) a los 15 -18 días después de la polinización alcanza del 4 a 8% del peso seco del grano (Creech, citado por Boyer y Shannon, 1987). El contenido de sacarosa por gramo continúa siendo relativamente alto (3 mg por endospermo) hasta acercarse a la madurez (Tsai *et al.*, citados por Franco, 1987). Los genotipos tienen efectos dramáticos sobre los niveles de sacarosa. Las variedades estándar de maíz dulce (con el gen

azucarado *su*) tienen niveles de sacarosa dos veces más altas que el maíz de campo durante el mismo periodo y las variedades extra dulces (gen *sh2*) pueden tener de tres a cuatro veces más sacarosa (Boyer y Shannon, 1982).

Junto con la sacarosa, los granos de maíz durante su desarrollo, también contienen bajos niveles de maltosa, la cual generalmente se encuentra en menos del 0.4 % de peso seco. Sin embargo, en las nuevas variedades de maíz dulce, combinación del gen azucarado con el gen elevado en azúcar (*su se*), se han reportado niveles de maltosa tan altos como el 1% (Carey *et al.*, 1984). Los genotipos *su se* también tienen elevadas concentraciones de sacarosa.

Los trisacáridos y oligosacáridos mayores son el menor constituyente del grano de maíz. Los bajos niveles del trisacárido rafinosa han sido reportados por Gentinetta y Salamini, citados por Boyer y Shannon (1987) que fueron capaces de detectar estos sacáridos en solo uno (el de mayor contenido en amilasa, *ae*) de los varios genotipos estudiados.

### **2.3.3. Almidón**

Después de la sacarosa, el almidón es el principal carbohidrato de reserva en las plantas. Hay una relación dinámica del flujo de glucósidos entre la sacarosa y el almidón, pero estando en diferentes lados de la membrana, el intercambio entre los dos no es directo e involucra la actividad de varias enzimas.

El almidón esta compuesto de una mezcla de polímeros de glucosa en forma lineal y ramificada, representa el carbohidrato de almacenamiento en la mayoría de los productos en poscosecha. Este se almacena en forma de gránulos de almidón y se encuentra en plástidos especializados llamados amiloplastos y en los cloroplastos en las hojas (Brownleader *et al.*, 1997).

El almidón esta conformado por dos tipos de moléculas: una molécula de cadena lineal, llamada amilosa, que contiene de 200 a 1000 subunidades de glucosa y la amilopectina, una molécula de cadena ramificada que es sustancialmente más larga, de 2000 a 200,000 subunidades de glucosa. La amilosa tiene moléculas individuales de glucosa enlazadas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1-4), el ángulo de

enlace favorece una estructura helicoidal de la molécula. La amilopectina posee enlaces similares  $\alpha$ -(1-4) entre las unidades de glucosa; sin embargo, cada 20 a 25 moléculas de glucosa a lo largo de la cadena hay una ramificación formada a través de un enlace glucosídico  $\alpha$ -(1-6) (Kays, 1991).

La amilosa, comprende del 25 al 30% del almidón y tiene un grado de polimerización de 100 – 1000 unidades de glucosa. En el gránulo de almidón la conformación de la amilosa es nuclear; sin embargo el radio de las cadenas de amilosa y las hélices dobles y simples pueden estar todas presentes (French, 1984). La amilopectina compone del 70 al 75 % del almidón y su estructura es compleja, las cadenas unidas por enlaces 1-4, son de dos longitudes 12- 20 y de 40 a 60 unidades de glucosa (Marshall y Whelan, 1974).

El almidón se acumula en gránulos que difieren en forma y tamaño de acuerdo a la especie de la planta. En los cloroplastos, esta estructura no está bien definida, pero presentan una forma compacta en los tejidos de almacenamiento. Las diferentes propiedades del gránulo de almidón están determinadas por la presencia relativa de la amilosa y la amilopectina, por la longitud y ramificación de las cadenas de amilosa, la longitud de las cadenas y el grado de ramificación de la amilopectina y la presencia de componentes menores como residuos de glucosilo fosforilados, iones, lípidos y algunas proteínas (Brownleader *et al.*, 1997).

Las enzimas involucradas en la síntesis y degradación del almidón a menudo se encuentran fuertemente unidas a los gránulos de almidón. El granulo de almidón, sin embargo, es relativamente resistente a la amilosis, pero tiene una alta susceptibilidad al ataque por la enzima  $\alpha$ -amilasa (Brownleader *et al.*, 1997).

La acumulación de almidón en los cloroplastos ocurre durante el periodo de la fotosíntesis. Cuando éste almacén transitorio se llena rápidamente, una gran porción de carbonos fotoasimilados fluyen fuera del plástido hacia un incremento en la síntesis de sacarosa. Durante la fase oscura, el almidón del cloroplasto es rápidamente hidrolizado y sus productos son exportados al citoplasma donde una mayor porción de ellos son convertidos en sacarosa. Generalmente todo el tiempo

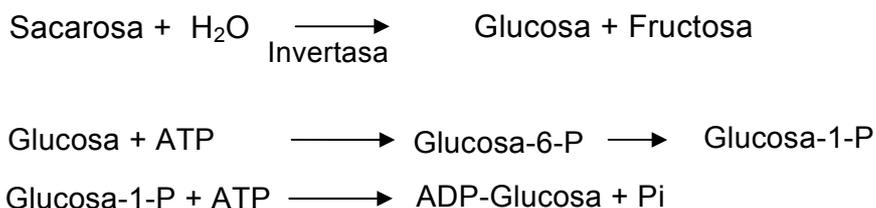
existe un flujo activo con intercambio de carbonos entre el almidón y la sacarosa. En los amiloplastos de los tejidos de reserva no fotosintéticos, como en las semillas de los tubérculos y raíces, el almidón tiene una baja tasa de movilidad, este se acumula y se almacena por largos periodos, entonces es rápidamente movilizado y metabolizado cuando se inicia el nuevo crecimiento (Brownleader *et al.*, 1997).

### *Biosíntesis de almidón*

Las reacciones enzimáticas que conducen desde ADP-glucosa hasta la producción de almidón son similares tanto en cloroplastos como en amiloplastos (Nelson y Pan, 1995). Aunque el almidón es una estructura relativamente simple, los mecanismos que regulan su síntesis y la incorporación simultánea de estas moléculas dentro del crecimiento del granulo de almidón no han sido adecuadamente explicadas. A continuación se indica en forma resumida las reacciones involucradas en la síntesis de almidón.

La síntesis probablemente inicia con la sacarosa, el principal medio de transporte de carbono, que es convertido al nucleótido difosfato-glucosa. La sacarosa puede ser convertida a ADP-glucosa directamente por la sacarosa sintasa o indirectamente a través de la acción de la invertasa (Kays, 1991).

#### a. Formación de ADP-glucosa desde la sacarosa

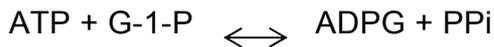


Subsecuentemente la polimerización es llevada a cabo por la enzima almidón sintetasa, la cual requiere que exista una primera molécula de glucano  $\alpha$ -(1-4), de al menos dos residuos de glucosa. Existen varias formas de almidón sintetasa (por

ejemplo ADP-glucosa y UDP-glucosa transglucosidasa) que cataliza la adición de glucosa desde los nucleótidos ADP o UDP-glucosa.

b. La polimerización del almidón comprende cuatro reacciones enzimáticas:

Reacción 1. ADPG pirofosforilasa



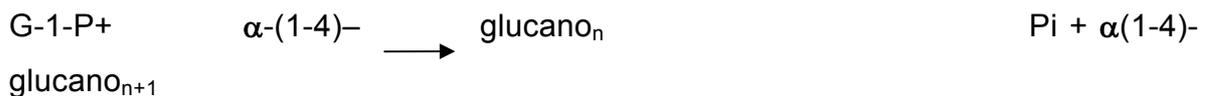
Reacción 2. Síntesis de almidón



Reacción 3. Enzima ramificante de almidón



Reacción 4. Almidón fosforilasa



**Donde:**

ADP: Adenosin difosfato  
 ADPG: Adenosin difosfato glucosa  
 ATP: Adenosin trifosfato  
 G-1-P: Glucosa-1-fosfato  
 PPi: Pirofosfato inorgánico  
 Pi: Fósforo inorgánico

En la reacción 1 se produce el sustrato ADPG, para la síntesis de almidón y las reacciones 2- 4 producen los polímeros de almidón: amilosa y amilopectina. La polimerización de las cadenas  $\alpha\text{-(1-4)-glucano}$  son catalizadas con la síntesis de almidón (reacción 2) o almidón fosforilasa (reacción 4). Basado en el compartimiento metabólico, la concentración y el conocimiento de la cinética enzimática, parece improbable que la fosforilasa (reacción 4) esté activa en la síntesis de almidón en el endospermo del maíz (Liu y Shannon, 1981).

El adenosin difosfoglucosa pirofosforilasa (reacción 1) es una enzima alostérica que provee el sustrato, ADPG, para la síntesis de almidón. La actividad del ADPG

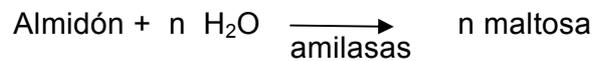
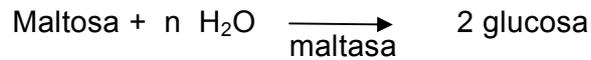
pirofosforilasa en las plantas superiores es inhibida por fosfato inorgánico y es activada grandemente por el 3-fosfoglicerato y en un menor grado por el intermediario glucolítico fosfoenolpiruvato, fructosa bifosfato y fructosa-6-P (Preiss *et al.*, citados por Boyer y Shannon, 1987).

La almidón sintetasa (reacción 2) transfiere la glucosa del ADPG al extremo no reductor de una cadena creciente de  $\alpha$ -(1-4)-glucano a través de un enlace (1-4). Esta enzima se encuentra en dos formas físicas distintas, una soluble y la otra herméticamente al límite de crecimiento del granulo de almidón. La actividad de la enzima soluble tiene un estricto requerimiento de ADPG (Tsai, citado por Boyer y Shannon, 1987). El compuesto uridindifosfoglucosa (UDPG), igual que el ADPG, puede servir como sustrato para la síntesis de almidón en el granulo, pero el ADPG pareciera ser el sustrato preferido (Recondo y Leloir, citados por Boyer y Shannon, 1987).

La enzima ramificante de almidón (reacción 3) cataliza la formación de puntos de enlace en la amilopectina. La reacción ocurre por la ruptura de un enlace  $\alpha$ -(1-4) y la transferencia del  $\alpha$ -(1-4)-glucano resultante a la misma o a una diferente cadena a través de la formación de un enlace (1-6) (Drummond *et al.*, citados por Boyer y Shannon, 1987).

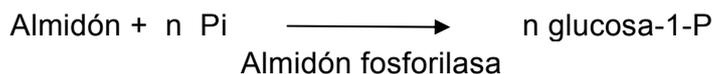
### *Hidrólisis del almidón*

Kays (1991) menciona que el almidón puede ser convertido de nuevo a glucosa por al menos tres diferentes enzimas:  $\alpha$ -amilosa,  $\beta$ -amilosa y almidón-fosforilasa. Las amilosas hidrolizan en almidón en segmentos de dos glucosas (maltosa) que son entonces hidrolizados por la enzima maltasa:



Las  $\alpha$ -amilasas rápidamente hidrolizan los enlaces  $\alpha$ -(1-4) de la amilosa en puntos al azar de la cadena, formando fragmentos de aproximadamente 10 subunidades de glucosa llamadas maltodextrinas. Estas son más lentamente hidrolizadas a maltosa por la enzima maltasa. La  $\alpha$ -amilasa también ataca los enlaces  $\alpha$ -(1-4) de la amilopectina; sin embargo, en los puntos de ramificación  $\alpha$ -(1-6) es inactiva, dejando lo que llaman dextrinas limitantes (>3 unidades glucosa). La  $\beta$ -amilosa remueve las unidades de maltosa desde el extremo no reductor de la cadena de almidón e hidroliza en el punto de enlace  $\alpha$ -(1-6). Esta reacción produce maltosa y dextrinas limitantes.

El almidón fosforilasa también ataca enlaces  $\alpha$ -(1-4), pero forma glucosa-1-fosfato, contrario a los que ocurre en las reacciones de hidrólisis de las amilasas donde una molécula de agua es incorporada por cada enlace que se rompe, la enzima fosforilasa incorpora un fosfato.



Los productos de la degradación del almidón, como la maltosa, glucosa y glucosa-1-fosfato, son transportados de regreso al citoplasma y muchos de ellos reincorporados como sacarosa (Dey, 1990).

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general**

Analizar los carbohidratos, el color y la textura en elotes de maíces de color en relación con el estado de madurez de los granos.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los cambios en el contenido de azúcares reductores, totales y almidón en relación al estado de madurez de elotes de maíces de color.
- Identificar los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , cromaticidad y ángulo de matiz) mas adecuados para evaluar el estado de madurez en grano de elotes de maíces de color.
- Evaluar parámetros de textura en relación con el estado de madurez en elotes de maíces de color.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La producción nacional de maíz destinada para su comercialización como elote se incrementó en un 140% (de 192 540 ton en 1997 a 461 698 ton en el 2001) (SAGARPA, 1997, 2001), lo cual indica un incremento creciente de las preferencias del consumidor hacia este producto. En el año 2001, el precio medio rural del maíz a nivel nacional fue de \$1 198 / ton, mientras que para el elote en ese mismo año fue de \$1 064 (SAGARPA, 1997, 2001); el rendimiento del maíz fue de 5.76 ton/ha mientras que el de elote fue de 12.54 ton/ha, lo que sugiere que la venta de elote trae consigo mayor rendimiento y por lo tanto mayores beneficios para el productor.

Suslow y Cantwell (2003) señalan que las expectativas de poscosecha de maíz dulce han cambiado dramáticamente ante la mayor disponibilidad y popularidad de variedades super dulces basadas en el gen de encogimiento (*shruken -2*, *sh-2*) y en otras mutaciones naturales que fomentan la dulzura. Aunque no están relacionadas con el dulzor, las percepciones y preferencias regionales del consumidor por el color del grano han llevado a un cambio significativo desde el maíz amarillo tradicional hasta el blanco y bicolor, lo cual muestra de manera clara la necesidad de aportar conocimiento para el mejor manejo del elote de maíz pigmentado. Es importante señalar que otros países como China, están desarrollando esfuerzos por potenciar el uso de estos maíces en productos congelados y enlatados (Gao, 2000) y por supuesto México debe aportar datos de las razas con las que cuenta.

Este estudio servirá para evaluar el potencial de los elotes de maíces pigmentados para ser comercializados como elote, lo cual traerá mayores beneficios para los productores de esta zona. Además de establecer un índice de madurez adecuado para los elotes de maíces rojo, azul y blanco.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Material Biológico

Elotes de maíz de color azul, rojo y blanco fueron cosechados en Acaxochitlán, Hidalgo en estado de madurez comercial, se trasladaron a los laboratorios del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICyTA) del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Los elotes fueron almacenados a temperatura de refrigeración (4-6 °C) durante 24 h para disminuir el calor de campo. Después de este tiempo fueron deshojados y se clasificaron de acuerdo al tamaño, color del grano y cantidad de líquido al enterrar la uña en cuatro estados de madurez, siendo el estado 1 el más lechoso o inmaduro y 4 el menos lechoso o de mayor madurez. Se tomaron cinco elotes de cada color a los cuales se les determinó el color y textura.

Posteriormente, cada elote fue dividido en tres porciones iguales tomando la parte central para ser desgranada manualmente con un cuchillo. Una porción de los granos se utilizó para evaluar el % de sólidos solubles totales (°Brix) y humedad. El resto de los granos se colocaron en bolsas de polietileno y almacenaron en un ultracongelador REVCO a temperatura de -80 °C.

Se pesaron 20 g de tejido fresco y fueron liofilizados en una liofilizadora marca LABCONCO, Freezone 6 con un vacío de  $133 \times 10^{-3}$  mbar hasta una humedad aproximada al 13%. En el tejido liofilizado se analizó el contenido de azúcares totales, azúcares reductores y contenido de almidón.

### 5.2. Métodos

#### 5.2.1. Color

El color en los elotes se determinó a través de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , cromaticidad  $C$  y ángulo de matiz  $h^\circ$  utilizando un colorímetro Minolta modelo 508d, con iluminante C y observador a  $10^\circ$ . En el espacio de color CIELAB, el coeficiente de luminosidad  $L$ , tiene un intervalo de negro= 0 a blanco =100. Las coordenadas ( $a^*$  y  $b^*$ ) localizan el color sobre una coordenada rectangular

perpendicular a  $L^*$ . El color en el origen ( $a^*=0$ ,  $b^*=0$ ) es acromático o gris. Sobre el eje horizontal  $X$ ,  $a^*$  positivo indica las tonalidades de rojo y  $a^*$  negativo las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical,  $b^*$  positivo indica color amarillo y  $b^*$  negativo, color azul (Mc Guire, 1992).

### 5.2.2 Textura

Los elotes de maíces de color se colocaron en el analizador de textura o texturómetro (Stable Micro Sistemas, UK). Las condiciones bajo las que operó el equipo fueron: una velocidad de pre-ensayo de  $2 \text{ mm s}^{-1}$ , velocidad de ensayo de  $1 \text{ mm s}^{-1}$ , velocidad de pos-ensayo de  $2 \text{ mm s}^{-1}$ , una distancia de 10 mm, tiempo de 5 s y una celda de carga de 50 Kg. Se calculó la dureza (fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares), fracturabilidad (pico máximo de fuerza para que un material se fracture) y resiliencia (relación del área de descompresión del primer ciclo sobre el área de compresión del mismo) (Friedman *et al.*, citados por Rosenthal, 1999).

### 5.2.3. Sólidos solubles totales (°Brix)

En un machacador manual de alimentos, una porción de los granos de cada elote fue presionada. A partir del jugo obtenido se tomó una alícuota que fue colocada en un refractómetro digital marca ATAGO previamente calibrado con agua destilada a temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 5.2.4. Humedad

Los granos congelados a  $-18^\circ\text{C}$  fueron triturados manualmente con un pistilo en un mortero de porcelana y se tomó una muestra de 0.5 g, así como 0.2 g de grano liofilizado y triturado y se colocó en charolas de aluminio a peso constante para ser secados a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 hrs. Después de éste tiempo, se pesaron las charolas para obtener el porcentaje de humedad de cada muestra (AOAC, 1990).

### 5.2.5. Azúcares reductores

Se pesaron 0.025 g de muestra liofilizada y se colocaron en un tubo de 15 ml, se adicionó 7.5 ml de etanol al 50%. Fue mezclado e incubado a una temperatura de 80°C por 5 minutos. Se centrifugó (Hermle Labortechnik) a 1000 rpm durante 10 minutos. Se conservó el sobrenadante. Se le agregaron 10 ml de etanol al 80% para nuevamente centrifugar y almacenar el sobrenadante. Esta operación se realizó dos veces. La suma de los sobrenadantes, llamada también solución madre, fue empleada en la cuantificación de azúcares totales y reductores. El precipitado o pelet obtenido se utilizó para la determinación de almidón. La determinación de azúcares reductores se realizó tomando como referencia el método colorimétrico propuesto por Nelson (1944). Los reactivos se prepararon como sigue:

#### Reactivo de Nelson (solución I)

En 800 ml de agua destilada se disolvieron poco a poco 25 g de carbonato de sodio anhídrido ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Se agregaron 25 g de tartrato de sodio y potasio, 20 g de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y 20 g de sulfato de sodio anhídrido ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y se almacenó a temperatura ambiente.

#### Reactivo de Cobre (solución II)

En 100 ml de agua destilada se disolvieron 15 g de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) y 1 a 2 gotas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado.

#### Reactivo de arsenomolibdato

Fueron disueltos 25 g de molibdato de amonio en 450 ml de agua destilada, más 21 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado. Por separado se disolvieron 3 g de Arseniato de sodio en 25 ml de agua destilada. Se mezclaron, obteniéndose una solución de coloración amarilla, óptima para su utilización. Las soluciones de coloración verde fueron desechadas. Se almacenó en un frasco color ámbar a 37 °C durante 24- 48 h. Después de éste tiempo se utilizó esta solución para los análisis.

En la determinación, se tomo 1 ml de la solución madre y se colocó en tubos de ensayo por triplicado, se le agregó a cada tubo 1 ml de reactivo de cobre (preparado con la solución I y solución II en relación 4:1), se calentó a 85 °C en un baño maría por 10 min., se dejó enfriar y se agregó a cada tubo 1 ml de arsenomolibdato, se agitó en un vortex a 1800 rpm, se dejó reposar 30 min. en la oscuridad y enseguida se tomó la absorbancia de cada una de las muestras a 565 nm en el espectrofotómetro (Marca Varian Mod. Cary 100). Para el blanco se utilizó 1 ml de agua destilada y se le dio el mismo manejo que a las muestras.

Para la cuantificación se realizó una curva estándar con glucosa. Se pesaron 15 mg de glucosa y se aforó a 100 ml con agua destilada, de ésta solución se tomaron 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 ml que se llevaron a 1 ml con agua destilada y se le agregaron los reactivos como a las muestras. La cuantificación de azúcares reductores se realizó en base a la ecuación obtenida en la curva estándar (Figura A1).

#### 5.2.6. Azúcares totales

Para la cuantificación de los azúcares totales se tomó como referencia el método de Fenol sulfúrico propuesto por Witham *et al.* (1971). Se colocó 1 ml de la solución madre en tubos de ensaye por triplicado. A cada uno de estos se le agregaron 100 ml de Fenol al 80% y 5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Se mezcló en un vórtex y fueron incubados en un baño de agua a 30 °C por 20 min. Se tomó la absorbancia a 490 nm en un espectrofotómetro Marca Varian Mod. Cary 100 utilizando celdas de cuarzo. Para el blanco se colocó 1 ml de agua destilada y se siguió con el mismo procedimiento que para las muestras.

Para la curva estándar se pesaron 0.025 g de glucosa y se aforó a 100 ml con agua destilada. De esta solución se tomaron 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 ml que se llevaron a 1 ml con agua destilada. Se le adicionó el fenol y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de la misma forma que se trataron las muestras. La cuantificación de azúcares totales se realizó en base a la ecuación obtenida en la curva estándar (Figura A2).

### 5.2.7. Almidón

La extracción de almidón se realizó tomando como referencia el método propuesto por Ortega y Rodríguez (1979). Al precipitado o pellet obtenido en la preparación de la solución madre, se le adicionaron 0.1 ml de etanol al 80%, 3 ml de agua destilada y 1.5 ml de diastasa al 1% (Merck). Se calentaron a 80 °C por 90 minutos agitando constantemente. Se dejaron enfriar y se realizó la prueba de yodo para comprobar la ausencia de almidón. La prueba de yodo se realizó colocando una gota de éste a una gota de muestra obteniéndose una coloración oscura. Cuando ésta fue positiva se continuó con la incubación hasta la obtención de un resultado negativo, indicando la ausencia de almidón. Se aforó cada uno de los tubos a un volumen de 10 ml y preparó a partir de ésta una dilución 1:50 con agua destilada. De esta última se tomó 1 ml para determinar la concentración de azúcares (expresados como glucosa) liberados por la hidrólisis de almidón por el método de Fenol sulfúrico propuesto por Witham *et al.* (1971) como se indicó en el apartado 5.2.6.

### 5.3. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se consideraron como factores el color del elote (azul, rojo y blanco) y el estado de madurez (1, 2, 3 y 4). Las variables de respuesta fueron los parámetros de color (L, a\*, b\*, C y h°), parámetros de textura (fracturabilidad, dureza y resiliencia), el % de Sólidos solubles totales (° Brix), % de humedad y el contenido de azúcares reductores, totales y almidón.

El análisis estadístico se realizó por un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los datos se analizaron mediante el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, 1997) versión 6.12. Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Color

Los cambios ocurridos en la coloración del grano durante su maduración se deben a la presencia de las antocianinas. Estas se encuentran localizadas en el pericarpio y la capa aleurona del grano y su contenido se ve afectado durante la maduración, por lo que el color del grano es comúnmente utilizado como un indicador de madurez al momento de la cosecha (Salinas *et al.*, 1999).

Al evaluar los diferentes parámetros de color en los elotes de maíces de color azul y blanco no fue posible detectar diferencias significativas (Cuadros A1 y A3). Esto pudo deberse a que la medición se hizo sobre las mazorcas de los elotes y la existencia de los surcos entre las hileras de los granos que no permitió detectar las diferencias en el color que simple vista fueron evidentes como se muestra en la figura 1. En esta figura se muestran elotes de maíces de color azul en sus cuatro diferentes estados de madurez, notándose que el color incrementa conforme se desarrolla la madurez del grano, pasando de coloraciones blanca-azuladas hasta un azul más intenso.



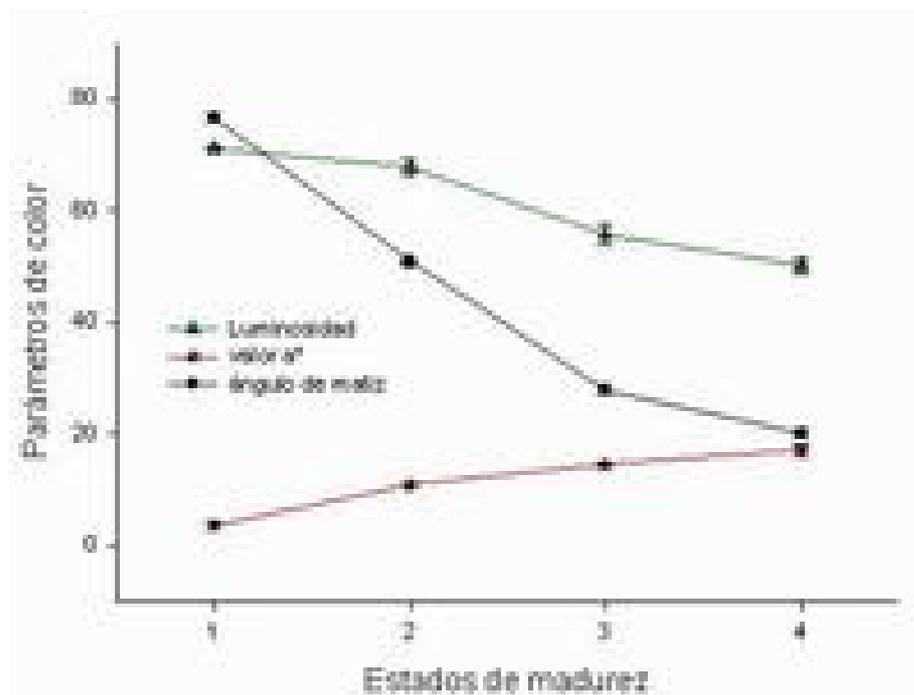
**Figura 1.** Cambios en el color de los elotes de maíz azul respecto a su madurez.

En el elote de maíz blanco, el parámetro que se consideraba tendría mayores cambios era la luminosidad, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en este parámetro. En cambio, en los elotes de maíces rojos ocurrió un incremento en el color, al tiempo que se va desarrollando la madurez, tal como se observa en la figura 2. En estos elotes, el estado de madurez fue significativo en los parámetros L, a\*, b\* y h° (Cuadro A3).



**Figura 2.** Cambios en el color de los elotes de maíz rojo conforme a la madurez.

En la figura 3 se muestra que en los elotes de maíces de color rojo la luminosidad descendió de 71.08 en el estado 1, hasta 50.10 en el estado 4. Estos valores son superiores a los obtenidos por Salinas *et al.* (1999), que obtuvieron valores de luminosidad de 41.0 y 24.6 (como las muestras de mayor y menor luminosidad, respectivamente) en maíces rojos provenientes del estado de Oaxaca, comparados contra los provenientes de los estados de Puebla, México y Chihuahua cuyos valores fueron de 30.5 y 37.4; 35.4 y 38.5, respectivamente. Esto podría deberse a una pigmentación no homogénea en el grano, detectándose porciones blancas al evaluar su coloración.



**Figura 3.** Comportamiento de la luminosidad, ángulo de matiz y del valor a\* en elotes de maíces rojos. Cada punto representa el valor de la media.

## 6.2. Textura

A través de un perfil de textura se determinó la fracturabilidad, dureza y resiliencia. En este análisis, independientemente del estado de madurez, fue el elote de maíz rojo el que requirió de una fuerza superior para fracturar el grano (2.537 N), respecto a los elotes de maíz blanco y azul, a la vez que éste último presentó una mayor resiliencia y dureza en el grano (Cuadro 2).

No se encontraron reportes de textura en granos frescos, mas bien los estudios en este aspecto se refieren a los cambios durante el almacenamiento. Deak *et al.* (1987) hicieron mención que la calidad en la textura del maíz dulce esta afectada por el tiempo y temperatura de almacenamiento, así como el tipo de empaque. La energía de ruptura requerida se vio incrementada por estos factores en las pruebas que desarrollaron con maíz dulce blanco y amarillo no empacado,

respecto al maíz dulce empacado con películas plásticas. Ambos almacenados por 0, 2, 5 y 8 días a temperaturas de 10 y 20 °C

**Cuadro 2.** Fracturabilidad, dureza y resiliencia de los granos de elotes de maíces de color.

Color del elote de maíz	Fracturabilidad (N)	Dureza (N)	Resiliencia (adimensional)
Azul	1.5618 <b>b</b> <sup>z</sup>	0.000345 <b>a</b>	0.000532 <b>a</b>
Rojo	2.5375 <b>a</b>	0.000311 <b>a</b>	0.000185 <b>b</b>
Blanco	1.5590 <b>b</b>	0.000329 <b>a</b>	0.000196 <b>b</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Así como en el trabajo desarrollado por Risse y McDonald (1990) en maíz superdulce que fue desgranado, empacado y almacenado dentro de las primeras cuatro horas de la cosecha, sin preenfriamiento. El almacenamiento fue a 1, 4 y 10 °C  $\pm$  0.5 °C, por 7, 14 y 21 días a 85 %  $\pm$ 5% de humedad relativa, obteniéndose que la calidad en la textura de los granos generalmente disminuyó con el incremento en el tiempo y temperatura de almacenamiento, como se indicó con una mayor fuerza requerida para penetrar el grano. Después de 7 días de almacenamiento se requirió de ligeramente más fuerza para romper los granos inicialmente almacenados a 10 °C que los de 1 ó 4 °C de almacenamiento. Sin embargo el tipo de empaque no influyo en la calidad de la textura.

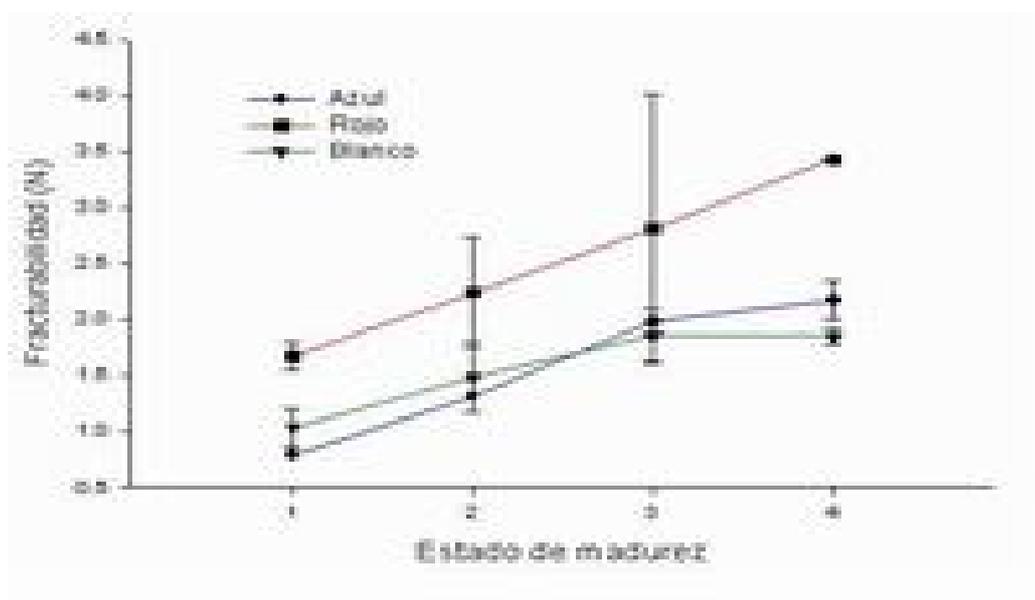
Conforme avanza la madurez del elote, se ve incrementada la fuerza necesaria para fracturar el grano de 1.1658 a 2.484 N en los estados de madurez 1 y 4, respectivamente. En cuanto a la dureza solo se observaron diferencias entre los estados de madurez 1, en relación a los estados 2, 3 y 4. Por el contrario la resiliencia del grano disminuyó de 0.00067 a 0.00017 N (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Fracturabilidad, dureza y resiliencia de los granos de elotes de color en diferentes estados de madurez.

Estado de madurez	Fracturabilidad (N)	Dureza (N)	Resiliencia (adimensional)
1	1.1658 <b>c<sup>z</sup></b>	0.000279 <b>b</b>	0.000670 <b>a</b>
2	1.6792 <b>b</b>	0.000322 <b>ab</b>	0.000192 <b>b</b>
3	2.2151 <b>a</b>	0.000368 <b>a</b>	0.000181 <b>b</b>
4	2.4843 <b>a</b>	0.000345 <b>ab</b>	0.000175 <b>b</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

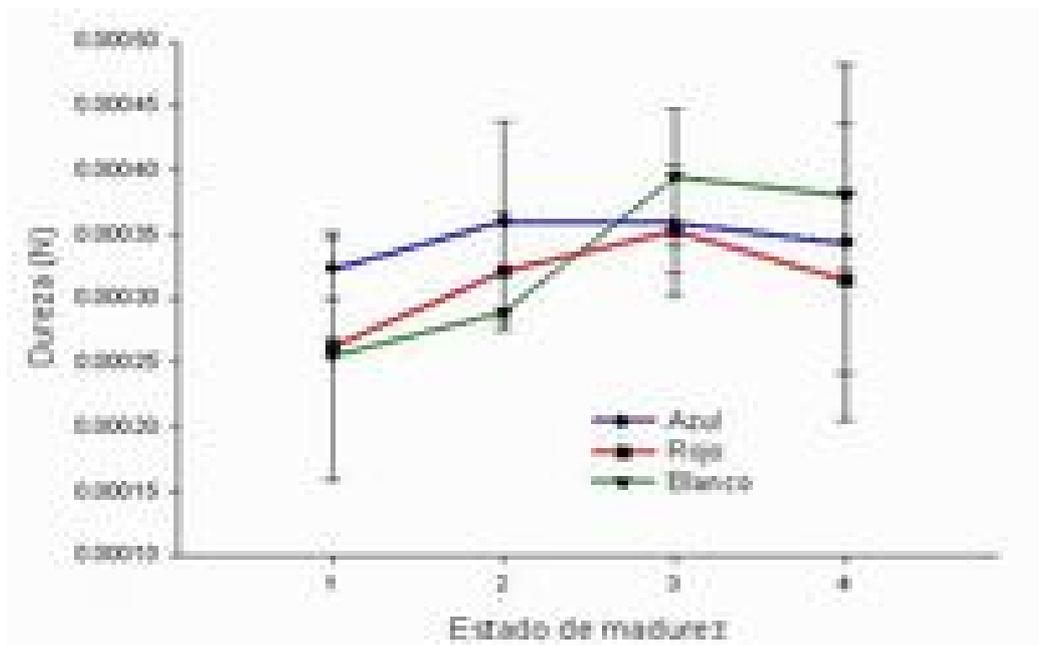
En la figura 4 se muestra que la fuerza requerida para romper el grano es mayor al incrementar el estado de madurez. En el elote de maíz rojo, la fuerza es superior a la requerida por los elotes de maíz azul y blanco en los cuatro estados de madurez.



**Figura 4.** Cambios en la fuerza requerida para fracturar el grano de los elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez. Cada valor representa la media del tratamiento  $\pm$  desviación estándar.

Este comportamiento indica que no es aceptable su comercialización como elote a partir del tercer grado de madurez, debido a que requiere de una mayor fuerza para romper el grano al momento del consumo. Mientras que en el elote de maíz blanco y azul la fuerza necesaria para fracturar el grano permanece constante desde el tercer estado de madurez, considerándose ampliamente comercial.

En el trabajo reportado por Cartaya *et al.* (1991) se menciona que a medida que progresa el estado de madurez, se necesita de una mayor fuerza para romper los granos de maíces dulces de las variedades *pijamaca* y *riqueza*. Es decir, la dureza aumenta con el proceso de maduración. Para la variedad *pijamaca*, la dureza varía de 0.15 a 0.40 N en los días 16 y 28, después de la polinización y para la variedad *Riqueza* la dureza varía de 0.17 a 5.6 N, en los mismos periodos, estos resultados no corresponden a los encontrados en este estudio, lo cual puede ser atribuido a la amplia variación de los datos (figura 5).



**Figura 5.** Cambios en la dureza de los granos de elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez. Cada valor representa la media del tratamiento  $\pm$  la desviación estándar.

El color y el estado de madurez no mostraron tener influencia en la dureza de los granos (Cuadro A4 y A5). Mientras que en la resiliencia, si presentó diferencias respecto al estado de madurez (Cuadro A4).

### 6.3. Sólidos solubles totales (°Brix)

En el análisis estadístico, tanto por el color como por la madurez, existieron diferencias significativas (Cuadro A4) en el contenido de sólidos solubles totales. De acuerdo al color, el elote de maíz blanco posee una mayor cantidad de sólidos solubles, respecto a los elotes de maíz rojo y azul (Cuadro 4). De acuerdo a los estados de madurez, solo se observa diferencia significativa entre el 1, 2 y 3 estado de madurez en relación al 4 (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Contenido de sólidos solubles (°Brix) en los diferentes elotes de maíces de color

Color del elote de maíz	Sólidos solubles totales (°Brix)
Azul	9.7919 <sup>b</sup>
Rojo	9.8406 <sup>b</sup>
Blanco	10.3543 <sup>a</sup>

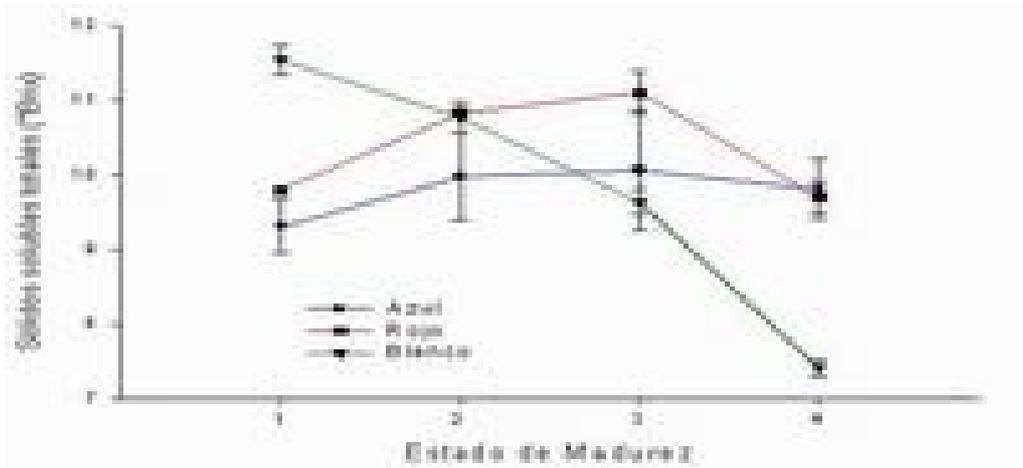
<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

**Cuadro 5.** Contenido de sólidos solubles (°Brix) de los elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez.

Estado de Madurez	Sólidos solubles totales (°Brix)
1	10.2192 <sup>a</sup>
2	10.5226 <sup>a</sup>
3	10.2566 <sup>a</sup>
4	8.9767 <sup>b</sup>

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Los elotes de maíces blancos presentaron en el estado de madurez inicial, un contenido en sólidos solubles superior al de los otros dos colores, descendiendo hasta un valor inferior a los mínimos obtenidos por los elotes de maíces rojo y azul. Por el contrario, los elotes de maíces rojo y azul mostraron un porcentaje de sólidos solubles totales similar relativa en los cuatro estados de madurez (Figura 6).



**Figura 6.** Cambios en el contenido de sólidos solubles (°Brix) en los elotes de maíces de color. Cada valor representa la media del tratamiento  $\pm$  la desviación estándar.

Los resultados obtenidos muestran que el porcentaje de sólidos solubles no es un parámetro adecuado para evaluar el estado de madurez en los elotes de maíces rojo y azul, y el comportamiento presentado por el elote de maíz blanco confirma que conforme se desarrolla la madurez del grano, el contenido de los azúcares disminuyen por su conversión de estructuras más complejas, principalmente almidón.

#### 6.4 Humedad

Independientemente del estado de madurez, el contenido de humedad (%) en el elote de maíz blanco es superior al elote de maíz rojo, pero muy similar al elote de maíz azul (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Contenido de humedad (%) de los elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez

Color del elote de maíz	Contenido de humedad (%)
Azul	64.8133 <b>a</b> <sup>z</sup>
Rojo	56.5500 <b>b</b>
Blanco	66.7272 <b>a</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Conforme aumenta el grado de madurez, el contenido de humedad se reduce del 74.55 %, en el estado 1, hasta un valor de 55.11% correspondiente al estado de madurez 4 (Cuadro 7), existiendo diferencia significativa entre los cuatro estados de madurez.

**Cuadro 7.** Contenido de humedad (%) de los elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez.

Estado de madurez	Humedad (%)
1	74.5587 <b>a</b> <sup>z</sup>
2	61.9956 <b>b</b>
3	59.1193 <b>c</b>
4	55.1138 <b>d</b>

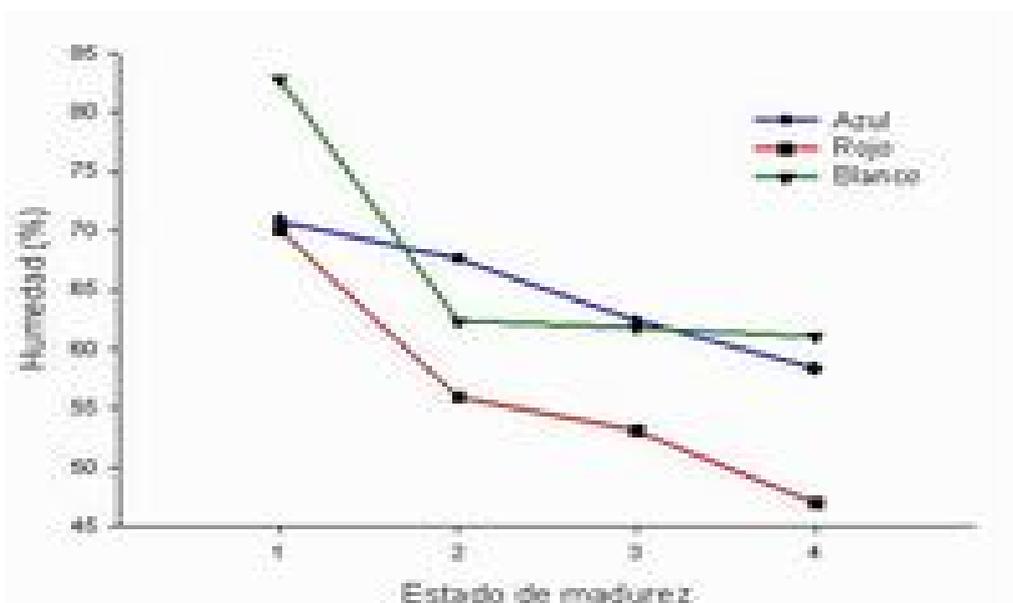
<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Estos datos no coinciden con los obtenidos por Miyaniishi *et al.* (1991), quienes encontraron un lento descenso en el contenido de humedad en los granos del maíz dulce *delicious bantam -90* durante la maduración, siendo el valor óptimo de 73.77%. González *et al.* (1976) reportaron un contenido de humedad de 58% en la variedad Illinois 677<sup>a</sup> a los 45 días después de la polinización. Esta diferencia en

los resultados puede deberse a que los elotes de las referencias fueron genéticamente modificados con el fin de disminuir la conversión de azúcares en almidón.

El elote de maíz rojo resultó ser estadísticamente diferente a los elotes de maíz blanco y azul en el transcurso de la madurez, excepto en el estado inicial donde el elote de maíz de color blanco fue diferente a los elotes de maíz color rojo y azul. Tanto en el estado de madurez, como por el color del elote, existen diferencias significativas (Cuadro A4 y A5).

En la figura 7 se muestra que en elotes de los tres colores se presentó un descenso en el contenido de humedad.



**Figura 7.** Cambios en el contenido de humedad de los elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez. Cada valor representa la media del tratamiento.

El descenso en el contenido de humedad es más notable en elote de maíz rojo, seguido del azul, cuyo valor final fue superior al contenido de humedad en elote de maíz rojo en el mismo estado, pero inferior al elote de maíz blanco que permanece constante a partir del segundo estado de madurez. Esta tendencia fue también observada por Olsen *et al.* (1990) quienes indicaron un descenso aproximado del

72 al 66% de humedad en variedades *Aussie gold 12* y *Rosella 425* que fueron empacados y almacenados a una temperatura de 18 °C.

### 6.5. Azúcares reductores

Independientemente del estado de madurez, la presencia de azúcares reductores fue mayor en elotes de maíces de color blanco y azul, mostrando diferencia significativa con respecto a los elotes de maíces rojos (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Contenido de azúcares reductores en los elotes de maíces de color.

Color del elote de maíz	Azúcares reductores (g g <sup>-1</sup> p.s.)
Azul	0.060217 <b>ab</b> <sup>z</sup>
Rojo	0.056650 <b>b</b>
Blanco	0.078342 <b>a</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Los valores aquí reportados son inferiores a los obtenidos por Miyanishi *et al.* (1991) quienes determinaron un contenido de azúcares libres en el estado óptimo de la maduración de 0.283 g g<sup>-1</sup> p.s. en variedades de maíz dulce *delicious bantam -90*. Al igual que Bebic y Radosavlkevi (1985) que determinaron un contenido mínimo de 0.2854 y 0.4376 g g<sup>-1</sup> de fructosa y glucosa, respectivamente, en base al peso seco en híbridos de maíz dulce.

Independientemente del color, el contenido de azúcares reductores sólo mostró diferencia significativa entre los estados de madurez 1 y los 3 restantes (Cuadro 9), observando un rápido descenso del estado de madurez 1 al estado de madurez 2 de 0.1040 a 0.065 g g<sup>-1</sup>.

**Cuadro 9.** Cambios en el contenido de azúcares reductores en los diferentes estados de madurez de los elotes de maíces de color.

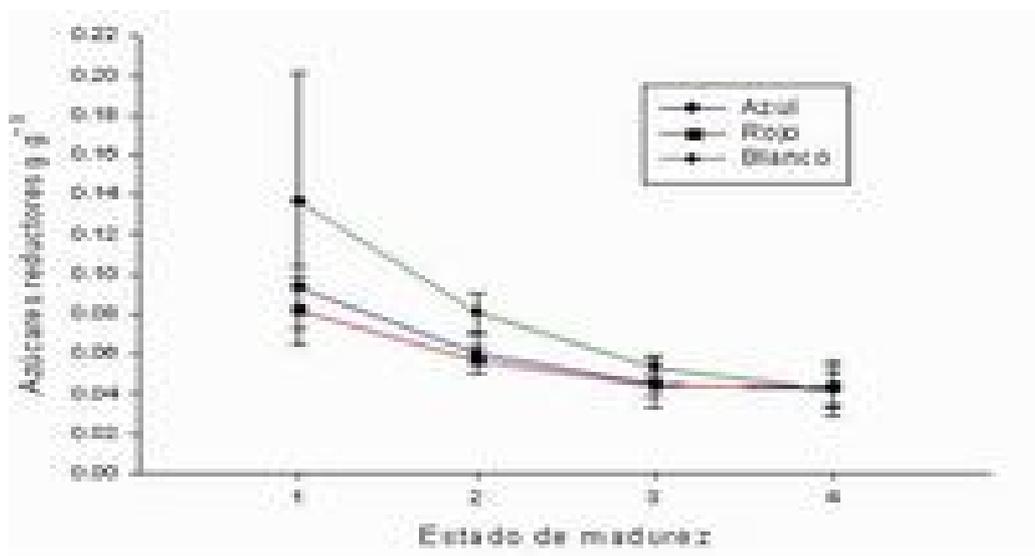
Estado de Madurez	Azúcares reductores (g g <sup>-1</sup> p.s.)
1	0.104067 <b>a<sup>z</sup></b>
2	0.065789 <b>b</b>
3	0.047656 <b>b</b>
4	0.042767 <b>b</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Existen diversos reportes que indican la disminución de los azúcares reductores durante la maduración de los elotes. Miyanishi *et al.* (1991) demostraron una rápida disminución de los azúcares libres (sacarosa, glucosa y fructosa) en el grano de maíces dulces *Golden Earlipak* con el desarrollo de la maduración. Ferguson *et al.* (1979), por su parte, también indicaron que a partir de los 19 días pospolinización los azúcares reductores disminuyeron en variedades de maíz dulce *Illinois 677<sup>a</sup>* y *Silver Queen*, siendo el nivel de glucosa inicialmente 3 a 4 veces mas alto en *Silver Queen* que en *Illinois 677<sup>a</sup>*, pero disminuyó más rápidamente en el estado de madurez “seco”. Pajic *et al.* (1992) indicaron diferencias significativas en el contenido de azúcares reductores en elotes en diferentes estados de madurez, expresados como 10, 15, 20, 25 y 30 días después de la polinización, encontrándose un contenido alto de glucosa y fructosa en las fases iniciales que con la madurez disminuyeron. Además, Creech, citado por Cartaya *et al.* (1991), trabajando con los genotipos de *su* y *su<sub>2</sub>*, encontró que entre los 16 y 28 días después de la aparición de las sedas, los azúcares reductores disminuyeron a 3.9% y 1.4%, respectivamente.

Los diferentes elotes de maíces de color presentaron una tendencia descendente en el contenido de azúcares reductores, aún cuando el contenido inicial fue mayor

en los elotes de maíces blancos, en el último estado de madurez fue similar en los tres colores (figura 8).



**Figura 8.** Cambios en el contenido de azúcares reductores de los elotes de maíces de color en los diferentes estados de madurez. Cada valor representa la media del tratamiento  $\pm$  la desviación estándar.

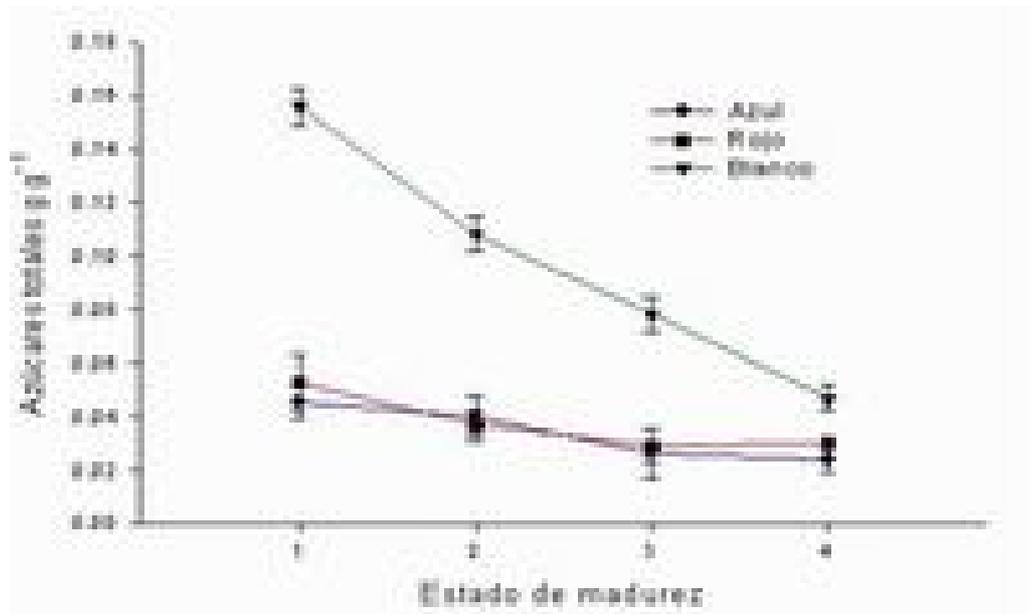
### 6.6. Azúcares totales

De acuerdo al análisis estadístico ( $P \leq 0.05$ ) el estado de madurez y el color del elote son altamente significativos en el contenido de azúcares totales (Cuadro A4 y A5). En la Figura 9 se muestra el comportamiento de elotes de maíces de color en diferentes estados de madurez; el elote de maíz blanco presenta el mayor contenido de azúcares totales en los 4 estados de madurez, mientras que los niveles en los elotes de color rojo y azul no sobrepasan los  $0.06 \text{ g g}^{-1}$ .

El mayor decremento de los azúcares totales se observó en el elote de maíz blanco, que en el estado de madurez 1 se obtuvo un valor de  $0.155 \text{ g g}^{-1}$  y en el estado 4 fue de  $0.04 \text{ g g}^{-1}$ .

Estos resultados son acorde a lo obtenido por Miyanishi *et al.* (1991) donde el contenido de azúcares en la madurez óptima de los granos de variedades *golden earlipak* de maíz dulce fue de  $0.150\text{-}0.250 \text{ g g}^{-1}$  y los valores disminuyeron con la

maduración. De igual forma, Ferguson *et al.* (1979) reportaron un descenso de éste parámetro en variedades *illinois 677*<sup>a</sup> y *silver queen* de maíz dulce a partir de los 19 días pospolinización hasta el estado de madurez seco.



**Figura 9.** Contenido de azúcares totales en elotes de maíces de color en cuatro estados de madurez. Cada valor representa el valor de la media  $\pm$  la desviación estándar.

El contenido de azúcares totales, sin considerar el estado de madurez es mayor en el elote de maíz blanco en comparación con los elotes de maíces de color rojo y azul (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Contenido de azúcares totales en los diferentes maíces de color.

Color	Azúcares totales (g g <sup>-1</sup> p.s.)
Azul	0.034150 <b>b</b> <sup>z</sup>
Rojo	0.037283 <b>b</b>
Blanco	0.097450 <b>a</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Estos datos son comparables a los obtenidos por Turk *et al.* (2001) en variedades *Jubilee* y *Merit* de maíz dulce, cuyo contenido de azúcares totales en el momento de la cosecha fue de 0.0699 y 0.0597g g<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos mismos autores almacenaron las variedades *Jubilee* y *Merit*, *Reward* y *Bonanza* a 0 °C, encontrando que después de siete semanas, el máximo contenido de azúcares totales se observó en la variedad *Reward* de maíz dulce, con un contenido de azúcares de 0.0516 g g<sup>-1</sup>, seguido de un continuo descenso. El descenso en el contenido de azúcares totales fue también reportado por Darbyshire *et al.*, citados por Franco (1987), quienes explican que la pérdida de la dulzura asociada con la madurez puede estar atribuida al incremento de los polisacáridos solubles en agua, que enmascaran la dulzura aportada por la fracción de los azúcares solubles.

Sin considerar el color de los granos de elote, se observa que en el estado más inmaduro (1) el contenido de azúcares totales fue de 0.0847 g g<sup>-1</sup> y disminuyó hasta 0.0338 g g<sup>-1</sup> en el estado de madurez 4 (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Contenido de azúcares totales en elotes en diferentes estados de madurez.

Estado de Madurez	Azúcares totales (g/ g p.s.)
1	0.084789 <b>a<sup>z</sup></b>
2	0.061889 <b>b</b>
3	0.044700 <b>c</b>
4	0.033800 <b>d</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (P ≤ 0.05)

### 6.7. Almidón.

Independientemente del estado de madurez, los elotes de maíz rojo presentaron ligeramente un mayor contenido de almidón respecto a los elotes de maíz blanco y azul, aunque estadísticamente son iguales (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Contenido de almidón de los elotes de maíces de color azul, rojo y blanco.

Color del elote de maíz	Almidón (g g <sup>-1</sup> p.s.)
Azul	0.75765 a <sup>z</sup>
Rojo	0.82492 a
Blanco	0.79946 a

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Con respecto al estado de madurez, independientemente del color del grano, se observó un incremento en el contenido de almidón desde 0.6438 g g<sup>-1</sup> en el primer estado de madurez, hasta 0.9180 g g<sup>-1</sup> en el estado 4 (Cuadro 13). Estos valores son superiores a los obtenidos por Miyanishi *et al.* (1991), en variedades *Delicious Bantam -90*, donde el contenido de almidón en el estado óptimo de madurez fue de 0.40 g g<sup>-1</sup> en base seca y por Cartaya *et al.* (1991) en variedades desgranadas de *Pijamaca* y *Riqueza*, cuyos contenidos de almidón aumentaron de 0.39 a 0.67 g g<sup>-1</sup> y de 0.42 a 0.61g g<sup>-1</sup>, respectivamente entre los 16 y 28 días después de la polinización. Durante el almacenamiento de los elotes también se ha observado un rápido incremento en el contenido de almidón como lo han demostrado las pruebas desarrolladas por Deak *et al.* (1987) en variedades blancas y amarillas sin hojas, descubiertas o cubiertas con películas plásticas de diferente permeabilidad al oxígeno. Se almacenaron a 10 y 20 °C con una humedad relativa del 65 y 55%, respectivamente, para simular la condición de los elotes en el mercado comercial. Los resultados reportaron un contenido de almidón de 0.152 y 0.148 g g<sup>-1</sup> en base

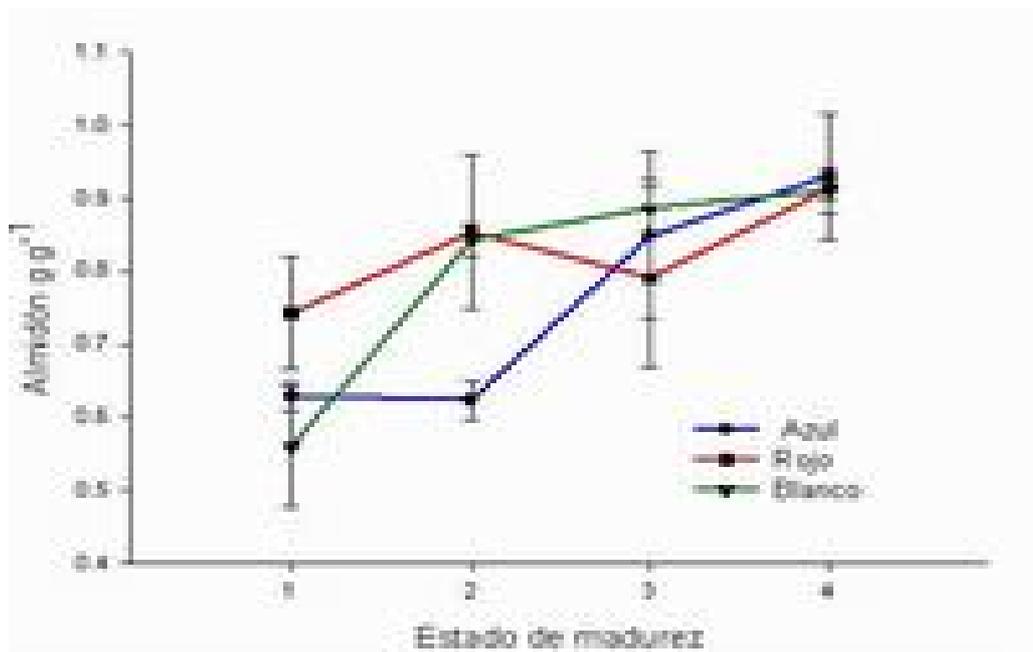
al peso fresco, en maíces blanco y amarillo, respectivamente a una temperatura de 10 °C y de 0.177 y 157 g g<sup>-1</sup> de a una temperatura de 20 °C. Por lo que el contenido de almidón, se ve incrementado con la temperatura.

**Cuadro 13.** Contenido de almidón en los diferentes estados de madurez de elotes de maíces de color.

Estado de Madurez	Almidón (g g <sup>-1</sup> p.s.)
1	0.64348 <b>c</b> <sup>z</sup>
2	0.77279 <b>b</b>
3	0.84171 <b>ab</b>
4	0.91806 <b>a</b>

<sup>z</sup> Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

En la Figura 10 se observa que en los elotes de maíz azul existe un constante contenido de almidón en los estados 1 y 2, que se incrementa en los estados 3 y 4. Caso contrario en el elote de maíz blanco que incrementó aceleradamente del estado 1 al 2 para reducir su velocidad de síntesis de almidón en los estados 3 y 4. Mientras que los elotes de maíces rojos que poseían un contenido inicial superior al de color blanco y azul presentaron un aumento e inmediato descenso en el estado 3 para nuevamente incrementar su contenido en el estado de madurez 4. Una tendencia similar al comportamiento de los elotes de maíz blanco fue observada por Miyanishi *et al.* (1991), quienes señalaron que el contenido de almidón y los polisacáridos solubles en agua incrementaron rápidamente en variedades *golden earlipak*.



**Figura 10.** Cambios en el contenido de almidón de los diferentes elotes de maíces de color en sus diferentes estados de madurez. Cada valor representa la media del tratamiento  $\pm$  la desviación estándar.

La relación que existe entre las variables de estudio se encuentra resumida en el Cuadro A6, que contribuye para determinar las pruebas analíticas recomendadas para identificar la madurez en los elotes de color y su punto óptimo de cosecha. Es el contenido de humedad en los elotes, el que presenta gran relación con la mayoría del resto de las variables, principalmente con los azúcares reductores y el almidón.

## 7. CONCLUSIONES

En elotes de maíces de color rojo el parámetro  $h^{\circ}$  es el más adecuado para evaluar el estado de madurez.

Ninguno de los parámetros de color ( $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  y  $h^{\circ}$ ) en elotes de color blanco y azul mostraron ser un índice adecuado de la madurez.

El parámetro de fracturabilidad conviene ser utilizado para evaluar la madurez en elotes de maíz rojo, mientras que la dureza no se recomienda para el mismo fin en ninguno de los tres elotes de color.

Los sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix), a pesar de ser una prueba rápida, no es adecuada en la determinación de la madurez de los elotes.

La determinación del contenido de humedad constituye una prueba rápida y efectiva a realizar para conocer el punto óptimo de cosecha. Esta variable respuesta presenta la mayor relación con el resto de las variables (azúcares reductores, almidón y fracturabilidad).

Conforme se desarrolla la madurez del grano, el contenido de azúcares totales y reductores disminuye por la conversión de éstos en estructuras más complejas, principalmente almidón que es el principal carbohidrato de reserva. Estos presentan una relación significativa.

El contenido de almidón es un índice apropiado para la determinación de la madurez, con la inconveniencia de que es laborioso y además costoso.

## 9. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Los carbohidratos, como principal componente de los elotes de maíz, han sido objeto de estudio por muchos años, mientras que los pigmentos naturales que poseen los elotes de maíces de color han adquirido gran interés en la industria alimentaria y de fármacos. Sin embargo, el mejoramiento de las especies ricas en azúcares con lenta conversión en almidón y largos periodos de almacenamiento ha creado un debate respecto al rescate de los elotes criollos. Es por ello que se recomienda el continuo estudio de las razas criollas de México a través de la identificación, cuantificación y extracción de las antocianinas para usos industriales y la determinación de los azúcares individuales contenidos en los elotes de color conforme se desarrolla la madurez, por medio de la electroforesis capilar, que contribuya a entender el agotamiento de los azúcares simples para ser transformados en almidón.

Estos conocimientos, serán punto de partida para comprender el metabolismo poscosecha y así determinar las condiciones apropiadas de almacenamiento que alarguen su vida de anaquel y puedan ser llevados a lugares más lejanos para su comercialización.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

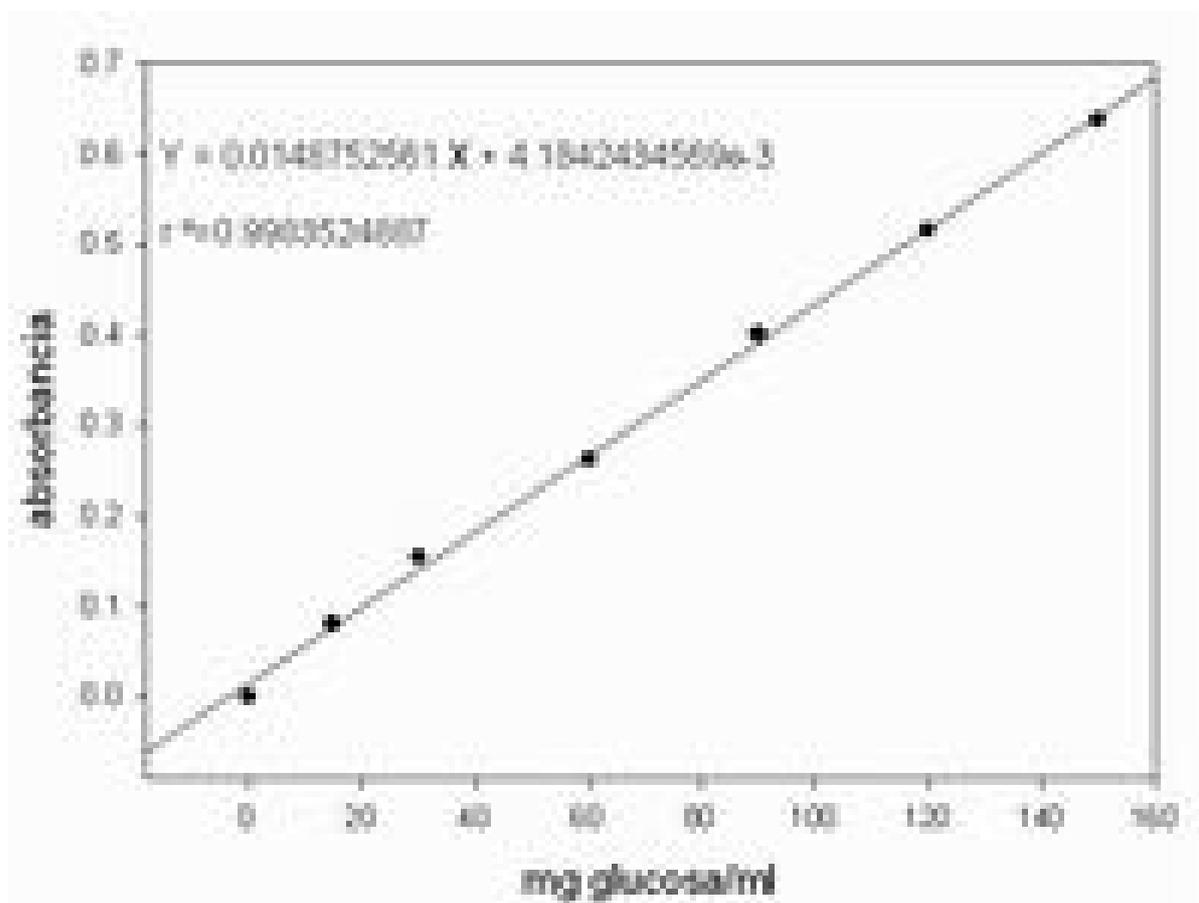
- AOAC. 1990. Oficial methods of analysis of the Associations of oficial analytical chemists. 15 th. Cereal Food.
- Arreguín, M. J. D. 2002. Evaluación de maíces pigmentados y blancos con potencial elotero. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México.
- Armendáriz- O. L. A. 1982. Evaluación de variedades de maíz (*Zea mays L*) para producción de elotes en el valle de México. Tesis de Licenciatura. Chapingo, México.
- Badui, D. S. 1994. Química de los alimentos. Edit Universidad. 45-50 pp..
- Ben, Y. S. 1985. Individual seal- packaging of fruits and vegetables in plastic films- A new Postharvest technique. HortScience 20:32-37B.
- Boyer, C. D. and Shannon, J. C. 1987. Carbohydrates of the kernel In: Corn chemistry and Technology. Watson, S, A. and Ramstad, P. E. Editors. 253-268
- Boyer, C. D. and Shannon, J. C. 1982. The use of endosperm genes in sweet corn improvement. In: Plant Breeding Reviews 1. Avi Publishing Co., Wetsport, CT.
- Brecht, J. K. 1999. Fresh- cut Sweet corn Kernels. Citrus and Vegetable Magazine. 63 (7): 36-37.
- Brownleader, M. D., Harborne, J. B. and Dey, P. M. 1997. Carbohydrate Metabolism: Primary Metabolism of Monosaccharides. In: Plan Biochemistry. Dey, P.M. and Harborne, J. B editors. Academic Press.
- Brush, B. S. 1995. In Situ Conservation of Landacres in Centres of Crop Diversity. Crop Science. Vol. 35, No. 2.
- Bustillos, E. P. 1997. Cuantificación y elucidación estructural de compuestos pigmentados presentes en maíces criollos azul y rojo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua., México. 101 p.
- Caldwell, E. E. O. and Peterson, P.A. 1992. HPLC identification of anthocyanins in maize endosperm. Maize Genetics Cooperation New Letters. 66:2
- Camacho, C., Braunnier, A., Ortiz, L., y De Venanzi, F. 2001. Estudio de la estabilidad de las características químicas, microbiológicas y sensoriales de mazorcas refrigeradas de híbridos de maíz super dulce. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 51: 2.
- Carey. E., Dickinson, D. and Rodhes, A. 1984. Sugar characteristics of sweet corn population from a sugary enhancer breeding program. Euphytica; 33:609-622.
- Cartaya, L., Ortiz, L. B y Bejarano, A. 1991. Características físicas y químicas de los granos de maíz dulce de las variedades "Pijamaza" y "Riqueza" durante el proceso de maduración. Agronomic Trop. 41 (5-15):205-214

- Darbyshire, B., Muirhead, W. A. and Henry R. L. 1978. Water soluble Polysaccharide Determination as a Technique for Evaluation of Sweet Corn Maturity. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 517-522.
- Deak, T., Heaton, E.K., Hung, Y. C. and Beuchat, L.R. 1987. Extending the shelf life of fresh Sweet Corn by Shrink-Wrapping, Refrigeration, and Irradiation. *J. Food Sci.* 52: 6
- Dey, P.M. 1990. In *methods in plant Biochemistry* (Dey, P.M, ed), pp 189-218. Academic Press, London, New York.
- Dickerson, G. W. 1990. Blue corn. Production and Marketing in New Mexico. Co-op. Ext. Serv. Guide H-226. 294 p.
- FIRA 1998. Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano. Boletín informativo No. 309. Vol. XXX. México D. F. 34 p.
- Flores, V. J. 1993. Memoria de la Primera Reunión Universitaria sobre la Problemática de la Producción de Maíz en México. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Franco, A. J. A. 1987. Evaluación agroindustrial de diez genotipos de maíz dulce (*Zea mays Var rugosa*), en el valle del fuerte. México. Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis de Licenciatura: 3- 9
- French, D. 1984. Organization of starch granules. Pages 183-247 in: *Starch: Chemistry and Technology*. Whistler, R. L., BeMiller, J. N. and Paschall, E. F. eds. Academic Press. Orlando, FL.
- Gao, Y. 2000. Characteristics and utilization of black sweet corn Shipin Kexue (Beijing) 21 (12), 59-61.
- Gandara, H. R., Vega-Sánchez, M. C., Burciaga-Vera, G. A., Padrón, C. E., Vega, S. P., Sámano, G. D y Cuevas-Arias, M.V. 2003. Estudios en maíz como una fuente de pigmentos para la industrial. <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/maiz/pigmentos.pdf>. (Revisada el 14 de agosto 2006)
- Hernández, X. E. 1981. Maize and man in the Great Southwest. *Econ. Bot.* 39 (4): 416-430.
- Ilaynes, C. Everhart, E. y Jauron, R. 2003. Maíz dulce. Guía de Horticultura. Universidad del Estado de Iowa.
- Kays, S. J. 1991. Secondary Metabolic Processes and Products In: *Postharvest physiology of Perishable Plant Products*. University of Georgia, Athens. 143-152p.
- Linares, E; y Bye, R. 2002. Diversidad Bio-cultural del Maíz en México. Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. <http://www.ime.gob.mx/> (Revisada el 22 de agosto del 2006)

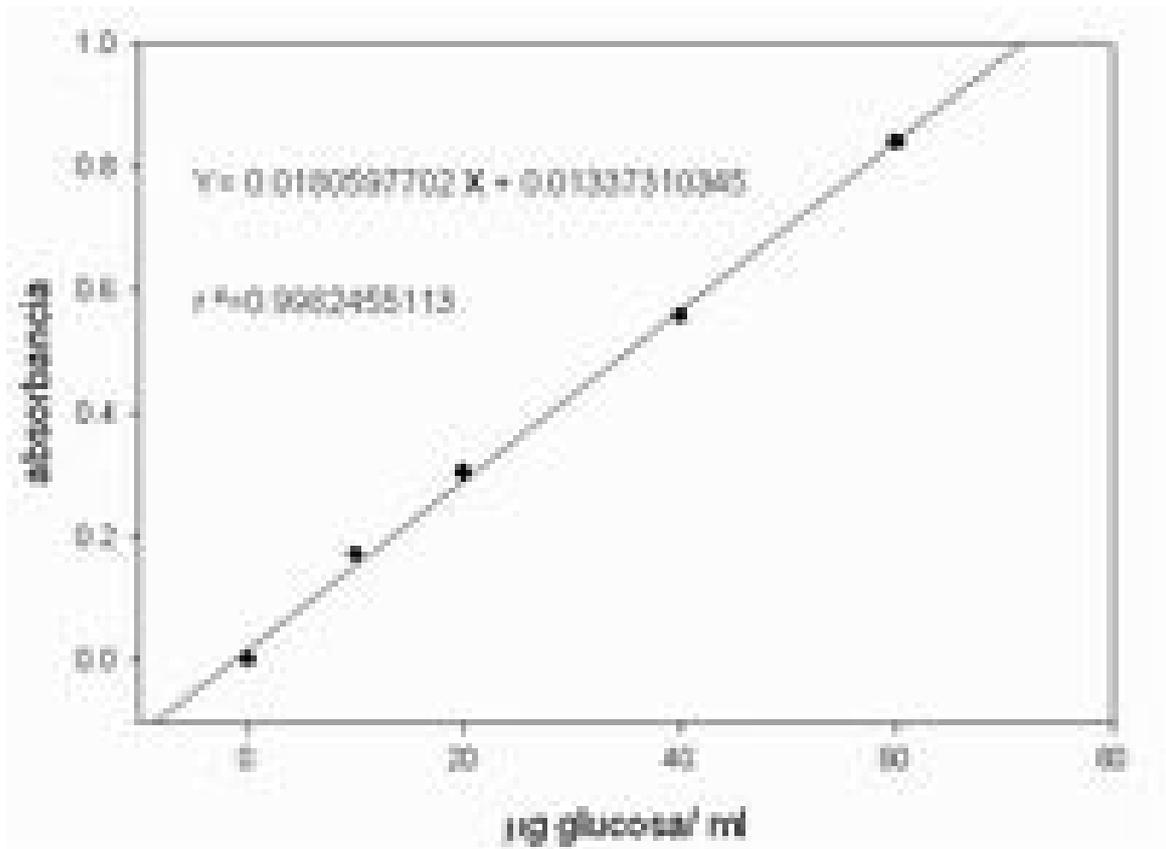
- Liu, T. T. and Shannon, J. C. 1981. Measurement of metabolites associated with nonaqueously isolated starch granules from immature *Zea mays* L. endosperm. *Plant Physiol.* 67: 525-529.
- Louette, D. and Smale, M. 1996. Genetic Diversity and Maize Seed Management in a Traditional Mexican Community: Implications for In Situ Conservation of Maize. NRG Paper 96-03. CIMMYT. México
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hortscience* 27: 1254-1255.
- Miguel, M. A., Arellano- Vázquez, J .L., García-De los Santos. G., Miranda, C. S., Mejía-Contreras, J. A. y González- Cossío, F. V. 2004. Variedades Criollas de Maíz azul raza Chalqueño. Características Agronómicas y Calidad de semilla. *Rev. Fitotecnia Mexicana.* Sociedad Mexicana de Fitotecnia, A.C. Chapingo, México. 27 (1): 9 – 15
- Miranda, J. O. 1976. Incidencia de genes modificadores del Endospermo Opaco-2 en 25 razas mexicanas de maíz y su efecto en la textura y calidad proteica del grano. ENA. Tesis de doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Smogy method for determination of glucose *J. Biol. Chem.* 153: 395-380.
- Olivares M. F. 1995. Estudio de mercado: producción y comercialización del maíz elotero como hortaliza en la región de Tehuacan Puebla. Tesis de Licenciatura. UACH, Departamento de Economía Agrícola. Chapingo México.
- Olsen, J. K., Giles, J. E. and Jordan, R. A. 1990. Postharvest carbohydrate changes and sensory quality of three sweet corn cultivars. *Scientia Hort.*; 44:179-189.
- Ordás, B., Butrón, A., Revilla, P., Malvar, R. A. y Ordás, A. 2003. Mejora de la adaptación y de la calidad de híbridos de maíz dulce. *Actas de horticultura No. 39.* X Congreso Nacional de Ciencias Hortícola. Pontevedra 2003. Mejora Genética.
- Ortega, D. M. L. y Rodriguez, C. 1979. Estudio de carbohidratos en cultivares mexicanos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.) *Agrociencia* 37: 33-49.
- Risse, L. A. and McDonald, L. E. 1990. Quality of Supersweet corn Film Overwrapped in Trays. *HortScience* 25 (3): 322-324.
- Robles S. R. 1983. Producción de Granos y Forrajes. 4ª edición. Ed. Limusa S.A. México D.F. 176 p.
- Rosenthal, A. J. 1999. Food Textura. Measurement and Perception. Aspen Publishers. Gaithersburg, Maryland.
- Ruiz V, C. U. 2002. Oportunidad de mercado en el área de Chicago para los productos agroindustriales derivados de maíz. Tesis de Licenciatura. UACH. División de ciencias Económico Administrativas. Chapingo México. 78 p.

- Salinas, M. Y., Hernández, S. M., Martínez, B. F., González, H. V. y Ortega, P.R.1999. Análisis de Antocianinas en Maíces de grano Azul y Rojo provenientes de cuatro razas. Rev. Fitotec. Mex. 22. 161-174.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca SAGARPA 1997 y 2001.
- Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON).2004. Servicio de información y Estadística agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA)
- Suslow T. V. y Cantwell M. 2003. Maíz dulce. Indicadores básicos para mantener la calidad.  
<http://rics.ucdavis.edu/postharvest2/Produce/ProduceFacts/Espanol/MaizDulce.shtml> (Revisada el 2 de Julio 2006)
- Trevor, V. S. and Cantwell, M. 2002. Indicadores básicos del manejo postcosecha del maíz dulce. Department of Vegetable crops. University of California, Davis, CA. 6p.
- Turk, R. Turgut, I and Aydincioglu, S. 2001. Quality Changes of sweet corn cultivars during cold storage. University Faculty of Agriculture Bursa- Turkey.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E. y Mangelsdorf, P. C. 1987. "Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución", en Xolocotzia. Revista de Geografía Agrícola de la Universidad Autónoma de Chapingo. Tomo II. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Witham, F. H., Blaydes D.F. and Devlin, R. M. 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold. Company. New York. 245 p.
- Wong, A. D., Juvik, J. A., Breeden, D. C and Swiader, J. M. 1994. Shrunken 2 sweet corn yield and the chemical components of quality. J Amer Soc Hort Sci. 119 (4): 747-755.

## 10. APENDICE



**Figura A1.** Curva estándar de azúcares reductores analizado por el método Nelson (1944).



**Figura A2.** Curva estándar de azúcares totales analizado por el método de Fenol-sulfúrico (Witham *et al.*, 1971).

**Cuadro A1.** Resumen del análisis de varianza para los parámetros de color: luminosidad, valor a\*, valor b\*, cromaticidad y ángulo de matiz, en elotes de maíces de color **azul** en cuatro estados de madurez.

Variable	CME	CV	F
Luminosidad	12.7066032 <sup>z</sup>	7.489201 <sup>y</sup>	0.7041
Valor a*	5.03918472	78.96860	0.4935
Valor b*	1.60330036	-60.45558	0.1947
Cromaticidad (c)	2.20380498	36.76447	0.3016
Angulo de matiz (h)	458.695560	6.664990	0.2686

<sup>z</sup> CME: Cuadrado medio del error

<sup>y</sup> CV: Coeficiente de variación

**Cuadro A2.** Resumen del análisis de varianza para los parámetros de color: luminosidad, valor a\*, valor b\*, cromaticidad y ángulo de matiz, en elotes de maíces de color **blanco** en cuatro estados de madurez.

Variable	CME	CV	F
Luminosidad	11.0079289 <sup>z</sup>	4.171302 <sup>y</sup>	0.0884
Valor a*	-182.2662	0.18462010	0.0616
Valor b*	2.62046913	9.952147	0.9719
Cromaticidad (c)	2.33357589	9.442633	0.9880
Angulo de matiz (h)	2.20322268	1.630773	0.0367

<sup>z</sup> CME: Cuadrado medio del error

<sup>y</sup> CV: Coeficiente de variación

**Cuadro A3.** Resumen del análisis de varianza para los parámetros de color: luminosidad, valor a\*, valor b\*, cromaticidad y ángulo de matiz, en elotes de maíces de color **rojo** en cuatro estados de madurez.

Variable	CME	CV	F
Luminosidad	24.009279 <sup>z</sup>	8.008323 <sup>y</sup>	<.0001
Valor a*	7.0522128	22.96589	<.0001
Valor b*	2.3630407	15.41395	<.0001
Cromaticidad (c)	2.93944955	10.39700	0.0875
Angulo de matiz (h)	99.57887	22.76690	<.0001

<sup>z</sup> CME: Cuadrado medio del error

<sup>y</sup> CV: Coeficiente de variación

**Cuadro A4.** Resumen del análisis de varianza para las variables: azúcares totales, azúcares reductores, almidón, sólidos solubles, humedad, fracturabilidad, dureza y resiliencia, respecto al estado de madurez.

Variable	CME	CV	F
Azúcares totales	0.00445099 <sup>z</sup>	11.76124 <sup>y</sup>	<.0001
Azúcares reductores	0.00696588	32.57097	<.0001
Almidón	0.12231894	9.183204	<.0001
Sólidos solubles (°Brix)	5.75722500	3.364358	<.0001
Humedad	634.488355	3.013957	<.0001
Fracturabilidad	4.11082339	21.25751	<.0001
Dureza	1.7106379E-8	20.09723	0.0162
Resiliencia	7.1403419E-7	87.29354	<.0001

<sup>z</sup> CME: Cuadrado medio del error

<sup>y</sup> CV: Coeficiente de variación

**Cuadro A5.** Resumen del análisis de varianza para las variables: azúcares totales, azúcares reductores, almidón, sólidos solubles, humedad, fracturabilidad, dureza y resiliencia, respecto a la coloración de los elotes.

Variable	CME	CV	F
Azúcares totales	0.01527347 <sup>z</sup>	11.76124 <sup>y</sup>	<.0001
Azúcares reductores	0.00162353	32.57097	0.0424
Almidón	0.01384174	9.183204	0.0948
Sólidos solubles (°Brix)	1.56470625	3.364358	<.0001
Humedad	351.042228	3.013957	<.0001
Fracturabilidad	5.09254363	21.25751	<.0001
Dureza	4.5914633E-9	20.09723	0.3603
Resiliencia	6.2372501E-7	87.29354	0.0008

<sup>z</sup> CME: Cuadrado medio del error

<sup>y</sup> CV: Coeficiente de variación

**Cuadro A6.** Nivel de correlación entre las variables respuesta para maíces de color azul, rojo y blanco.

	Totales	Reductores	Almidón	<sup>x</sup> Erix	Fracturabilidad	Dureza	Resistencia	Humedad
Totales	1	0.02 <sup>z</sup> 0.0011 <sup>y</sup>	-0.46 0.1330	0.40 0.1963	-0.52 0.0794	-0.52 0.0813	-0.05 0.8680	0.67 0.0164
Reductores	0.02 0.0011	1	-0.79 0.0022	0.43 0.1662	-0.70 0.0115	-0.74 0.0058	0.34 0.2741	0.86 0.0002
Almidón	-0.46 0.1330	-0.79 0.0022	1	-0.37 0.2369	0.69 0.0126	0.45 0.1429	-0.43 0.1593	-0.81 0.0015
<sup>x</sup> Erix	0.40 0.1963	0.43 0.1662	-0.37 0.2369	1	0.01 0.9765	-0.51 0.0927	-0.19 0.5597	0.19 0.5597
Fracturabilidad	-0.52 0.0794	-0.70 0.0115	0.69 0.0126	0.01 0.9765	1	0.23 0.4801	-0.49 0.1033	-0.89 0.0001
Dureza	-0.52 0.0813	-0.74 0.0058	0.45 0.1429	-0.51 0.0927	0.23 0.4801	1	-0.07 0.8336	0.45 0.1377
Resistencia	-0.05 0.8680	0.34 0.2741	-0.43 0.1593	-0.19 0.5597	-0.49 0.1033	-0.07 0.8336	1	0.30 0.3396
Humedad	0.67 0.0164	0.86 0.0002	-0.81 0.0015	0.19 0.5597	-0.89 0.0001	-0.45 0.1377	0.30 0.3396	1

<sup>z</sup> Confianza de determinación.

<sup>y</sup> Nivel de significancia