

GENÉTICA VEGETAL Y BIODIVERSIDAD

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Comportamiento agroindustrial de diez variedades de caña de azúcar para producción de panela en Santander, Colombia**Agro industrial yield of ten sugar cane varieties for production of *panela* in Santander, Colombia**Julio Ramírez Durán¹, Orlando Insuasty Burbano², Carlos Arturo Viveros Valens³¹I.A. MSc. Corpoica, sede Cimpa. Barbosa, Santander, Colombia. jramirezd@corpoica.org.co²I.A. Corpoica, sede Cimpa. Barbosa, Santander, Colombia. oinsuasty@corpoica.org.co³I.A. PhD. Cenicaña Cali, Colombia. caviveros@cenicana.org

Fecha de recepción: 11/02/2014

Fecha de aceptación: 22/08/2014

ABSTRACT

The sugarcane crop in the geographical area called Hoya del Río Suárez, in the departments of Boyacá and Santander (Colombia), covers about 45,000 hectares; the variety 75-11 RD is established in 70% of the cultivated area and its average growing period is 17 months. This represents a high phytosanitary risk and disadvantages versus other sugarcane producing regions with lower growth cycles. Varieties of sugarcane obtained by Cenicaña represent alternatives for the competitiveness and productivity for the Colombian sugarcane industry. Between 2007 and 2012, Corpoica and Cenicaña conducted an agro-industrial research to evaluate 78 materials in southern Santander, identifying ten promising varieties by its agro-industrial potential in tons of cane per hectare and tons of *panela* (unrefined whole cane sugar) per hectare. This study evaluated the agronomical characteristics of ten varieties of sugarcane under the conditions of the foothills in an area in Güepsa, Santander, and also with a commercial grinding test with a Cimpa type mill. The varieties CC 91-1555, CC 92-2198, CC 93-7510 and CC 93-7711 exceeded in 40.3, 24.2, 20.2 and 18 tons of cane per hectare and 3.2, 4.2, 2.2 and 2.5 tons of "*panela*" per hectare respectively, yields achieved by the variety RD 75-11 employed as a regional control in the same unit of time, which were 126.2 tons of cane per hectare and 12.1 tons of *panela* per hectare. The final product of the four varieties above mentioned showed optimal physicochemical characteristics of pH, soluble solids concentration, saccharose and reducing sugars, according to existing normativity.

Key words: sugar cane, varieties, *panela*, commercial mill.

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar en la zona geográfica denominada Hoya del Río Suárez, en los departamentos de Boyacá y Santander, en Colombia, abarca aproximadamente 45.000 hectáreas; la variedad RD 75-11 se encuentra establecida en 70% del área cultivada y su período vegetativo promedio es 17 meses. Lo anterior representa un alto riesgo fitosanitario y desventajas frente a regiones productoras con ciclo vegetativo inferior. Las variedades de caña de azúcar obtenidas por Cenicaña representan alternativas de competitividad y productividad para el sector panelero de Colombia. Entre 2007 y 2012, Corpoica y Cenicaña evaluaron agroindustrialmente 78 materiales en el sur de Santander, e identificaron diez variedades promisorias por su potencial agroindustrial en toneladas de caña por hectárea y toneladas de panela por hectárea. La presente investigación evaluó agrónomicamente diez variedades en condiciones de piedemonte en una localidad de Güepsa, Santander, y en prueba comercial de molienda en trapiche tipo Cimpa. Las variedades CC 91-1555, CC 92-2198, CC 93-7510 y CC 93-7711 superaron en 40,3, 24,2, 20,2 y 18 toneladas de caña por hectárea y 3,2, 4,2, 2,2 y 2,5 toneladas de panela por hectárea, respectivamente, los rendimientos alcanzados por la variedad RD 75-11 empleada como testigo regional en la misma unidad de tiempo, que fueron de 126,2 toneladas de caña por hectárea y 12,1 toneladas de panela por hectárea. Las cuatro variedades mencionadas presentaron óptimas características fisicoquímicas de pH, concentración de sólidos solubles, sacarosa y azúcares reductores en producto final, según normatividad existente.

Palabras claves: caña de azúcar, variedades, panela, molienda comercial.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar con destino a la producción de panela en Colombia se extiende en más de 25 departamentos y 511 municipios. Según el Dane, se sembraron más de 168.369 hectáreas y su producción en panela se estimó en 735.271 toneladas (2011). El sistema productivo de caña panelera se desarrolla en dos modelos definidos principalmente por condiciones socioeconómicas y que responden básicamente al sistema de corte o cosecha, definiendo así las regiones productoras de corte por entresaque y las regiones de corte por parejo. Gracias a estos sistemas productivos, existen entre dichas regiones grandes diferencias en la realización de prácticas de manejo agronómico como el sistema de siembra, los planes de fertilización y nutrición, el control de plagas, enfermedades y malezas y principalmente la renovación de lotes y sustitución de variedades tradicionales por nuevas variedades con mayor potencial productivo. Las diferencias entre estos dos modelos productivos o de corte se identifican también en los rendimientos por unidad de área tanto en caña como en panela, los cuales varían desde 32 toneladas de caña por hectárea (TCH) en regiones productoras como Cundinamarca hasta 100 TCH en regiones como la Hoya del Río Suárez (HRS) en los departamentos de Boyacá y Santander (MADR, 2009). Estos últimos rendimientos son alcanzados en regiones de corte por parejo, donde el desarrollo de oferta tecnológica ha sido más dinámico en el tiempo y así mismo la adopción de las recomendaciones técnicas emitidas por diversas instituciones.

La región geográfica de la Hoya del Río Suárez aporta a la producción de panela nacional cerca de 32% del total reportado (Dane, 2011) y sus rendimientos por unidad de área en caña y panela se clasifican como uno de los más altos de las zonas productoras de Colombia. Esta región representa cerca de 17% del área sembrada y su extensión supera según la encuesta nacional agropecuaria del 2011 las 45.904 hectáreas. En ellas, la variedad RD 75-11 se encuentra establecida en cerca de 70% de los cultivos comerciales. Esta variedad fue entregada por Corpoica al sector productivo en 1996, posterior a un proceso de introducción y evaluación agroindustrial de materiales suministrados por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) y actualmente su difusión en otras regiones productoras del país se encuentra en incremento. RD 75-11 se cataloga como un material de ciclo vegetativo semitardío, de amplia adaptación edafoclimática, resistente o tolerante a las principales enfermedades de importancia económica como carbón y virus de la hoja amarilla, y de alta

producción de biomasa y panela por unidad de área (Insuasty *et al.*, 2003). Pese a estas características ideales para la producción de panela en una variedad de caña de azúcar, su largo ciclo vegetativo, cercano a los 17 meses en promedio en dicha región, hacen que este material sea menos competitivo frente a otras regiones donde su ciclo puede ser cercano a los 12 meses. Además, su amplia y generalizada utilización representa un alto riesgo fitosanitario, pues la posible mutación o resurgencia de enfermedades, el desgaste genético y la pérdida de resistencia genética así como los constantes cambios climáticos pueden desencadenar un posible ataque fitosanitario en dicho material genético que podría provocar impactos negativos sobre una de las principales regiones productoras de panela del país.

Posterior a la entrega de la variedad RD 75-11, Corpoica introdujo dos nuevas variedades provenientes de Cenicaña y pese a que se identificaron algunos materiales promisorios para la producción de panela su adopción por parte de los productores no ha sido significativa debido quizás a las grandes diferencias en cuanto a morfología de las nuevas variedades frente a RD 75-11, especialmente color y diámetro de tallos, y por supuesto a los excelentes resultados que aún reporta RD 75-11.

Tomando como antecedente el anterior contexto, Corpoica en colaboración con Cenicaña inició en 2007 un trabajo experimental en el que evaluó y caracterizó agroindustrialmente los materiales genéticos de las series CC 84 a la CC 01 de Cenicaña introducidos a la región de la Hoya del Río Suárez. El objetivo fue encontrar variedades con características similares a las de la RD 75-11, pero que superaran su producción y redujeran el tiempo del ciclo vegetativo, para contar, en la principal región productora de panela de Colombia, con una oferta tecnológica de nuevas variedades con características atractivas a los productores (similitud con la RD 75-11) y disminuir el riesgo fitosanitario al que se encuentra expuesta esta región del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Evaluación agronómica en campo: regla topográfica de 4 m de longitud, calibrador micrométrico o pie de rey digital, refractómetro digital de mano, sonda o extractor de jugo en campo en acero inoxidable, machete, diez variedades de caña de azúcar (CC 93-7510, CC 99-1405, CC 92-2198, RD 75-11, CC 93-7711, CC 92-2965, CC 93-3458, CC 91-1555, CCSP 89-43, CC 93-714).

Extracción de jugos y obtención de panela en trapiche comercial (molienda): se utilizó un molino (R20 El Panelero de 3,0 t caña/hora) y las instalaciones de un trapiche comercial de la región con capacidad de producción de 150 kg de panela/hora con hornilla Ward tipo Cimpa, y mulares para el transporte de caña desde el lote hasta el trapiche, báscula de plataforma con capacidad de 2 t, báscula digital (Sauter modelo E1200, serie 727774, clase de exactitud III, precisión de 0,05 kg) con capacidad de 500 kg, aglutinante balso (*Heliolepis popayanensis*) para limpieza de jugos, cal grado alimenticio, gaveras de madera para moldeo de la panela, bolsas de polietileno, libro de registro de datos.

Análisis fisicoquímico en laboratorio: muestras de panela de cada variedad (3 panelas de 170 g cada una), muestras de jugos crudos de caña (200 ml de jugo por variedad), refractómetro digital de mesa (Anton Paar ref. Abbemat 300, precisión 0,01 °Brix), balanza analítica digital (Mettler Toledo modelo AB204-S/FACT, precisión 0,1 mg), polarímetro (Atago modelo OSK 6544, precisión 0,1 grados sacarimétricos), potenciómetro (Schott modelo CG842 precisión 0,01), espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Evolution 201, precisión 1,0 nm), cámara extractora de gases, plancha de calentamiento con agitación magnética (SI Analytics GMBH modelo SLR, intervalo de velocidad de rotación del agitador 100–1.100 rpm, regulación de temperatura 25–200 °C ± 3 °C). Estufa de secado para obtención de materia seca (Thelco modelo 17, serie 21AG-6, rango de temperatura 30–225 °C). Reactivos: solución de azul de metileno al 1%, sulfato de cobre, tartrato de sodio y potasio, celite, aceite mineral y agua destilada.

Métodos

Las variedades en estudio se establecieron en un lote comercial de 1 ha y de una homogeneidad alta en sus condiciones físicas y topográficas. Por su parte, cada variedad ocupó un área única de 1.000 m², y para el monitoreo de variables de desarrollo agronómico la parcela de cada variedad se dividió en tres partes, teniendo así 30 sitios o unidades de muestreo.

Ubicación: región natural: Andina; subregión: Hoya del Río Suárez; ecorregión: sur de Santander; departamento: Santander; municipio: Güepsa; vereda: La Teja; finca: Buenos Aires; altitud: 1.566 msnm; temperatura promedio: 18 a 24 °C; coordenadas N: 01154641 y E: 01078920 (Garmin GPSMAP 62s alta sensibilidad con antena Quadrifilar Helix).

Evaluación agronómica en estado de plantilla de las variedades en estudio: en el lote comercial, las variedades se establecieron en chorrillo sencillo con una densidad de 10 – 12 yemas/m y a una distancia entre surcos de 1,30 m. Antes de los 6 meses de edad se realizaron 2 controles químicos de malezas (1,0 kg/ha de Hexazinona + 3,5 kg/ha de Karmex). Al momento de la siembra, y al fondo del surco, se aplicó una mezcla de gallinaza compostada (3,0 t/ha) y roca fosfórica (0,5 t/ha). Tres meses después, y con el primer control de malezas, y en una sola dosis, se aplicó urea al 46% de N (100 kg de N/ha), DAP al 46% de P₂O₅ (100 kg de P₂O₅/ha) y KCl al 60% de K₂O (60 kg de K₂O/ha).

Altura de planta o longitud de tallos –ALPLA– (m): se tomaron al azar cinco tallos primarios por unidad de muestreo como tamaño mínimo representativo requerido, y para tal fin se empleó una regla de 4 m de longitud, con la cual se midió la longitud de cada tallo desde el inicio del tallo hasta la primera lígula visible.

Diámetro de tallo –DIATA– (cm): se tomaron al azar 5 tallos primarios por unidad de muestreo; se limpiaron las hojas que recubrían el tallo a evaluar, y se procedió a realizar la medición del diámetro de cada tallo en su parte central y en la mitad de cada entrenudo haciendo uso de un calibrador micrométrico o pie de rey digital.

Población de tallos en 10 metros lineales (PT/10 m): se contó el número de tallos presentes en 10 metros lineales en 3 puntos de unidad de muestreo, con una cinta métrica para facilitar la evaluación. Con dicho valor, se obtuvo la población de tallos por metro lineal (PT/m) así: $PT/m = PT \text{ en } 10 \text{ m} / 10 \text{ m}$.

Población de tallos por hectárea (PT/ha): el valor de la PT/m se multiplicó por 7.692,3 metros lineales que tiene una hectárea de terreno con la distancia de siembra de 1,30 m entre surcos y se obtuvo la PT/ha.

Concentración de sólidos solubles totales (SST) en los jugos (°Brix): se tomaron 5 tallos primarios al azar por unidad de muestreo, y por medio de un punzón o sonda se extrajo el jugo del tercer entrenudo basal y del séptimo u octavo entrenudo apical, empleando el refractómetro digital portátil (Atago serie A331209, rango de medición de 0,0 a 53,0 °Brix, resolución 0,1 °Brix, volumen de muestra 0,3 ml, tiempo de respuesta 3 s, precisión ± 0,2 °Brix, temperatura ambiente entre 10 y 40 °C), se realizó la lectura del jugo, conociendo así la concentración de sólidos solubles de la parte basal y apical del tallo evaluado. La relación del valor apical obtenido sobre el basal

determinó el índice de madurez (IDM) importante para realizar el seguimiento de la curva de madurez fisiológica de cada una de las variedades y permitió la programación de la molienda comercial cuando el valor de dicho índice estuviese entre 0,91 y 1,00.

Los datos obtenidos en estos monitoreos se registraron en el correspondiente libro de campo y se utilizaron para posterior análisis.

Evaluación comercial de cosecha de caña y obtención de panela de los materiales genéticos en estudio. Una vez evaluados los 10 materiales desde el punto de vista agronómico y luego de que los materiales alcanzaron su índice de madurez adecuado (0,95 a 1,00) para cosecha, se realizó la prueba de molienda comercial en el trapiche El Espejo ubicado en el municipio de Güepsa (Santander), aproximadamente a 3 km del lugar donde se tenía establecido el ensayo.

Metodológicamente se realizaron las siguientes acciones:

1. **Cosecha y transporte de caña al sitio de molienda:** 12 mulares cada uno de ellos registrado con un número del 1 al 12, para facilitar su identificación en el momento del pesaje en el trapiche, transportaron cada una de las variedades desde el sitio del experimento hasta el trapiche.
2. **Pesaje de caña por variedad en el patio de apronte:** en el patio de apronte se instaló una báscula de plataforma

con capacidad de 2 t para el pesaje de las mulas con carga. El proceso consistió en pesar al inicio de cada jornada y durante el tiempo de apronte las mulas sin carga; luego se iban pesando a medida que iban llegando al trapiche con la respectiva carga y su peso era registrado en una planilla que se diseñó para tal fin.

3. **Organización de cada variedad pesada en el patio de apronte:** luego de ser pesadas las variedades, se ubicaron en orden de llegada y en orden de molienda; para tal fin se realizó un mapa de apronte.
4. **Molienda y extracción de jugos por variedad:** durante la extracción se tomaron tres submuestras de jugo por variedad en tiempos diferentes, se mezclaron y se obtuvo una muestra a la cual se le realizó el análisis fisicoquímico.
5. **Obtención y pesaje de panela por variedad:** se realizó la toma de muestras de panela por variedad en 3 momentos diferentes de salida de la panela en cada variedad. Se registró el total de las cajas obtenidas por variedad y se pesaron en una báscula industrial con capacidad de 500 kg; luego se contaron las cajas para conocer la producción total de panela por variedad. El peso de cada caja de cartón fue de 147 g y se descartó al momento del pesaje de la panela.

Análisis de laboratorio: las muestras de jugo y panela se enviaron al laboratorio de fisicoquímica de la sede Cimpa para su análisis; en la tabla 1 se describen los procedimientos empleados para cada variable analizada.

Tabla 1. Procedimiento para la caracterización química en jugo y panela según el protocolo del laboratorio de fisicoquímica de Cimpa

Prueba	Descripción	Procedimiento
pH en jugo y panela	Jugo: se filtraron 50 ml de la muestra con una malla de 100 <i>mesh</i> ; se agitó hasta obtener una muestra homogénea. Panela: se pesaron 5 g de panela y se disolvieron en agua destilada hasta obtener un volumen de 50 ml (dilución 1:10).	Una vez calibrado el pH metro se introdujo el electrodo en la muestra de jugo o panela previamente preparada y se tomó la lectura respectiva.
Concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en jugo y panela	Jugo: se filtraron 50 ml de muestra con una malla de 100 <i>mesh</i> ; seguidamente se colocó en agitación hasta homogenizar completamente. Panela: se tomó una muestra de panela previamente rallada y homogenizada. Posteriormente, se pesaron 10 g en la balanza analítica, agregando aproximadamente 30 g de agua hasta obtenerse una dilución 1:4 en porcentaje p/p; luego se agitó la mezcla hasta su total dilución.	En el refractómetro digital Anton Paar se colocaron 3 gotas de la muestra de jugo o panela diluida y se tomó la lectura. En panela, el dato obtenido se multiplicó por el factor de dilución (1:10).

Prueba	Descripción	Procedimiento
<p>Porcentaje de sacarosa en jugo y panela</p>	<p>Jugo: se tomaron 50 ml de la muestra filtrada por la malla de 100 <i>mesh</i>; seguidamente se colocó en agitación hasta obtener una muestra homogénea.</p> <p>Panela: se tomó una muestra de panela previamente rallada y homogenizada; se pesaron 10 g en la balanza analítica (precisión de 0,01 g) y se agregaron 50 ml de agua destilada hasta su dilución total. La muestra diluida se llevó a un balón aforado de 100 ml y se completó el volumen con agua destilada hasta una dilución 1:10 p/v.</p> <p>Cálculos para determinar el porcentaje de sacarosa: En jugo de caña y en panela se empleó la fórmula de Echmitz. En panela, en la fórmula, se tuvo en cuenta el factor de dilución (FD) para la determinación del contenido de sacarosa (%).</p> $\text{Ecuación de Echmitz} = \frac{Lp * 0,9293 + 0,0732}{Bx \text{ ext} * 0,017 + 3,814} * FD$ <p>Lp: lectura polarimétrica Bx ext: concentración de azúcares en el extracto (°Brix) FD: es igual a 1 para jugo de caña</p>	<p>Para filtrar y clarificar las muestras, a cada muestra de 40 ml de jugo y panela se le agregó 1 ml y 0,3 ml de subacetato de plomo al 56% p/v, respectivamente. A la solución filtrada se le realizó la lectura de SST (°Brix extracto) con la ayuda del refractómetro digital Anton Paar. La solución filtrada se introdujo en el tubo receptor del polarímetro y se realizó la lectura de la concentración de sacarosa (% sac).</p>
<p>Porcentaje de azúcares reductores (% AR) en jugo y panela</p>	<p>Jugo: se filtraron 50 ml de la muestra por malla <i>mesh</i> 100; seguidamente se agitó hasta homogenizarla completamente.</p> <p>Panela: a 10 g de panela previamente rallada se le agregaron 50 ml de agua hasta que la mezcla estuviese totalmente diluida. Los azúcares reductores (AR) se determinaron mediante la técnica de Eynon Lane. La fórmula para determinar el % AR es: % AR = (factor de Fehling/ml consumidos de muestra) * factor de dilución (1:10).</p> <p>El factor de dilución es igual a 1 para el caso de jugo de caña.</p> <p>Obtención del factor de Fehling: se pesan 0,5 g de glucosa o fructosa y se diluyen a un volumen de 100 ml, y se titula como si fuese una muestra. Los ml consumidos en esta titulación se multiplican por el peso de la glucosa o fructosa.</p>	<p>En una bureta de 25 ml se introdujo la muestra de jugo o panela. En un Erlenmeyer de 150 ml, a 5 ml de Fehling A y Fehling B se les agregaron 3 gotas de aceite mineral y un agitador magnético; se colocó en la plancha de calentamiento hasta el punto de ebullición, y a partir de este momento se cronometraron 2 minutos, y se agregaron 3 gotas de azul de metileno; durante un minuto se tituló la solución de Fehling con la muestra de jugo o panela. Los ml de muestra consumidos se llevaron a la fórmula descrita para los cálculos de determinación del % de azúcares reductores.</p>
<p>Porcentaje de humedad en panela</p>	<p>Se calculó y registró el peso inicial (PI), así: peso de la caja (PC) vacía más 5 g de panela rallada. Posteriormente se llevó al horno a 80 °C durante 3 a 5 días, período después del cual se pasó a un desecador hasta su enfriamiento total y por último se tomó registro del peso final (PF) del material seco, con la siguiente fórmula:</p> $\% \text{ de humedad} = \frac{PI - PF}{PI - PC} * 100$	<p>El procedimiento de obtención de materia seca en el horno se replicó 3 veces, para obtener un promedio representativo. Los valores obtenidos se llevaron a la fórmula para la determinación del porcentaje de humedad en panela.</p>
<p>Porcentaje de pureza en jugos y panela</p>	<p>La pureza es la relación porcentual entre la sacarosa y la concentración de azúcares totales (°Brix). Así, se obtuvo el porcentaje de pureza presente en las muestras analizadas.</p>	<p>El porcentaje de sacarosa se dividió sobre el porcentaje de SST (°Brix) de la muestra y se multiplicó por cien.</p>

Con la información obtenida de cosecha de las variedades en campo y la obtención de panela con cada una de ellas, se determinó el rendimiento de toneladas de caña por hectárea (t/ha), rendimiento de panela (%), toneladas de panela por hectárea y la diferencia relativa determinada frente al comportamiento de la variedad RD 75-11 empleada como variedad testigo.

Descripción del ambiente de la zona donde se evaluaron los materiales genéticos como dominio de recomendación. El municipio de Güepsa (Santander) se ubica en la zona climática templada húmeda (bosque húmedo premontano: Bh-PM) según clasificación bioclimática de Holdridge (IGAC, 1977). Los registros mensuales y anual de lluvia son considerablemente bajos, lo que hace pensar en condiciones relativamente secas con épocas de verano muy prolongadas, críticas para el desarrollo normal de los cultivos (Castro, 1984). La temperatura media anual es de 18 a 24 °C, precipitación de 1.000 a 2.000 mm, altitud entre 1.000 y 2.000 msnm, aproximadamente.

En cuanto a los suelos, el paisaje corresponde a las laderas derivadas de lutitas y/o areniscas con influencia calcárea, donde se ubica parte de las veredas San Pablo, Sonésí, San Isidro, San Lorenzo, Centro y La Teja, entre otras

(Castro, 1984). En este paisaje se encuentran suelos saturados, ricos en carbonatos y arcillas tipo 2:1.

Los suelos son profundos y negros, superficialmente bien estructurados y moderadamente drenados; presentan pH de ligeramente ácido a neutro, contenidos de materia orgánica medios a bajos, altamente saturados con Ca, CIC alta, bajos en fósforo; por sus altos contenidos de arcilla (45%-60%) se agrietan en veranos prolongados (Castro, 1984). Por su buena fertilidad natural, una buena proporción de estos suelos está dedicada a la siembra intensiva de caña panelera, razón por la cual los municipios de Güepsa y San Benito se han destacado por ser los mejores productores de panela de la cuenca media del Río Suárez (Castro, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de variables en campo de las variedades en estado de plantilla. Los valores promedios alcanzados por las variables agronómicas evaluadas en 10 variedades durante el monitoreo realizado a los 15 meses de edad se reportan en la tabla 2, y posteriormente se grafican algunas de ellas.

Tabla 2. Variables agronómicas evaluadas en 10 variedades de caña de azúcar para producción de panela a los 15 meses de edad. Finca Buenos Aires, vereda La Teja, municipio de Güepsa, 2013

Variedad	ALPLA (m)	DIATA (cm)	PT/10 m	PT/m	PT/Ha	SST (°Brix)	IDM
CC 93-714	1,43	2,60	135	13,5	103.932	20,79	0,93
CC 93-7510	1,63	3,10	130	13,0	100.257	19,46	0,93
CC 93-7711	1,65	3,80	97	9,7	74.359	18,14	0,91
CC 92-2965	1,38	3,00	122	12,2	94.017	18,56	0,94
CCSP 89-43	1,57	2,80	119	11,9	91.717	19,10	0,95
CC 92-2198	1,47	3,40	116	11,6	89.060	17,12	0,88
CC 99-1405	1,24	3,60	102	10,2	78.547	17,62	0,96
CC 93-3458	1,31	3,20	93	9,3	71.710	19,28	0,94
CC 91-1555	1,53	3,10	117	11,7	90.342	19,35	0,96
RD 75-11	1,47	2,90	117	11,7	89.915	19,99	0,98

SST = sólidos solubles totales en jugo.

IDM = índice de madurez fisiológica.

El rango de altura de planta (ALPLA) varió entre 1,24 y 1,65 m, siendo CC 93-7711 la que mayor altura alcanzó con 1,65, significativamente muy por debajo ($< 1,37$ m) de lo establecido en procesos anteriores al desarrollo de esta prueba comercial, ya que dicho reporte fue de 3,02 m para esta misma variedad en parcelas experimentales (Corpoica, 2011). Para esta variable se ilustra la diferencia relativa respecto al testigo RD 75-11, encontrando que las variedades CC 93-7510, CC 93-7711, CCSP 89-43, CC 91-1555 con 0,16, 0,18, 0,10 y 0,06 m, respectivamente, superaron el promedio obtenido por RD 75-11 que fue de 1,47 m, mientras que los resultados de las variedades CC 93-714, CC 92-2965, CC 99-1405 y CC 93-3458 fueron inferiores (figura 1).

En general, el bajo desarrollo en longitud de tallos alcanzado por las variedades se debió a las condiciones de sequía debido al fuerte verano que se presentó en la región, y que afectó significativamente la fase inicial de

desarrollo del cultivo. Sin embargo, es destacable que a pesar de dichas condiciones climáticas adversas, se pudo observar la capacidad de recuperación de la elongación de los tallos en cada una de las variedades.

La población de tallos por metro lineal de las variedades evaluadas respecto al testigo RD 75-11, se ilustra en la figura 2, donde se aprecia que CC 93-714, CC 93-7510, CC 92-2965 y CCSP 89-43 la superaron en 1,8; 1,3; 0,5 y 0,2 tallos/m, respectivamente, mientras que CC 93-7711, CC 92-2198, CC 99-1405, CC 93-3458 no la superaron. En valores de PT/ha, la variación se dio entre 71.710 y 103.932 tallos, siendo CC 93-714 la más sobresaliente, con una diferencia sobre la RD 75-11 de 14.017 tallos/ha por encima del valor alcanzado por la testigo RD 75-11 cuya PT/ha fue de 89.915 tallos, siguiéndole CC 93-7510 con 10.342 tallos, CC 92-2965 con 4.102 tallos y finalmente CCSP 89-43 con 1.802 tallos/ha por encima del valor de la testigo.

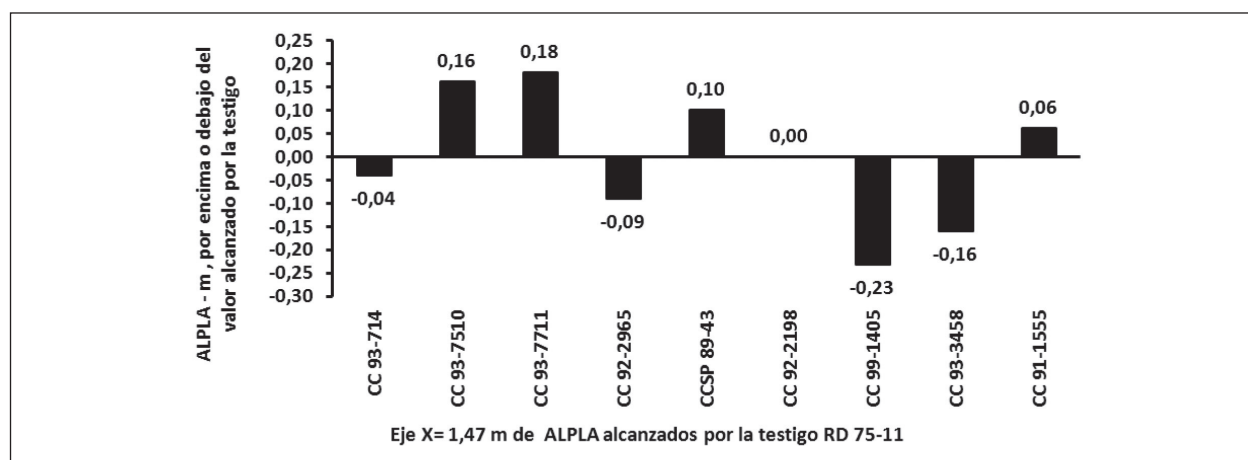


Figura 1. Altura de planta en 9 variedades de caña para producción de panela respecto al testigo RD 75-11 a los 15 meses de edad

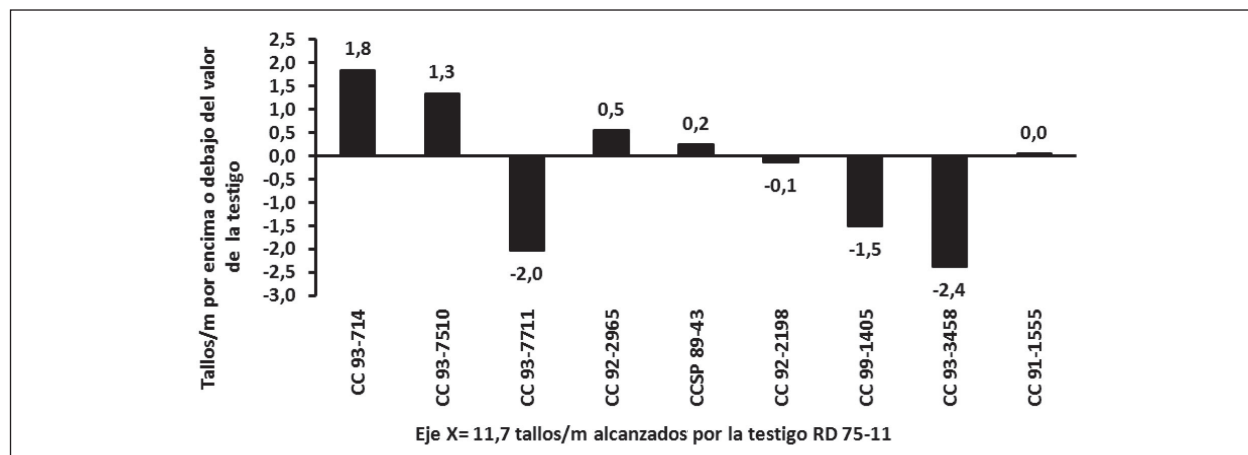


Figura 2. Población de tallos por metro de 9 variedades de caña para producción de panela respecto al testigo RD 75-11 a los 15 meses de edad

Respecto al diámetro de tallos, se observó que la variedad CC 93-7711, a pesar de no presentar una población de tallos adecuada, compensó esta deficiencia con un buen grosor ($> 2,51$ cm) de los mismos. Caso contrario sucedió con las variedades CC 93-714 y CC 93-7510, cuyo diámetro de tallos fue inferior ($< 2,51$ cm) y que las clasifica con tallos delgados, pero su población de tallos superó al resto de variedades (tabla 2).

En relación con el contenido de SST en los jugos ($^{\circ}$ Brix) y el índice de madurez (IDM) de las 10 variedades a los 15 meses de edad, para planificación de cosecha, se observa

que en CC 92-2198 y CC 99-1405, con 17,12 y 17,62 $^{\circ}$ Brix respectivamente, fueron inferiores al rango que normalmente para cosecha se ha alcanzado en la región de la Hoya del Río Suárez (HRS) y que suele variar entre 18 y 22 $^{\circ}$ Brix (figura 3). El resto de variedades estuvieron dentro de dicho rango, indicando su buen potencial en la concentración de azúcares. Es importante señalar que las variedades al momento del corte tenían 16,73 meses de edad y que los resultados obtenidos a los 15 meses -fecha en que se realizó la evaluación agronómica- presentaron algunas variaciones no significativas, en especial, en lo relacionado con el contenido de SST e IDM.

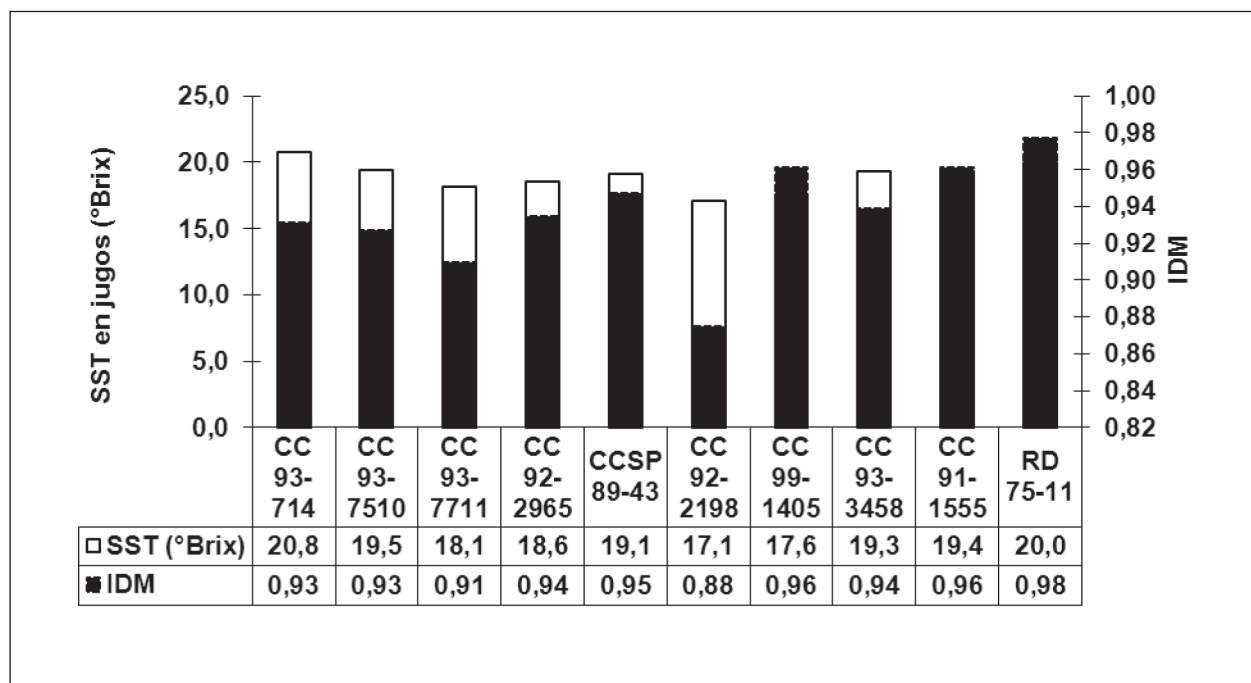


Figura 3. Relación de $^{\circ}$ Brix e índice de madurez en 10 variedades de caña promisorias para la producción de panela a los 15 meses de edad

Evaluación industrial de los materiales genéticos en molienda comercial. Una vez determinado el estado de madurez de los materiales a los 15 meses de edad, cuando se observaron condiciones de madurez adecuadas, se planificó la cosecha y transformación a panela de las variedades en estudio; actividad que se realizó a los 16,73 meses de edad (502 días).

La ubicación y el comportamiento experimental en estado de plantilla de cada material en la curva de iso-productividad, para las variables toneladas de caña/ha (TCH), toneladas de panela/ha (TPH) y porcentaje de conversión o rendimiento en panela (RP%) se muestran en la figura 4. En esta figura se muestra la producción

final obtenida por cada variedad. De acuerdo con lo anterior, es destacable el comportamiento de cinco variedades (CC 92-2198, CC 93-7711, CC 91-1555, CC 93-7510 y CCSP 89-43) que superaron la producción promedio de 139 TCH (8,31 TCHM) y 17 TPH (1,02 TPHM), respecto a la variedad testigo RD 75-11 que se ubicó por debajo de estos valores. Además, el rendimiento a panela (RP%) de las variedades CC 92-2198 y CC 93-7711 superó el 10,0%; es decir, que por cada tonelada de caña procesada estas dos variedades podrían superar los 100 kg de panela. La tendencia de las otras tres variedades fue a presentar un RP% inferior a 10%; sin embargo, sus producciones promedio de TCH y TPH fueron relevantes.

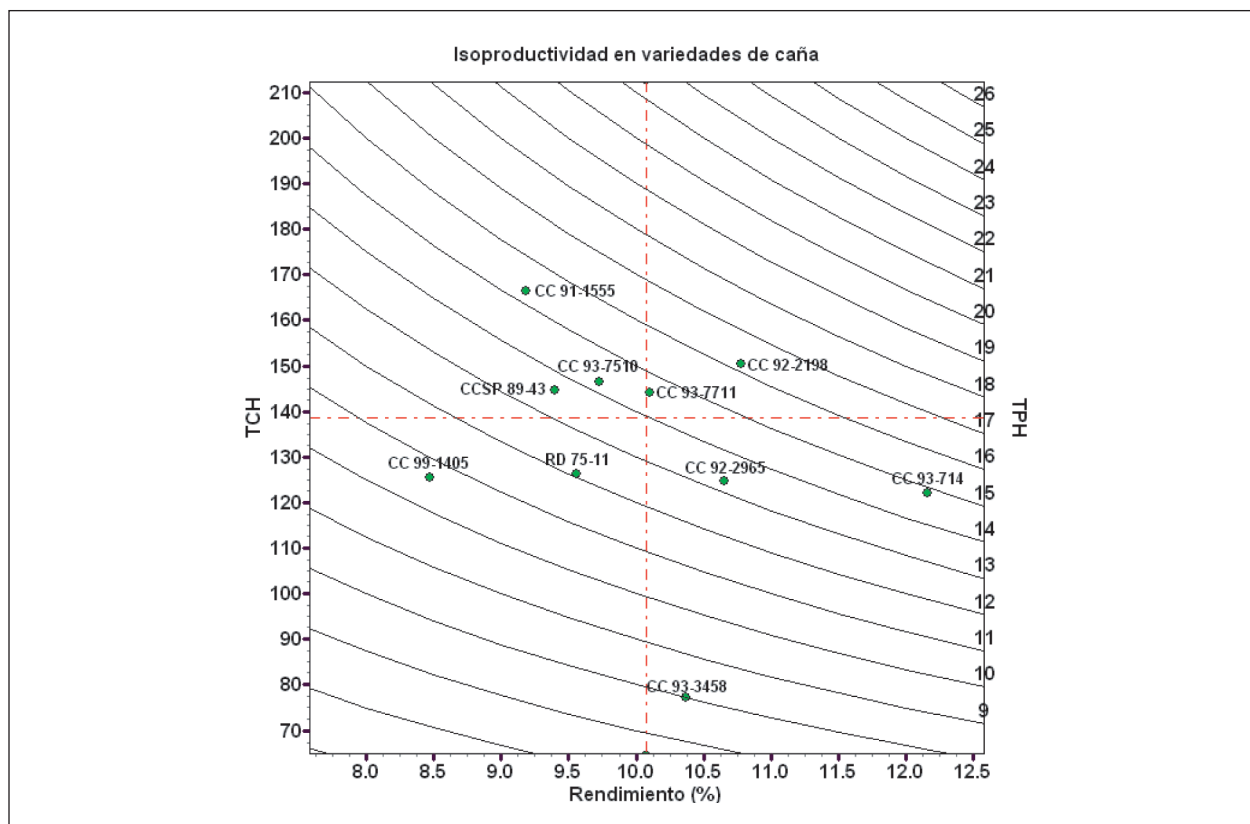


Figura 4. Isoproductividad en 10 variedades promisorias de caña para producción de panela. Primer corte, 16,73 meses de edad, finca Buenos Aires, Güepsa, Santander, 2013

Se observó una diferencia relativa positiva en toneladas de caña por hectárea en cinco variedades con relación al testigo RD 75-11 (figura 5). A excepción de CC 93-714, CC 92-2965, CC 99-1405 y CC 93-3458 que presentaron respectivamente valores de 4,2; 1,6; 0,7 y 49 t, por debajo de lo obtenido con RD 75-11 que fue de 126,2 TCH, el

resto de variedades superaron dicha producción. Según lo anterior, en orden de importancia por producción de caña se ubicaron CC 91-1555, CC 92-2198, CC 93-7510, CCSP 89-43 y CC 93-7711 con tonelajes de 40,3; 24,2; 20,2 y 18,0 t, respectivamente.

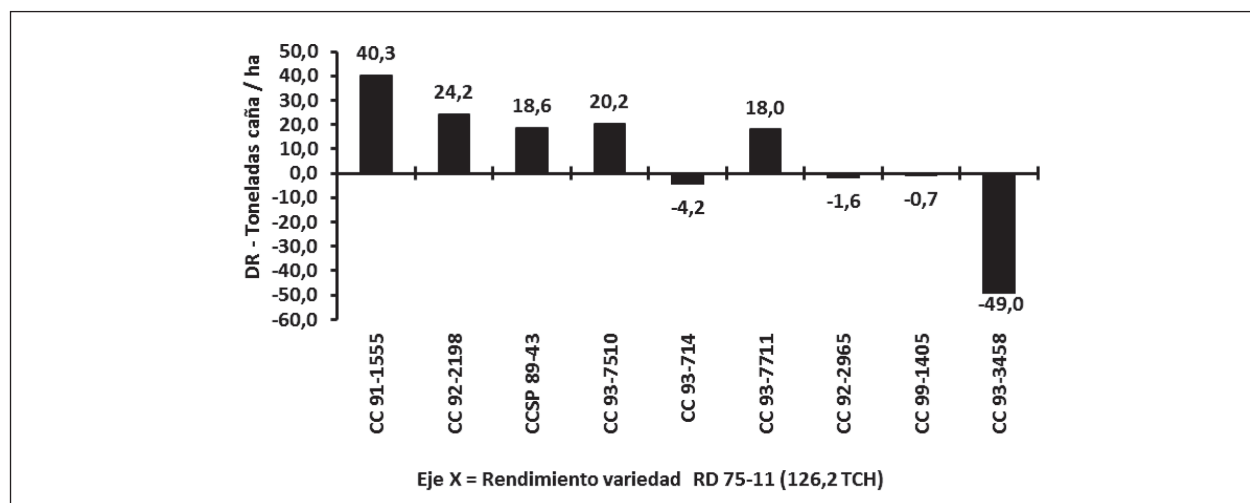


Figura 5. Diferencia relativa de toneladas de caña por hectárea de 9 variedades con relación a la variedad testigo RD 75-11. Primer corte comercial, 16,73 meses de edad

Se observó una diferencia relativa positiva en producción de panela por hectárea en 7 variedades con relación a la variedad testigo RD 75-11 que produjo 12,1 TPH. Esta

diferencia relativa varió entre 1,2 y 4,2 toneladas. Las variedades CC 99-1405 y CC 93-3458 no superaron la producción de panela obtenida por el testigo (figura 6).

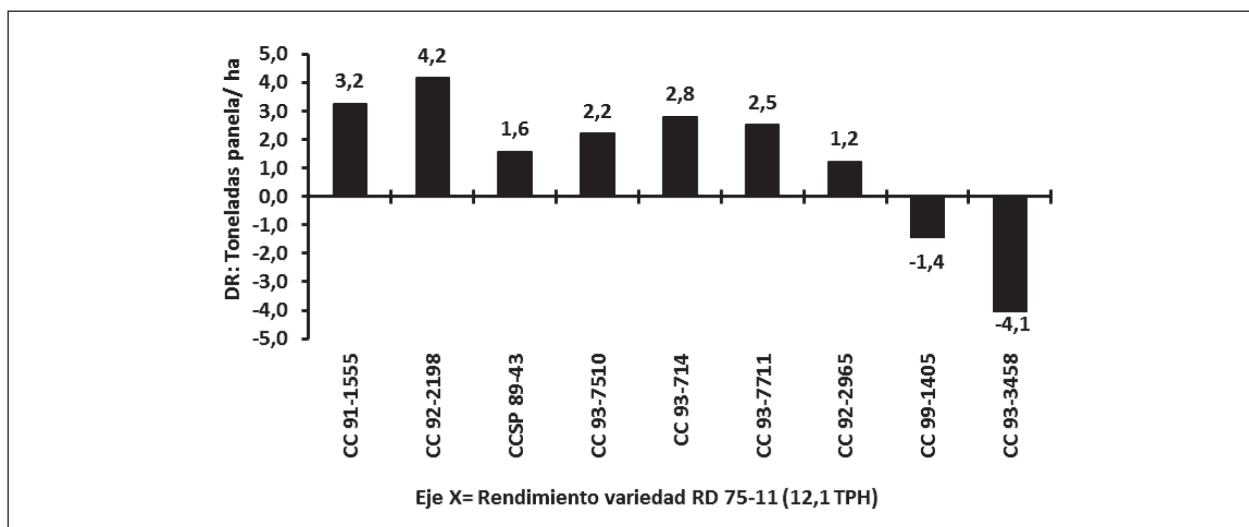


Figura 6. Diferencia relativa de toneladas de panela por hectárea de 9 variedades de caña con relación a la variedad testigo RD 75-11. Primer corte comercial, 16,73 meses de edad

Con relación al rendimiento en panela (RP%), las variedades CC 93-7711, CC 92-2198, CC 92-2965, CC 93-714 y CC 93-3458, en la molienda comercial, variaron entre 10% y 12,5%; lo cual significa que se recuperaron entre 100 y 125 kg de panela por tonelada de caña procesada. Los valores en RP% de las variedades CC 91-1555, CC 93-7510, CCSP 89-43, CC 99-1405 y RD 75-11 oscilaron entre 8,5% y 10%.

En cuanto a TCH, TPH y RP%, es destacable el comportamiento de 5 de los 10 materiales en estudio. Sin embargo, y de acuerdo con la valoración suministrada por productores de caña de la región, en procesos de evaluación participativa sobresale la preferencia de CC 93-7711 gracias a sus características agronómicas y a que en los procesos de evaluación agroindustrial ha demostrado un comportamiento deseable para la producción de caña y panela. Tal es así que superó los rendimientos de la variedad regional RD 75-11 en 18 TCH y 2,5 TPH, por lo cual Corpoica entregó al sector productivo esta nueva variedad de caña en noviembre de 2013.

Caracterización fisicoquímica de los jugos y panela de las variedades en estudio

En jugos, el contenido de sólidos solubles o °Brix osciló entre 17,70 con la variedad CC 93-7711 y 21,42 con la

variedad CC 93-714, con un promedio de 19,41 °Brix. Según lo reportado por Durán (2010), los grados Brix de los jugos normalmente deben fluctuar entre 16 y 24. El pH de los jugos varió entre 5,62 con la variedad CCSP 89-43 y 5,96 con CC 93-7711, con un promedio de 5,76, en comparación con lo reportado para zonas paneleras que es de 5,0 a 5,2 (Insuasty *et al.*, 2003). En general, los valores de pH obtenidos con las variedades estuvieron por encima de estos rangos previamente reportados en estudios de Corpoica. El contenido en porcentaje de sacarosa fluctuó entre 16,60% con la variedad CC 93-7711 y 20,12% con CC 93-714 y un promedio de 18,09%. Valores de sacarosa por debajo de 18% pueden considerarse bajos. La variación en el contenido de azúcares reductores se dio entre 1,0% y 1,8%, con un promedio de 1,32%, valores considerados normales para un proceso de cristalización o cuajado de la panela. El contenido de fosfatos en los jugos, y de acuerdo con las variedades, presentó alta variabilidad, y su oscilación se dio entre 47 y 132 ppm, con un promedio de 99,10 ppm. Factor este que debería considerarse en posteriores estudios, ya que las deficiencias de este elemento en los jugos podrían inducir dificultades durante el proceso de limpieza y clarificación de los jugos. En la tabla 3 se muestran estos resultados del análisis fisicoquímico realizado a las muestras de jugo de las 10 variedades.

Tabla 3. Análisis fisicoquímico en jugos de 10 variedades de caña para producción de panela. Molienda comercial, primer corte 16,73 meses

Variedad	Sólidos solubles (°Brix)	pH	% sacarosa	% azúcares reductores	Fosfatos ppm
CC 93-7510	19,88	5,65	18,68	1,2	132
CC 99-1405	18,75	5,73	17,15	1,6	128
CC 92-2198	18,66	5,80	16,86	1,8	104
RD 75-11	19,74	5,82	18,74	1,0	47
CC 93-7711	17,70	5,96	16,60	1,1	79
CC 92-2965	18,45	5,79	17,05	1,4	81
CC 93-3458	19,71	5,83	18,51	1,2	108
CC 91-1555	20,07	5,68	18,67	1,4	91
CCSP 89-43	19,67	5,62	18,47	1,2	103
CC 93-714	21,42	5,73	20,12	1,3	118
Promedio	19,41	5,76	18,09	1,32	99,10

El contenido de sólidos solubles varió entre 91,9 y 98,1 °Brix, con un promedio de 94,4. De acuerdo con lo citado por Durán (2010), el rango normal para esta variable se ha reportado entre 89% y 95%; según esto, los valores obtenidos estarían contemplados dentro de lo normal en panela. El pH varió entre 5,67 y 5,91 con un promedio de 5,82, rango que estaría dentro de lo permitido en la resolución 779 de 2006 del Ministerio de la Protección Social establecido para panela (5,5 a 6,5). El contenido de sacarosa fluctuó entre 81% y 91,3% con un promedio de 85,5%. De acuerdo con la resolución 779 del 17 de marzo de 2006 del Ministerio de Protección Social, el valor máximo establecido para panela es de 83,0%. Según lo anterior, los valores obtenidos en panela con las variedades en estudio superaron lo establecido por dicha norma; sin embargo, esto no significa que las panelas procesadas, y en las mismas condiciones de proceso, sean de mala calidad o adulteradas. En la tabla 4 se observa el resultado del análisis fisicoquímico

realizado a las muestras de panela procedentes de la molienda comercial.

Lo anterior responde genéticamente a que dichos materiales evaluados proceden de procesos de selección donde la capacidad de concentración de sacarosa en los jugos es determinante en la escogencia de las variedades para zonas azucareras. Por otra parte, en el caso de producción de panela, el contenido de sacarosa en el producto final hace que se tenga un producto de alta calidad, excelente textura y baja percibibilidad en condiciones de almacenamiento.

En cuanto al contenido de humedad en panela, los resultados obtenidos con las variedades evaluadas comercialmente oscilaron entre 2,5% y 8,5% con un promedio de 6,2%. De acuerdo con la norma planteada (Res. 779/2006), el valor máximo no debe ser superior a 9,0%; por lo cual, lo obtenido estaría dentro de lo permitido.

Tabla 4. Análisis fisicoquímico en panela de 10 variedades de caña para producción de panela. Primer corte, molienda comercial a los 16,73 meses

Variedad	Sólidos solubles °Brix	pH	% sacarosa	% azúcares reductores	Fosfatos ppm	% Humedad
CC 93-7510	94,5	5,81	83,3	11,2	485	5,9
CC 99-1405	94,1	5,67	81,0	13,1	555	7,1
CC 92-2198	92,3	5,80	82,5	9,8	387	8,5
RD 75-11	98,1	5,91	91,3	6,8	162	2,5
CC 93-7711	95,3	5,86	88,4	6,9	252	5,5
CC 92-2965	92,5	5,85	84,0	8,5	231	8,2
CC 93-3458	91,9	5,86	84,9	7,0	356	8,6
CC 91-1555	95,8	5,74	87,5	8,3	283	4,6
CCSP 89-43	96,8	5,85	86,1	10,7	674	3,6
CC 93-714	93,0	5,82	86,0	7,0	282	7,1
Promedio	94,4	5,82	85,5	8,9	367	6,2

CONCLUSIONES

A pesar de que el contenido de sacarosa en panela tiende a superar el valor máximo establecido por la norma (83%), el producto final con cada variedad por sus características físicas y químicas se considera de muy buena calidad, por lo que se abre la posibilidad de una modificación a la normatividad actual.

Las variedades CC 91-1555, CC 92-2198, CC 93-7510 y CC 93-7711 superaron en más de 14% la producción de caña alcanzada por RD 75-11 (126,2 t/ha), así como la producción de panela fue superada en más de 20,7%, respecto a las 12,1 t/ha obtenidas con la variedad testigo regional. Por lo anterior estas variedades pueden pasar a etapas de pruebas regionales en diferentes nichos productivos de Colombia.

La variedad CC 93-7711 presentó buena relación entre producción de caña y producción de panela; lo cual es un criterio de selección ya que el sector panelero de la Hoya del Río Suárez aún requiere de materiales de alta producción de biomasa (bagazo) para asegurar eficiencia en el proceso de transformación a panela y

que energéticamente sea autónomo y no consuma fuentes alternas de energía.

Corpoica y Cenicaña pueden entregar oficialmente al sector productivo estas cuatro variedades de caña de azúcar (CC 91-1555, CC 92-2198, CC 93-7510 y CC 93-7711) gracias a su comportamiento agronómico y agroindustrial determinado en el ambiente de producción de zonas de ladera, con aproximadamente 1.600 msnm y \pm 1.500 mm de precipitación al año.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por la financiación, la Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela), la Sociedad Camacho Vanegas Hermanos Ltda., al señor Jorge Quiroga y el equipo técnico de Corpoica sede Cimpa.

En especial al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) por ceder para esta investigación las variedades en estudio y por el valioso respaldo en los procesos técnicos desarrollados.

REFERENCIAS

- Castro Franco H. 1984. Delimitación y caracterización de áreas agroecológicamente homogéneas en los municipios de la cuenca media del río Suárez (Santander) (tesis Magister Scientiae). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 136 p.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). 2013. Catálogo de variedades de caña de azúcar. 3ª. ed. Cali, Prensa Moderna Impresores. 140 p.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 2011. Informe técnico final proyecto de introducción de variedades de caña de azúcar a la Hoya del Río Suárez. Barbosa. 177 p.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane). 2011. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria. Bogotá. 181 p.
- Durán Castro N. 2010. Reingeniería panelera. Tunja, Colombia. Búhos Editores, 244 p.
- Insuasty Burbano O, Manrique Estupiñán R, Palacio Correa O. 2003. Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la Hoya del Río Suárez. Bucaramanga, La Bastilla. 56 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1977. Zona de vida o formaciones vegetales de Colombia. Subdirección agrícola. Bogotá. 238 p.
- República de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Corporación Colombia Internacional (CCI). 2009. Oferta agropecuaria (ENA). Cifras 2009. Bogotá. 194 p.
- República de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). 2010. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia. Bogotá, Giro Editores. 258 p.
- República de Colombia. Ministerio de la Protección Social. Resolución 779 de 2006. Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano. Bogotá.