

# Modelo productivo

de la **caña de azúcar**  
(*Saccharum officinarum*)  
para la producción de panela en  
Cundinamarca

Colección Transformación del Agro



El campo  
es de todos

Minagricultura

# Modelo productivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Cundinamarca

## **Autores**

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray  
Bellanid Huertas Carranza  
Sonia Mercedes Polo Murcia  
Carlos Felipe González Chavarro  
José Luis Tauta Muñoz  
Jader Rodríguez Cortina  
Julio Ramírez Durán  
Fabián Andrés Velásquez Ayala  
John Javier Espitia González  
Ricardo Andrés López Zarazá

Mosquera, Colombia, 2020

Modelo productivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Cundinamarca / Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray [y otros nueve] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

180 páginas (Colección Transformación del Agro)  
Incluye referencias bibliográficas, tablas, fotos, ilustraciones  
ISBN E-book: 978-958-740-330-5

1. Caña de azúcar 2. *Saccharum officinarum* 3. Panela 4. Taxonomía 5. Recursos genéticos vegetales 6. Propagación de plantas 7. Cultivo 8. Riego 9. Análisis de costos 10. Cundinamarca (Colombia)

**Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc**  
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Centro de Investigación La Selva, Kilómetro 7, vía Rionegro-Las Palmas, sector Llanogrande. Rionegro, Antioquia. Código postal 054040, Colombia.

Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto Indicadores de Impacto ambiental de la agroindustria panelera.

Fecha de recepción: 4 de abril de 2018  
Fecha de evaluación: 10 septiembre de 2018  
Fecha de aceptación: 27 agosto de 2019

Colección Transformación del Agro

Publicado en Mosquera, Colombia, marzo 2020

#### Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA  
editorial@agrosavia.co

**Edición:** Liliana Gaona García

**Corrección de estilo:** Paola González Osorio

Línea de atención al cliente: 018000121515  
atencionalcliente@agrosavia.co  
[www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co)

DOI:  
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403305>

**Citación sugerida:** Rodríguez Borray, G. A., Huertas Carranza, B., Polo Murcia, S. M., González Chavarro, C. F., Tauta Muñoz, J. L., Rodríguez Cortina, J., Ramírez Durán, J., Velásquez Ayala, F. A., Espitia González, J. J., & López Zarazá, R. A. (2020). *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

**Cláusula de responsabilidad:** AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.



[https://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](https://co.creativecommons.org/?page_id=13)

## Contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>13</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>13</b>
<b>Capítulo II</b> .....	<b>14</b>
<b>Área geográfica y entorno ambiental</b> .....	<b>14</b>
Área geográfica .....	14
Entorno ambiental .....	15
<b>Capítulo III</b> .....	<b>18</b>
<b>Descripción botánica, taxonomía y clasificación</b> .....	<b>18</b>
El tallo .....	18
Hábito de crecimiento de los tallos.....	20
El entrenudo .....	20
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>22</b>
<b>Taxonomía y clasificación</b> .....	<b>22</b>
<b>Capítulo V</b> .....	<b>24</b>
<b>Recurso genético y propagación</b> .....	<b>24</b>
<b>Capítulo VI</b> .....	<b>47</b>
<b>Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo</b> .....	<b>47</b>
Temperatura .....	47
Luminosidad .....	47
Precipitación .....	48
Vientos .....	48
Altitud.....	49
<b>Capítulo VII</b> .....	<b>50</b>
<b>Manejo del recurso suelo</b> .....	<b>50</b>
Geomorfología .....	50
Textura .....	51
Estructura .....	52
El pH .....	53
Fertilidad y características químicas .....	53
<b>Capítulo VIII</b> .....	<b>57</b>
<b>Sistemas de siembra en el departamento de Cundinamarca</b> .....	<b>57</b>
Época de siembra .....	61

<b>Capítulo IX .....</b>	<b>62</b>
<b>Prácticas culturales .....</b>	<b>62</b>
Riego y drenaje.....	62
Fertilización .....	63
Manejo de arvenses .....	67
<b>Capítulo X.....</b>	<b>77</b>
<b>Manejo integrado de plagas y enfermedades (mipe).....</b>	<b>77</b>
Principales insectos-plaga en el cultivo de caña de azúcar para panela en Cundinamarca.....	77
Barrenador de la caña ( <i>Diatraea</i> spp.).....	77
Salivazo ( <i>Aeneolamia varia</i> F., hemíptero de la familia Cercopidae) .....	81
Picudo rayado de la caña de azúcar ( <i>Metamasius hemipterus</i> L.) .....	82
Cucarrón de invierno ( <i>Podischnus agenor</i> [Olivier]).....	83
Enfermedades causadas por hongos para el cultivo de caña para panela en Cundinamarca.....	85
Carbón ( <i>Ustilago scitaminea</i> H. Syd. & P. Syd.) .....	85
Cogollo retorcido o <i>Pokkah Boeng</i> .....	87
Roya ( <i>Puccinia</i> sp.) .....	88
Enfermedades causadas por bacterias para el cultivo de caña para panela en Cundinamarca.....	90
Escaldadura foliar ( <i>Xanthomonas albilineans</i> (Ashby) Dowson).....	90
Raquitismo de las socas ( <i>Clavibacter xyli</i> subsp. <i>Xyli</i> Davis).....	91
<b>Capítulo XI .....</b>	<b>93</b>
<b>Cosecha.....</b>	<b>93</b>
Corte por entresaque .....	94
Corte por parejo.....	94
<b>Capítulo XII.....</b>	<b>95</b>
<b>Poscosecha.....</b>	<b>95</b>
Alce y transporte .....	95
Apronte.....	96
<b>Capítulo XIII .....</b>	<b>97</b>
<b>Transformación y valor agregado .....</b>	<b>97</b>
Infraestructura de proceso.....	97
Descripción del proceso de elaboración de panela.....	99
Hornillas tradicionales .....	101
Hornillas mejoradas (tipo Cundinamarca) .....	103

<b>Capítulo XIV .....</b>	<b>115</b>
<b>Análisis comparativo rendimiento térmico y ambiental .....</b>	<b>115</b>
<b>Capítulo XV.....</b>	<b>117</b>
<b>Recomendaciones de nuevas tecnologías desarrolladas para la producción de panela en agrosavia.....</b>	<b>117</b>
Cámara de combustión tipo Ward .....	117
Filtro de mangas para la limpieza del jugo de caña .....	118
Tecnología para evaporación en pequeña escala.....	119
<b>Capítulo XVI .....</b>	<b>121</b>
<b>Indicadores económicos .....</b>	<b>121</b>
Agroindustria panelera en Cundinamarca .....	121
Caracterización de la producción panelera de Cundinamarca .....	128
Tipificación de productores de acuerdo con tecnologías de cultivo y proceso..	144
Tipificación según las tecnologías para el cultivo de la caña .....	145
Tipificación según las tecnologías de proceso para la producción de panela .....	148
Costos de producción de panela en Cundinamarca .....	151
<b>Capítulo XVI .....</b>	<b>157</b>
<b>Política ambiental para el subsector panelero.....</b>	<b>157</b>
Guía ambiental para el subsector panelero .....	157
Nama-Panela .....	157
Resolución Sanitaria N.º 779 de 2006.....	158
<b>Los autores .....</b>	<b>159</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>164</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b>	Mapa de Cundinamarca zonas paneleras .....	15
<b>Figura 2</b>	Clasificación del entrenado del tallo de la caña de acuerdo con su forma .....	21
<b>Figura 3</b>	Diagrama de proceso para la producción de panela .....	100
<b>Figura 4</b>	Diseño de hornilla tradicional y función de las pailas .....	102
<b>Figura 5</b>	Diseño de hornilla mejorada tipo Cundinamarca y funciones de las pailas: 1. Clarificación, 2. Evaporación y 3. Concentración .....	104
<b>Figura 6</b>	Cámara de combustión .....	108
<b>Figura 7</b>	Prelimpiador del jugo caña .....	109
<b>Figura 8</b>	Cámara de combustión tipo Ward.....	118
<b>Figura 9</b>	Sistema de filtración de jugos con mangas .....	119
<b>Figura 10</b>	Sistema de evaporación eficiente para pequeños y medianos productores.....	120
<b>Figura 11</b>	Participación de los principales cultivos de Cundinamarca en el área cosechada en el año 2016 .....	122
<b>Figura 12</b>	Evolución del área cosechada y de la producción anual de panela en Cundinamarca (2000-2016).....	123
<b>Figura 13</b>	Tendencias de la producción de panela en Colombia (2007-2016)	126
<b>Figura 14</b>	Tendencias del área cosechada en caña panelera en Colombia (2007-2016) .....	127
<b>Figura 15</b>	Tendencias del rendimiento en panela por hectárea en Colombia (2007-2016) .....	128
<b>Figura 16</b>	Evolución de la producción de panela en municipios de Cundinamarca (2007-2016) .....	131
<b>Figura 17</b>	Concentración de la producción y de la tierra en principales municipios paneleros de Cundinamarca .....	136
<b>Figura 18</b>	Curva de Lorenz de la distribución de la tierra agropecuaria de productores de panela en Cundinamarca .....	137
<b>Figura 19</b>	Curva de Lorenz de la distribución de la tierra agropecuaria de productores de panela en cada municipio .....	138
<b>Figura 20</b>	Coefficiente de Gini de la extensión de las fincas productoras de caña de azúcar para la producción de panela en Cundinamarca ...	139
<b>Figura 21</b>	Curva de Lorenz de la distribución de la producción de panela en Cundinamarca .....	141

<b>Figura 22</b>	Curva de Lorenz de la distribución de la producción de panela en principales municipios.....	142
<b>Figura 23</b>	Créditos otorgados en Cundinamarca, línea de sostenimiento caña panelera (periodo 2005-2017) .....	143
<b>Figura 24</b>	Créditos otorgados en Cundinamarca, línea infraestructura de trapiches paneleros (periodo 2009-2017) .....	144
<b>Figura 25</b>	Variables de tipificación de tecnologías de cultivo .....	146
<b>Figura 26</b>	Presencia municipal de los tipos o clústeres de fincas paneleras en Cundinamarca caracterizados por la tecnología de cultivo de la caña ...	148
<b>Figura 27</b>	Variables de tipificación de tecnologías de proceso.....	149
<b>Figura 28</b>	Presencia municipal de los tipos o clústeres de trapiches en Cundinamarca, caracterizados por la tecnología de procesamiento de la caña para la producción de panela .....	151
<b>Figura 29</b>	Distribución de los costos de producción de acuerdo con la etapa.	153
<b>Figura 30</b>	Costos monetarios y no monetarios por kilogramo producido de panela.....	155

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	Principales componentes del tallo y jugo de caña de azúcar .....	19
<b>Tabla 2</b>	Miembros del género <i>Saccharum</i> .....	23
<b>Tabla 3</b>	Ficha técnica de la variedad RD 75-11 .....	25
<b>Tabla 4</b>	Ficha técnica de la variedad CC 84-75.....	28
<b>Tabla 5</b>	Ficha técnica de la variedad CC 85-92.....	31
<b>Tabla 6</b>	Ficha técnica de la variedad CC 93-7711 .....	34
<b>Tabla 7</b>	Ficha técnica de la variedad CC 93-7510 .....	37
<b>Tabla 8</b>	Ficha técnica de la variedad CC 91-1555 .....	40
<b>Tabla 9</b>	Ficha técnica de la variedad CC 93-714.....	43
<b>Tabla 10</b>	Características de calidad y coloración de panela, para variedades evaluadas en Cundinamarca .....	46
<b>Tabla 11</b>	Zonas de vida ecológicas para el cultivo de caña de azúcar con destino a la producción de panela.....	49
<b>Tabla 12</b>	Suelos frecuentes en los cultivos de caña de azúcar para panela.....	50
<b>Tabla 13</b>	Clasificación de suelos para el cultivo de caña de azúcar para panela ...	54
<b>Tabla 14</b>	Características fisicoquímicas de los suelos en los municipios de Vergara, Nimaima y Quebradanegra, en Cundinamarca .....	55
<b>Tabla 15</b>	Información de evaluación para determinación de productividad en Cundinamarca .....	58
<b>Tabla 16</b>	Densidad de población de plantas de caña de acuerdo con diferentes distancias de siembra .....	59
<b>Tabla 17</b>	Nutrientes extraídos por la caña de azúcar .....	64
<b>Tabla 18</b>	Estimativos y niveles críticos para interpretar el análisis de suelos ...	64
<b>Tabla 19</b>	Recomendación con base en los niveles críticos.....	65
<b>Tabla 20</b>	Requerimientos nutricionales .....	66
<b>Tabla 21</b>	Arvenses en el cultivo de caña de azúcar para panela, taxonomía y morfología .....	68
<b>Tabla 22</b>	Herbicidas utilizados en cultivos de caña de azúcar .....	75
<b>Tabla 23</b>	Descripción de los índices de evaluación para taladradores en caña de azúcar .....	79
<b>Tabla 24</b>	Programa de control biológico de <i>Diatraea</i> , de acuerdo con el nivel de daño.....	80
<b>Tabla 25</b>	Descripción de la escala de Guayana para clasificar la reacción varietal de la caña de azúcar al carbón ( <i>Ustilago scitaminea</i> ) .....	86

**Tabla 26** Escala de valoración para el cogollo retorcido de la caña de azúcar .... 87

**Tabla 27** Escala para la clasificación de resistencia de la caña de azúcar a las royas ..... 89

**Tabla 28** Escala de grados para la valoración de la Escaldadura Foliar de la Caña de Azúcar (*Xanthomonas albilineans*)..... 91

**Tabla 29** Capacidad de producción de las hornillas paneleras en Cundinamarca.... 98

**Tabla 30** Capacidad de producción de panela promedio por trapiche en los diferentes municipios paneleros de Cundinamarca ..... 99

**Tabla 31** Características generales del molino de hornillas tradicionales ..... 105

**Tabla 32** Características generales del molino de hornillas tipo Cundinamarca.... 106

**Tabla 33** Tipos de pailas utilizadas en el departamento de Cundinamarca..... 113

**Tabla 34** Variables medidas y calculadas para la evaluación final ..... 115

**Tabla 35** Evolución de la producción de panela 2000-2016..... 124

**Tabla 36** Indicadores de producción de la agroindustria de la panela en Cundinamarca, año 2016 ..... 130

**Tabla 37** Comportamiento de Cundinamarca frente a otras zonas productoras de panela ..... 133

**Tabla 38** Proporción de fincas paneleras en Cundinamarca por rangos de tamaño ..... 134

**Tabla 39** Participación por decil en el área total de las fincas paneleras y del área sembrada con caña de azúcar para panela en Cundinamarca ..... 135

**Tabla 40** Proporción del área de la finca dedicada a la caña y su distribución según el tamaño de la finca panelera en Cundinamarca ..... 140

**Tabla 41** Capacidad de hornilla en fincas paneleras de Cundinamarca..... 140

**Tabla 42** Tipos de fincas paneleras en Cundinamarca de acuerdo con la tecnología utilizada en el cultivo de la caña..... 147

**Tabla 43** Clústeres de tecnologías de proceso para producción de panela en Cundinamarca ..... 150

**Tabla 44** Estructura de costos de producción por kilogramo de panela producido en Cundinamarca (pesos corrientes de 2016) ..... 152

## Introducción

En Colombia, la producción de panela es una de las agroindustrias más tradicionales, que a pesar de su antigüedad continúa cumpliendo importantes funciones desde el ámbito social, económico y de seguridad alimentaria. De hecho, la agroindustria panelera es un ejemplo de las llamadas agroindustrias rurales, la cual —mediante operaciones agrícolas y de proceso— cuenta con más de 70.000 cultivadores de caña de pequeña a mediana escala, quienes realizan el procesamiento de la caña en cerca de 18.000 trapiches, distribuidos principalmente en los diferentes departamentos de la región Andina del país. Desde el punto de vista social, la panela representa una importante actividad que genera empleo e ingresos a cerca de 350.000 personas, quienes se vinculan como trabajadores en las faenas agrícolas y de molienda (Rodríguez, 2004). De hecho, la agroindustria panelera se sigue considerando la segunda actividad generadora de empleo en las áreas rurales del país, después de la producción de café.

En la dimensión económica, la panela aporta el 1,4 % al Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2017), siendo considerada una de las actividades de mayor importancia dentro de las llamadas economías campesinas o de agricultura familiar, pues es desarrollada en esquemas donde una buena parte de los recursos invertidos en mano de obra, semillas, abonos orgánicos, clarificantes naturales y otros insumos corresponden a recursos propios del productor y su familia, constituyéndose la producción panelera en una fuente de ingresos y de autoconsumo vital para el mantenimiento y reproducción de la unidad familiar.

Desde el ámbito de la seguridad alimentaria, la panela es considerada un alimento básico en la alimentación de los colombianos (Flórez, 2013). En este sentido, de acuerdo con las cifras del balance alimentario más reciente publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2017), en Colombia para el año 2013 la panela, con un consumo promedio per cápita anual de 24 kg, aportaba cerca de 236 kilocalorías/persona/día, que representa cerca del 8 % al consumo calórico de la población.

Los anteriores indicadores permiten afirmar que la agroindustria panelera es clave para mantener y consolidar la estabilidad socioeconómica en varias regiones rurales del país, y para contribuir a la seguridad alimentaria de una

gran parte de la población a nivel urbano y rural. Sin embargo, para garantizar su permanencia y favorecer las condiciones del fortalecimiento es necesario mejorar el desempeño en términos de competitividad en los mercados internos y externos, asegurando la participación remunerativa para los pequeños y medianos productores y la preservación de los recursos naturales y el ambiente, en beneficio de las generaciones actuales y futuras (Ramírez, 2017).

Dada la gran importancia de la agroindustria panelera para el agro y la sociedad colombiana, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) la ha incluido como uno de los principales rubros dentro de su agenda, desarrollando y adaptando múltiples ofertas tecnológicas para el mejoramiento del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar para la elaboración de panela. Dentro de esa agenda corporativa, AGROSAVIA está compendiando y sistematizando los modelos tecnológicos de las regiones paneleras más representativas del país, con el ánimo de que sirvan de consulta para los productores y procesadores de caña y panela, a asistentes técnicos y extensionistas del gremio y de los municipios paneleros, así como a diversos actores del área científica y académica, interesados en el estudio de esta agroindustria.

En este documento se presenta el modelo productivo de caña de azúcar destinada a la producción de panela en el departamento de Cundinamarca, el cual incluye la descripción de las áreas de cultivo, la descripción de la especie, los requerimientos climáticos y de suelo, la descripción de la tecnología y recomendaciones para el manejo del cultivo de la caña, la cosecha, la postcosecha y la transformación en panela, brindando a su vez algunos indicadores técnicos, económicos y ambientales de la producción panelera en el departamento.

Lo anterior teniendo en cuenta que, como lo describe Rodríguez (2004), buena parte de la producción de panela se hace bajo esquemas de economía campesina, y es la principal actividad económica y estrategia de empleo de más de 70.000 familias campesinas; además, la producción dinamiza la economía de las regiones, al vincular a trabajadores rurales, transportadores, mecánicos, comerciantes, entre otros. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2017), el proceso productivo de caña panelera se presenta en su mayoría en cultivos de áreas menores, en los que prevalece la mano de obra familiar.

## Capítulo I

### Justificación

Cundinamarca es el departamento colombiano con la mayor superficie dedicada al cultivo de la caña de azúcar para panela, con el 20,8 % del área cosechada en este cultivo; y en términos de producción, registra el 15,4 % de la panela que se produce en el país, siendo considerado el segundo departamento productor de panela después de Santander (Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano [Agronet], 2017). Dentro de la economía agrícola departamental, la caña en Cundinamarca es el segundo cultivo en importancia en términos de área cosechada (16,2 %), después de la papa (24,8 %) y superando el área que se destina al cultivo del café (13,6 %) (Agronet, 2017).

En el departamento de Cundinamarca se registran rendimientos promedio de 4,5 toneladas de panela por hectárea. Para el 2016, la producción total del departamento fue de 176.856 toneladas de panela, lo cual representa una reducción del 4,6 %, con respecto a la producción reportada en el año 2007. Esta reducción en la producción está asociada con una reducción del 2,9 % en el área cosechada y del 1,7 % en el rendimiento durante el periodo 2007-2016 (Agronet, 2017).

Desde el punto de vista ambiental, los agroecosistemas de caña panelera en Cundinamarca, *a priori*, pueden ser considerados conservacionistas y de soporte a la prestación de servicios ecosistémicos (SE), ya que algunas de las prácticas tradicionales como el corte de tallos por entresaque y la baja renovación de los cultivos brindan protección al suelo frente a la erosión, permiten el ciclaje de nutrientes, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad.

Dada la importancia económica y social de la caña para la producción de panela en Cundinamarca y la necesidad de mejorar sus parámetros tecnológicos, económicos y productivos, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha considerado pertinente publicar este documento de *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*, el cual recopila las principales características de los sistemas productivos de caña panelera en el departamento, y brinda recomendaciones para el mejoramiento de su cultivo y procesamiento, en beneficio de los productores, procesadores y trabajadores que dependen de esta agroindustria rural.

## Capítulo II

### Área geográfica y entorno ambiental

La descripción del área de influencia geográfica y su entorno ambiental se refiere a las condiciones o elementos que se relacionan con la producción de caña de azúcar para panela en el departamento Cundinamarca.

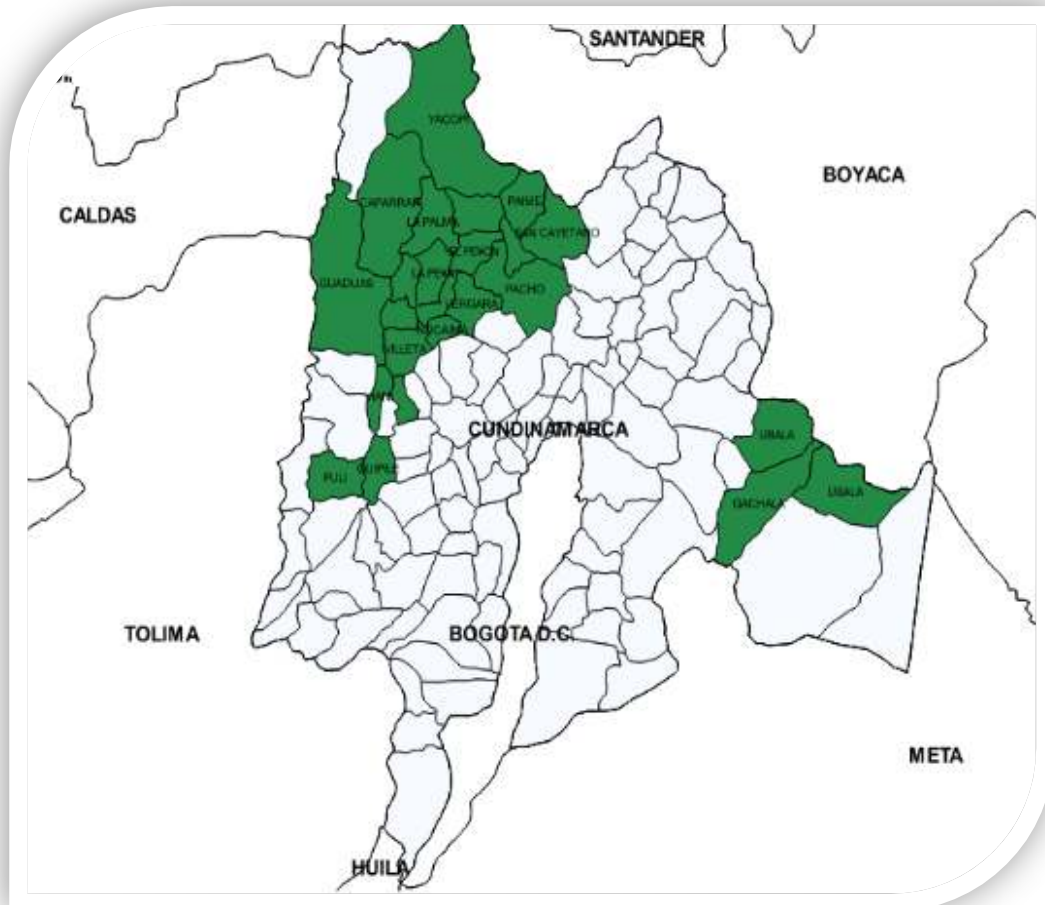
#### Área geográfica

En Cundinamarca, la zona de producción de caña de azúcar para panela está ubicada principalmente al occidente del departamento, en las provincias de Gualivá, Bajo Magdalena, Rionegro y Tequendama, aunque se presentan áreas de menor producción ubicadas en las provincias de Magdalena Medio, Sumapaz y Oriente (figura 1).

En la provincia de Gualivá los principales municipios productores de panela son La Peña, Quebradanegra, Útica, Nimaima, Vergara, Nocaima, Villeta y Sasaima; en la provincia del Bajo Magdalena, los municipios de Caparrapí y Guaduas; en la provincia de Rionegro, los municipios de El Peñón, La Palma, Pacho, Paima, San Cayetano, Topaipí, Villa Gómez y Yacopí, y en la provincia del Tequendama, el municipio de Quipile, principalmente.

La mayor parte de la producción de caña para panela en Cundinamarca se ubica en el flanco occidental de la cordillera oriental, en un rango altitudinal comprendido entre los 400 y los 1.800 metros sobre el nivel del mar. Todo el territorio se extiende sobre un conjunto de estructuras sinclinales y anticlinales, con la presencia de fallas en dirección suroeste y noreste. La topografía de los terrenos varía entre ondulada y fuertemente inclinada, con pendientes que van desde el 20 % y el 80 % de inclinación.

El sistema hidrográfico en su mayoría corresponde a los ríos que atraviesan la región y son tributarios del río Magdalena. Las principales subcuencas hidrográficas que atraviesa la zona panelera corresponden al río Negro y al río Seco. Algunas de las corrientes más importantes son el río Tobia, el río Villeta y un conjunto de numerosas quebradas.



**Figura 1.** Mapa de Cundinamarca zonas paneleras.

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Censo Nacional Agropecuario (CNA) (2014)

## Entorno ambiental

De acuerdo con la clasificación climática propuesta por Köppen, los municipios paneleros de Cundinamarca se encuentran en una zona tropical lluviosa de bosque (Am), representada por una diferencia de temperatura entre el mes más cálido y frío no mayor de 6 °C, con fuertes precipitaciones. El municipio de

Caparrapí es clasificado como tropical lluvioso de selva (Af) cuya precipitación media es superior a 2.000 mm año<sup>-1</sup>, fluctuaciones de temperatura anual entre 18 y 30 °C y con diferencia en temperaturas entre el mes más caluroso y el mes más frío entre 1 y 6 °C (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2000).

De acuerdo con Pabón (2011), entre los años 1971 y 2000 en la zona panelera, la humedad relativa promedio media fluctuó entre 70 y 75 %, la temperatura media estuvo entre 20 °C y 24 °C, y la precipitación varió entre 1.200 y 1.800 mm/año, con un comportamiento bimodal, con picos presentados en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, y con precipitaciones máximas en el mes de octubre y mínimas en el mes de julio. El brillo solar es variable de acuerdo con las épocas del año, pero en promedio varía entre 3,9 y 5,0 horas sol por día (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2014). La variación entre las temperaturas diurna y nocturna es superior a los 9 °C (Rodríguez, Huertas, Tauta, & Polo, 2017b).

De acuerdo con lo descrito por IGAC (2000), el paisaje y tipo de relieve predominante es de montaña, moderadamente escarpado con pendiente del 25 % al 70 %, material parental de ceniza volcánica depositada sobre roca clástica, suelos arcillo-limosos o arcillosos. Los drenajes internos son lentos y los drenajes externos son rápidos, los suelos tienen una profundidad efectiva superficial limitada por fragmentos de roca, con vegetación natural talada.

Al tener en cuenta que el cultivo de caña se desarrolla bien en temperaturas que oscilan entre los 25 y 27 °C, con tolerancia a rangos de temperatura que van de los 20 a 30 °C y precipitaciones pluviales entre 1.500 y 1.750 mm/año, se puede afirmar que desde el punto vista climático el cultivo de la caña está ubicado correctamente, aunque en las épocas secas del año puede enfrentar déficits hídricos que limitan su desarrollo y productividad. Desde el punto de vista edáfico se tienen las mayores limitaciones, pues el cultivo de la caña debe ser establecido preferiblemente en suelos francos y franco arcillosos, profundos y bien drenados, condiciones que, de acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior, son poco frecuentes en la región.

En cuanto al brillo solar, las plantas de caña requieren en promedio de 5 a 8 horas diarias para una óptima actividad fotosintética y variaciones de temperaturas entre el día y la noche superiores a 7 °C para favorecer la acumulación de azúcares en los tallos, lo cual en conjunto contribuye a obtener buenos rendimientos. En ese sentido, la caña en la región tiene un brillo solar que está en el límite bajo de los requerimientos, pero debido a la diferencia entre temperaturas diurna y nocturna se favorece la acumulación de azúcar en los tallos, lo cual se expresa en rendimientos relativamente bajos del cultivo, pero alta concentración de azúcares para el proceso.

## Capítulo III

### Descripción botánica, taxonomía y clasificación

La caña de azúcar botánicamente está constituida como cualquier otra planta por hojas, tallos, raíces y flores, adicionalmente tiene estructuras específicas acompañantes de las hojas, denominadas yaguas, estas poseen aurícula y lígula, en los tallos también se encuentran los entrenudos y nudos, estos últimos están ubicados a lo largo del tallo los cuales dan origen a las yemas que son los puntos de crecimiento laterales de la planta, muy importantes en la reproducción de la especie.<sup>1</sup> A continuación, se describen con mayor amplitud los caracteres agronómicos sobresalientes para la identificación de las variedades de caña de azúcar utilizadas en la producción de panela.

#### El tallo

El tallo en la caña de azúcar es un órgano de gran importancia en la planta, debido a que en él se almacenan los azúcares. La variedad determina la cantidad de tallos por planta, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento, mientras que la altura es dependiente de las condiciones ambientales y del manejo agronómico. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, originados a partir del esqueje (material de siembra) y de las yemas con nuevos brotes subterráneos (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [Cenicaña], 1995).

Los tallos pueden ser primarios —formados al momento de germinación de las yemas— o secundarios —provenientes de las yemas germinadas en tallos primarios que producen nuevos brotes—, y así secuencialmente se forman los tallos terciarios. En algunas variedades, con bastante frecuencia, se presenta un desarrollo vegetativo no uniforme de los tallos en la misma cepa. La falta de

---

<sup>1</sup> Para conocer más información botánica se puede consultar el libro *El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia* (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia [Cenicaña], 1995).

uniformidad en el crecimiento se observa cuando el cultivo no alcanza su desarrollo en el tiempo esperado, generándose una proliferación de nuevos tallos permanentemente, en etapas en la que la planta debería encontrarse en la concentración de azúcares. Los tallos nuevos inmaduros se les llama "chulquines", y cuando son demasiado gruesos se les llama "bretones" (Cenicaña, 1995). Los tallos inmaduros no son adecuados para la molienda por su baja concentración de azúcares, lo cual afecta el rendimiento y la calidad de la panela.

Otra afectación que presenta respuesta en los tallos es la conocida como "lalas", se trata de la germinación de las yemas cuando aún el tallo se encuentra en pie "etapa de desarrollo vegetativo o de maduración", se trata de una respuesta fisiológica de la caña ante la afectación de la dominancia apical por causa de ataques de insectos o enfermedades como la escaldadura de la hoja y el carbón de la caña (*Ustilago scitaminea* Sydow), incluso al aplicar madurantes en el cultivo y no realizar el corte en los tiempos establecidos, se observa este comportamiento como respuesta de la planta para asegurar una nueva fase de cultivo. En ocasiones, la no cosecha de la caña en su punto de maduración ideal hace que esta germinación de yemas se presente de manera progresiva en las yemas ubicadas en el tercio final del tallo. En relación con la composición del tallo, tiene una parte sólida llamada fibra y otra líquida, denominada jugo, que contiene agua y sacarosa, además de otros constituyentes (tabla 1).

**Tabla 1.** Principales componentes del tallo y jugo de caña de azúcar

	Componente	Porcentaje
Tallo	Agua	73-76
	Sólidos (sólidos solubles "brix")	10-16
	Sólidos (fibra seca)	11-16
Jugo	Azúcares (Sacarosa)	75-92
	Azúcares (Glucosa)	70-88
	Azúcares (Fructosa)	2-4
	Sales (inorgánicas)	3,0-3,4
	Sales (orgánicas)	1,5-4,5
	Sales (inorgánicas)	3,0-3,4
	Ácidos orgánicos	1-3
	Aminoácidos	1,5-5,5
Otros	1,5-2,5	

\*En tallos, el porcentaje se refiere a la planta de caña y en el jugo a sólidos solubles.

Fuente: Meade y Chen (1977).

El color de los tallos depende de la variedad; generalmente es verde, sin embargo, puede presentar otras coloraciones, debidas a la presencia de pigmentos como xantofilas (amarillas), carotenos (rojizas), antocianas (moradas) y clorofila (verde).

### **Hábito de crecimiento de los tallos**

Durante el crecimiento, los tallos tienen diferente comportamiento para disponerse, lo cual repercute en la operación de cosecha, puesto que los tallos que crecen en forma erecta facilitan la labor de corte. También se presenta el crecimiento de tallos rectos pero inclinados (ángulo abierto), curvados, postrados y en estados intermedios.

### **El entrenudo**

Es la parte del tallo intermedia entre los nudos. La variedad determina la forma, la longitud y el color, esta última característica sigue patrones genéticos, sin embargo, se ve influenciada por condiciones del medio ambiente, principalmente por la exposición directa a la luz. En relación con sus formas, se encuentran comúnmente tallos cilíndricos, abarrilados, conoidales, obconoidales, constreñidos y coneiformes (figura 2).



**Figura 2** Clasificación del entrenudo del tallo de la caña de acuerdo con su forma.  
Fuente: Elaboración propia

## Capítulo IV

### Taxonomía y clasificación

De acuerdo con Sánchez (1972) la caña de azúcar pertenece a:

**Reino:** Vegetal

**División:** Espermatofitas o Fanerógamas

**Subdivisión:** Angiospermas

**Clase:** Monocotiledóneas

**Orden:** Zácates o glumifloras

**Familia:** Gramíneas

**Género:** *Saccharum*

**Especie:** *Saccharum officinarum* L.

La caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. es actualmente la más cultivada, con un área de 22 millones de hectáreas a nivel mundial (FAO, 2012), de las cuales 474.559 hectáreas las posee Colombia (Murcia & Ramírez, 2017). El género *Saccharum* tiene seis especies: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense* y *S. edule* (D'Hont, Ison, Alix, Roux, & Glaszmann, 1998). *S. officinarum* se considera que fue domesticada de *Saccharum robustum*, sin embargo, cada especie tiene características propias que la diferencia (tabla 2). Además, el número de cromosomas es variable dentro de cada especie: *S. robustum*  $2n = 72$ , *S. officinarum*  $2n = 80$  y *S. spontaneum*  $2n = 36$  hasta 128 (Ming et al., 2006), en el caso de las tres especies restantes del género, se cree que su origen es interespecífico o intergenérico (D'Hont et al., 1998).

**Tabla 2.** Miembros del género *Saccharum*

Especies	Clasificación	Contenido de Azúcar	Número de Cromosomas
<i>S. spontaneum</i> L.	Sp. Silvestre	Muy bajo	2n = 40-128
<i>S. robustum</i> Brandes and Jeswiet. ex Grassl.	Sp. Silvestre	Muy bajo	2n = 60-200
<i>S. officinarum</i> L.	Caña Noble	Alto	2n = 80
<i>S. barberi</i> Jeswiet.	Híbrido Antiguo	Bajo	2n = 111-120
<i>S. sinense</i> Roxb. Amend. Jeswiet.	Híbrido Antiguo	Bajo	2n = 80-124
<i>S. edule</i> Hassk.	Especie cultivada	Bajo - Inflorescencia compacta	2n = 60-80 con formas aneuploides

Fuente: Buzacott (1965) y Daniels y Roach (1987)

## Capítulo V

### Recurso genético y propagación

En Cundinamarca se presenta un alto número de variedades que han sido introducidas desde diferentes zonas productoras de azúcar y de panela del país mediante diferentes procesos, entre los que sobresalen: la entrega de nuevas variedades por parte de la Federación Nacional de Productores de Panela de Colombia (Fedepanela), en el marco de sus programas de repoblamiento y renovación de cultivos; introducciones realizadas por Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (Umatas), Empresas Prestadoras de Servicios de Asistencia Técnica Agropecuaria (EP Sagros), asociaciones de productores y particulares, las cuales son realizadas principalmente desde el Valle del Cauca; asimismo, provienen de variedades utilizadas en la producción de azúcar, sin guardar registro o trazabilidad del material introducido, por lo que posteriormente son denominados con nombres genéricos o comunes como Cubana, Manuelita, Santa Cruz, Palmireña o Vallunas, y finalmente se encuentran las introducciones de materiales de caña seleccionados por AGROSAVIA, con base en criterios agronómicos, fitosanitarios y productivos, a partir de procesos de investigación y evaluación de materiales genéticos promisorios para la producción de panela, los cuales terminan técnicamente con el registro de dichos materiales ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en su registro nacional de cultivares.

Las variedades de mayor dominio comercial para la producción de panela que se reportan para el departamento de Cundinamarca son: POJ 2878; CP 57-603; ZC; RD 75-11; CC 84-75; CC 85-92; CC 93-7711 y CC 93-7510. A pesar de que estos materiales genéticos son los más frecuentes para la fabricación de panela en Cundinamarca, sus características de producción y calidad no los convierten en ideales para el proceso de producción de panela por los bajos rendimientos causados por el ataque de plagas y enfermedades, o simplemente por la baja adaptación que han presentado a las diferentes zonas de producción del departamento. Es importante mencionar que estos materiales han permanecido en la región debido a la baja y, en algunos casos, nula tasa de renovación de cultivos, la cual puede explicarse por las frecuentes caídas del precio de la panela en el mercado, lo que genera incertidumbre frente a poder recuperar la inversión

en nuevas variedades para reemplazar las tradicionales. A continuación, en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se presentan las fichas técnicas con las características morfológicas, agronómicas y productivas de algunas de las variedades de caña de azúcar evaluadas por Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) para la producción de panela en el departamento de Cundinamarca.

**Tabla 3.** Ficha técnica de la variedad RD 75-11



Aspectos morfológicos	
Origen	República Dominicana (RD)
Progenitores	CB 38-22 x CP 57-603
Tallos	Largos, reclinados y curvados
Entrenudos	Cilíndricos, con color amarillo verdoso (expuesto al sol) y amarillo (no hay exposición)
Anillo	Ceroso difuso
Canal de la yema	Pequeño
Nudo	Tiene anillo de crecimiento de color verde
Yema	Ovalada con mechón apical y toca el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, angosta y con la punta doblada
Aurícula	Lanceolada y larga
Yagua	Color verde con poca pelusa

Continúa

Continuación tabla 3

### Aspectos agronómicos

Adaptación	Suelos con buen drenaje, baja nubosidad y alto brillo solar
Germinación	80 %
Macollamiento	10 a 12 tallos por cepa
Deshoje natural	Difícil
Volcamiento de tallos	55 %
Floración	13-14 %
Rajadura de corteza	5 %
Pelusa	Ausente
Altura promedio de planta	3,71 m
Altura de corte	3,12 m
Diámetro de tallos	3,06 cm
Longitud de entrenudos	10,1 cm
Índice de crecimiento (cm/mes)	18,77
Índice de crecimiento (entrenudos/mes)	1,98
Maduración	Semitar día (< 18 meses)
Susceptibilidad a plagas	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.)
Tolerancia a plagas	Infestación por pulgón amarillo ( <i>Sipha flava</i> )
Resistencia a enfermedades	Carbón ( <i>Ustilago scitaminea</i> Sydow), raya clorótica y virus del mosaico común (ScMV)
Susceptibilidad a enfermedades	Raquitismo de las socas "RSD" ( <i>Clavibacter xyli</i> subsp. <i>xyli</i> ), Roya Naranja ( <i>Puccinia kuehnii</i> Kruger) y síndrome de la hoja amarilla
Tolerancia a enfermedades	Mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> ), mancha de ojo ( <i>Helmisthospodium sacchari</i> ) y pokkah-Boeng
Población de tallos por ha (PTH)	112.307
Toneladas de caña por ha (TCH)	135,5-206,9
Toneladas de panela por ha (TPH)	17,31-25,96
Rendimiento en Panela	12,78 %-12,55 %
Toneladas de cachaza por ha	5,77-6,88
Toneladas de melote por ha	3,17-3,78
Toneladas de bagazo por ha	86,71

Continúa

Continuación tabla 3

Aspectos industriales	Jugos	Panela
Sólidos solubles totales (°Brix)	20,8	91,6
Potencial de hidrones (pH)	5,52	5,82
Azúcares reductores	1,05 %	6,4 %
Sacarosa	19,62 %	83,6 %
Pureza	94,12 %	91,25 %
Fósforo	79 ppm	249 ppm
Humedad	-	8,55 %
Presentación de producto (panela)	Instantánea, granulada, pastillas, panelines, redonda y en cubitos	
Presentación de producto (miel)	Apariencia similar a la producida por las abejas, calidad excelente	
Aspectos de calidad y color en panela		
Municipio de Nimaima		
Calidad de panela	Buena (B)	
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 4/6	
Descripción del color	<i>Dark Yellowish Brown</i>	
Municipio de Quebradanegra		
Calidad de panela	Muy buena (MB)	
Escala de Color (tabla Munsell)	7,5 YR 6/8	
Descripción del color	<i>Reddish Yellow</i>	
Municipio de Vergara		
Calidad de panela	Muy buena (MB)	
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 6/8	
Descripción del color	<i>Brownish Yellow</i>	

Fuente: Insuasty, Manrique y Palacio (2003); Osorio (2007); Ramírez, Insuasty y Murcia (2014a)

**Tabla 4.** Ficha técnica de la variedad CC 84-75



Aspectos morfológicos	
Origen	Cenicaña Colombia (CC)
Progenitores	NA 56-79 x ?
Tallos	Largos, erectos y delgados.
Entrenudos	Cilíndricos, con color morado claro (cuando no está expuesta al sol) y violáceo verdoso (cuando lo está)
Anillo	Ceroso, mediano y bien definido
Canal de la yema	No posee
Nudo	Tiene anillo de crecimiento verde amarillento y ancho
Yema	Romboide, mediana con mechón apical y sobrepasa el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, erecta, angosta y con la punta doblada
Aurícula	Recta, asimétrica
Yagua	Color verde intenso con vetas violáceas y poca pelusa

Continúa

Continuación tabla 4

Aspectos agronómicos	
Adaptación	Amplia escala de suelos tolera suelos ácidos con alta saturación de Aluminio, textura liviana a ligeramente pesadas
Germinación	90 %
Macollamiento	14 a 16 tallos por cepa
Deshoje natural	Bueno
Volcamiento de tallos	20 %
Floración	<3 %
Rajadura de corteza	2 %
Pelusa	Poca - Rala
Altura promedio de planta	3,05 m
Diámetro de tallos	3,01 cm
Longitud de entrenudos	8,13 cm
Índice de crecimiento (cm/mes)	17,9
Índice de crecimiento (entrenudos/mes)	2,4
Maduración	Semiprecoz (<17 meses)
Susceptibilidad a plagas	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.) y al pulgón amarillo ( <i>Sipha flava</i> )
Altamente susceptible	Hormiga loca ( <i>Paratrechina fulva</i> Mayr) y sus simbiontes asociados ( <i>Sacchariscoccus sacchari</i> , <i>Melanaphis sacchari</i> , <i>Pulvinaria</i> sp. y Fumaginas)
Resistencia a enfermedades	Carbón ( <i>Ustilago scitaminea</i> Sydow), Pokkah-Boeng, raya clorótica, roya ( <i>Puccinia melanocephala</i> ) y virus del mosaico común (ScMV)
Susceptibilidad a enfermedades	Escaldadura de las hojas ( <i>Xanthomona albicans</i> ) y síndrome de la hoja amarilla
Tolerancia a enfermedades	Pokkah-Boeng, mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> ) y mancha de ojo ( <i>Helminthosporium sacchari</i> )
Población de tallos por ha (PTH)	114.256
Toneladas de caña por ha (TCH)	120-204,6
Toneladas de panela por ha (TPH)	11,17-25,14
Rendimiento en Panela	9,31 %-12,29 %
Toneladas de cachaza por ha	4,33-3,98
Toneladas de melote por ha	2,39-2,19
Toneladas de bagazo por ha	88,9

Continúa

Continuación tabla 4

<b>Aspectos industriales</b>	<b>Jugos</b>	<b>Panela</b>
Sólidos solubles totales (°Brix)	21,8	90,7
Potencial de hidrones (pH)	5,26	5,77
Azúcares reductores	0,78 %	9,06 %
Sacarosa	19,56 %	77,1 %
Pureza	92,2 %	85,1 %
Fósforo	155,2 ppm	420,7 ppm
Humedad	-	9,45 %
Presentación de producto (panela)	Instantánea, granulada, pastillas y en cubos	
Presentación de producto (miel)	Calidad excelente, por viscosidad y color	
<b>Aspectos de calidad y color en panela</b>		
Calidad de panela	Buena (B)	
Escala de color (tabla Munsell)	10 YR 4/6	
Descripción del color	<i>Dark Yellowish</i>	

Fuente: Insuasty et al. (2003); Ranjel, Viveros, Amaya, Gómez, Victoria y Ángel (2003); Osorio (2007); Victoria et al. (2013); Ramírez et al. (2014a)

**Tabla 5.** Ficha técnica de la variedad CC 85-92



Aspectos morfológicos	
Origen	Cenicaña Colombia (cc)
Progenitores	Co 775 x ?
Tallos	Largos, curvado y reclinados
Entrenudos	Cilíndricos, con color morado (joven) y amarillo verdoso (madura)
Anillo	Ceroso y bien definido
Canal de la yema	No posee
Nudo	Tiene anillo de crecimiento verde violáceo, ancho y prominente
Yema	Orbicular y protuberante, con vestidura marginal y no sobrepasa el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, angosta, erectas y con la punta doblada
Aurícula	Deltoide
Yagua	Color verde con tintes violáceos y poca pelusa

Continúa

Continuación tabla 5

### Aspectos agronómicos

Adaptación	Baja adaptación a zonas paneleras, solo en alturas hasta los 1.200 m s. n. m., en suelos con buenos contenidos de materia orgánica, ligeramente ácidos y con baja saturación de Aluminio
Germinación	85 %
Macollamiento	10 a 13 tallos por cepa
Deshoje natural	Bueno
Volcamiento de tallos	15 %
Floración	No presenta
Rajadura de corteza	No presenta
Pelusa	Escasa - Rala
Altura promedio de planta	2,85 m
Diámetro de tallos	2,98 cm
Longitud de entrenudos	9,72 cm
Maduración	Semitardeo (<19 meses)
Susceptibilidad a plagas	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.)
Resistencia a plagas	Pulgón amarillo ( <i>Sipha flava</i> ) Hormiga loca ( <i>Paratrechina fulva</i> Mayr) y sus simbiontes asociados
Tolerancia a plagas	( <i>Sacchariscoccus sacchari</i> , <i>Melanaphis sacchari</i> , <i>Pulvinaria</i> sp., y Fumaginas)
Resistencia a enfermedades	Carbón ( <i>Ustilago scitaminea</i> Sydow), Pokkah-Boeng, raya clorótica, roya ( <i>Puccinia melanocephala</i> ) y virus del mosaico común (ScMV)
Susceptibilidad a enfermedades	Mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> ) y mancha de ojo ( <i>Helmisthospodium sacchari</i> )
Población de tallos por ha (PTH)	117.068
Toneladas de caña por ha (TCH)	142,1
Toneladas de panela por ha (TPH)	17,01
Rendimiento en Panela	11,97 %

Continúa

Continuación tabla 5

Toneladas de cachaza por ha	5,17	
Toneladas de melote por ha	2,41	
Toneladas de bagazo por ha	64,3	
<b>Aspectos Industriales</b>		<b>Jugos</b>
Sólidos solubles totales (°Brix)	20,9	88,96
Potencial de hidrones (pH)	5,26	5,86
Azúcares reductores	1,02 %	6,69 %
Sacarosa	18,9 %	75,52 %
Pureza	90,96 %	92,5 %
Fósforo	190,8 ppm	446,21 ppm
Humedad	-	11,14 %
Presentación de producto (Panela)	Instantánea, granulada, pastillas, redonda y en cubos	
Presentación de producto (Miel)	Calidad excelente.	
<b>Aspectos de calidad y color en panela</b>		
Calidad de panela	Buena (B)	
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 4/6	
Descripción del color	<i>Dark yellowish</i>	

Fuente: Insuasty et al. (2003); Ranjel et al. (2003); Victoria et al. (2013)

**Tabla 6.** Ficha técnica de la variedad CC 93-7711



**Aspectos morfológicos**

Origen	Cenicaña Colombia (cc)
Progenitores	PR 61-632 × A
Tallos	Medianos, reclinados, curvados y gruesos
Entrenudos	Constreñido, con color verde
Anillo	Ceroso difuso
Canal de la yema	Pequeño
Nudo	Tiene anillo de crecimiento ancho y prominente
Yema	Romboide y achatada, toca el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, angosta, posición abierta y color verde normal
Aurícula	Falcata
Yagua	Color verde con abundante pelusa

Continúa

Continuación tabla 6

Aspectos agronómicos		
Adaptación	Amplia a suelos de baja fertilidad. La variedad es considerada eficiente con el uso del agua (Viveros, 2011)	
Germinación	90 %	
Deshoje natural	Fácil	
Volcamiento de tallos	No presenta	
Floración	Ausente	
Rajadura de corteza	No presenta	
Pelusa	Abundante	
Altura promedio de planta	2,95 m	
Altura de corte	2,59 m	
Diámetro de tallos	3,18 cm	
Longitud de entrenudos	9,0 cm	
Índice de crecimiento (cm/mes)	11,64	
Índice de crecimiento (entrenudos/mes)	1,85	
Maduración	Semitardía (<18 meses)	
Susceptibilidad a plagas	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.)	
Tolerancia a enfermedades	Mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> ) y mancha de ojo ( <i>Helminthosporium sacchari</i> )	
Población de tallos por ha (PTH)	98.714	
Toneladas de caña por ha (TCH)	225,29	
Toneladas de panela por ha (TPH)	26,18	
Rendimiento en Panela	11,62 %	
Toneladas de cachaza por ha	5,36	
Toneladas de melote por ha	2,96	
Toneladas de bagazo por ha	101,55	
Aspectos industriales	Jugos	Panela
Sólidos solubles totales (°Brix)	20,9	93,6
Potencial de hidrones (pH)	5,57	5,73
Azúcares reductores	0,85 %	8,3 %
Sacarosa	19,7 %	83,6 %
Pureza	94,5 %	89,3 %
Fósforo	189 ppm	610 ppm
Humedad	-	7,65 %
Presentación de producto (Panela)	Instantánea, granulada, pastillas, panelines, redonda y en cubitos	

Continúa

Continuación tabla 6

**Aspectos de calidad y color en panela**

Municipio de Nimaima	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	7.5 YR 6/8
Descripción del color	<i>Reddish yellow</i>
Municipio de Quebradanegra	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 5/6
Descripción del color	<i>Yellowish brown</i>
Municipio de Vergara	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	7.5 YR 6/8
Descripción del color	<i>Reddish yellow</i>

Fuente: Insuasty et al. (2003); Victoria et al. (2013); Ramírez et al. (2014a); Insuasty y Barona (2016)

**Tabla 7.** Ficha técnica de la variedad CC 93-7510



Aspectos morfológicos	
Origen	Cenicaña Colombia (CC)
Progenitores	V 71-51 × A
Tallos	Medianos, reclinados, curvados y gruesos
Entrenudos	Cilíndrico, con color verde amarillento
Anillo	Ceroso y bien definido
Canal de la yema	Presente
Nudo	Tiene anillo de crecimiento ancho y prominente
Yema	Triangular, prominente y sobrepasa el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, anchas, posición abierta, color verde claro y con las puntas dobladas
Aurícula	Recta
Yagua	Color verde con poca pelusa

Continúa

Continuación tabla 7

Aspectos agronómicos		
Adaptación	Amplia a suelos de baja fertilidad	
Germinación	90 %	
Deshoje natural	Fácil	
Volcamiento de tallos	No presenta	
Floración	Ausente	
Rajadura de corteza	No presenta	
Pelusa	Escaso	
Altura promedio de planta	2,91 m	
Altura de corte	2,48 m	
Diámetro de tallos	2,97 cm	
Longitud de entrenudos	11,43 cm	
Índice de crecimiento (cm/mes)	18,05	
Índice de crecimiento (entrenudos/mes)	1,59	
Maduración	Precoz (<16 meses).	
Susceptibilidad a plagas	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.)	
Tolerancia a enfermedades	Mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> ) y mancha de ojo ( <i>Helminthosporium sacchari</i> )	
Población de tallos por ha (PTH)	133.328	
Toneladas de caña por ha (TCH)	177,5	
Toneladas de panela por ha (TPH)	20,2	
Rendimiento en Panela	11,36 %	
Toneladas de cachaza por ha	11,76	
Toneladas de melote por ha	6,57	
Toneladas de bagazo por ha	120	
Calidad de panela	Muy buena (MB)	
Aspectos Industriales	Jugos	Panela
Sólidos solubles totales (°Brix)	21,3	91,2
Potencial de hidrones (pH)	5,52	5,75
Azúcares reductores	0,9 %	6 %
Sacarosa	20 %	84,2 %
Pureza	93,9 %	92,3 %
Fósforo	131 ppm	449 ppm
Humedad	-	9,3 %
Presentación de producto (Panela)	Instantánea, granulada, pastillas, panelines, redonda y en cubitos	

Continúa

Continuación tabla 7

### Aspectos de calidad y color en Panela

Municipio de Nimaima	
Calidad de panela	Buena (B)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 5/8
Descripción del color	<i>Yellowish brown</i>
Municipio de Quebradanegra	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	7,5 YR 6/8
Descripción del color	<i>Reddish yellow.</i>
Municipio de Vergara	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 6/8
Descripción del color	<i>Brownish yellow</i>

Fuente: Insuasty et al. (2003); Victoria et al., (2013); Ramírez et al. (2014a); Insuasty y Barona (2016)

**Tabla 8.** Ficha técnica de la variedad CC 91-1555



Aspectos morfológicos	
Origen	Cenicaña Colombia (cc)
Progenitores	CP 59-73 x MZC 81-78
Tallos	Medianos, erectos, rectos y delgados
Entrenudos	Cilíndrico, con color verde amarillo
Anillo	Angosto y constreñido, 4 líneas primordiales
Canal de la yema	Presente
Nudo	Tiene anillo de crecimiento angosto
Yema	Triangular-ovalada, prominente y toca ligeramente el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, medianamente ancha, color verde claro normal, con las puntas dobladas, con textura delgada y bordes finos
Aurícula	Inclinada y simétrica
Yagua	Con abundante pelusa

Continúa

Continuación tabla 8

Aspectos agronómicos		
Adaptación	Se adapta a condiciones de suelos en ladera con baja fertilidad	
Germinación	< 80 %	
Deshoje natural	Fácil	
Volcamiento de tallos	No presenta	
Floración	Ausente	
Rajadura de corteza	No presenta	
Pelusa	Abundante	
Altura promedio de planta	2,85 m	
Diámetro de tallos	2,93 cm	
Longitud de entrenudos	10,61 cm	
Índice de crecimiento (cm/mes)	18,55	
Índice de crecimiento (entrenudos/mes)	1,76	
Maduración	Precoz (< 16 meses)	
Susceptibilidad a plagas	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.).	
Resistencia de enfermedades	Carbón ( <i>Ustilago scitaminea</i> Sydow), roya ( <i>Puccinia melanocephala</i> ) y virus del mosaico común (ScMV)	
Tolerancia a enfermedades	Mancha de ojo ( <i>Helminthosporium sacchari</i> ) y Mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> )	
Población de tallos por ha (PTH)	1.064,06	
Toneladas de caña por ha (TCH)	181,52	
Toneladas de panela por ha (TPH)	21,8	
Rendimiento en Panela	12,01 %	
Toneladas de cachaza por ha	10,56	
Toneladas de melote por ha	5,80	
Toneladas de bagazo por ha	72,82	
Calidad de panela	Muy buena (MB)	
Aspectos industriales	Jugos	Panela
Sólidos solubles totales (°Brix)	18,6	92,0
Potencial de hidrones (pH)	5,31	5,39
Azúcares reductores	1,3 %	10,5 %
Sacarosa	17,2 %	80,3 %
Pureza	92,5 %	87,3 %
Fósforo	239 ppm	821 ppm
Humedad	-	8,7 %
Presentación de producto (Panela)	Instantánea, granulada, pastillas, panelines, redonda y en cubitos	

Continúa

Continuación tabla 8

**Aspectos de calidad y color en Panela**

Municipio de Nimaima	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	7,5 YR 6/8
Descripción del color	<i>Reddish yellow</i>
Municipio de Quebradanegra	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 6/8
Descripción del color	<i>Brownish yellow</i>
Municipio de Vergara	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 6/8
Descripción del color	<i>Brownish yellow</i>

Fuente: Ramírez et al. (2014a); Insuasty y Barona (2016)

**Tabla 9.** Ficha técnica de la variedad CC 93-714



Aspectos morfológicos	
Origen	Cenicaña Colombia (CC)
Progenitores	Mex 64-1487 × A
Tallos	Cortos, reclinados, curvos y gruesos
Entrenudos	Abarrilado y anillo ceroso bien definido, con color morado
Anillo	Angosto y prominente, tres líneas primordios y banda de raíces ancha y lisa
Canal de la yema	Presente
Nudo	Tiene anillo de crecimiento angosto y prominente
Yema	Ovalada y achatada, no toca el anillo de crecimiento
Hoja	Larga, angosta, erectas y rígidas, color verde normal, textura y bordes gruesos
Aurícula	Inclinada
Yagua	Con abundante pelusa

Continúa

Continuación tabla 9

Aspectos agronómicos		
Adaptación	Buena capacidad de adaptación a suelos con baja fertilidad	
Germinación	90 %	
Deshoje natural	Fácil	
Volcamiento de tallos	No presenta	
Floración	Ausente	
Rajadura de corteza	Presenta	
Pelusa	Abundante	
Altura promedio de planta	2,88 m	
Diámetro de tallos	2,97 cm	
Longitud de entrenudos	8,89 cm	
Índice de crecimiento (cm/mes)	6,23	
Índice de crecimiento (entrenudos/mes)	1,84	
Maduración	Semi-tardío (<19 meses)	
Plagas (susceptible)	Ataque de barrenadores de tallo ( <i>Diatraea</i> sp.)	
Enfermedades (tolerante)	Mancha de ojo ( <i>Helminthosporium sacchari</i> ) y Mancha de anillo ( <i>Leptosphaeria schari</i> )	
Población de tallos por ha (PTH)	102.560	
Toneladas de caña por ha (TCH)	180,0	
Toneladas de panela por ha (TPH)	21,5	
Rendimiento en Panela	11,92 %	
Toneladas de cachaza por ha	4,41	
Toneladas de melote por ha	2,42	
Toneladas de bagazo por ha	84,21	
Calidad de panela	Buena	
Aspectos Industriales	Jugos	Panela
Sólidos solubles totales (°Brix)	21,9	93,6
Potencial de hidrones (pH)	5,59	5,76
Azúcares reductores	0,9 %	8,6 %
Sacarosa	20,7 %	83,8 %
Pureza	94,5 %	89,5 %
Fósforo	167 ppm	531 ppm
Humedad	-	7,2 %
Presentación de producto (Panela)	Instantánea, granulada, pastillas, panelines, redonda y en cubitos	

Continúa

Continuación tabla 9

### Aspectos de calidad y color en Panela

Municipio de Nimaima	
Calidad de panela	Muy buena (MB)
Escala de Color (tabla Munsell)	7,5 YR 5/6
Descripción del color	<i>Strong brown</i>
Municipio de Quebradanegra	
Calidad de panela	Buena (B)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 5/8
Descripción del color	<i>Yellowish brown</i>
Municipio de Vergara	
Calidad de panela	Buena (B)
Escala de Color (tabla Munsell)	10 YR 4/6
Descripción del color	<i>Dark yellowish brown</i>

Fuente: Ramírez et al. (2014a); Insuasty y Barona (2016)

En estudios realizados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (Insuasty & Barona, 2016), evaluando las variedades RD 75-11, CC 93-7711, CC 93-7510, CC 91-1555 y CC 93-714, en el departamento de Cundinamarca, en fincas de productores ubicadas en alturas entre los 970 y 1150 m s. n. m., suelos de ladera de textura franca a franco arcillosa, con temperatura media de 20 a 24 °C, humedad relativa de 70 a 75 % y precipitación que fluctúa entre 1200 y 1800 mm/año, los resultados obtenidos en relación con la población de tallos fue mediana ( $>8$  tallos  $m^{-1}$ ) para RD 75-11, y escasa (8 tallos  $m^{-1}$ ) para las otras variedades (Ramírez, Insuasty & Murcia, 2014a). Para la variable altura de planta, RD 75-11 y CC 93-7711, presentaron tallos de longitud mediana (2,5 a 3,5 m.). En cuanto al diámetro, fue mediano (2,51-3,50 cm) para todas las variedades, sin embargo, el mayor valor obtenido lo tuvo la CC 93-7711 con un promedio de 3,34 cm. El índice de madurez (IDM), basado en los sólidos solubles totales (°Brix), para todas las variedades presentó un comportamiento óptimo entre 0,9 y 1,0, y la edad de cosecha en promedio para plantilla estuvo en 17 meses y en soca, 16 meses.

La calidad de panela valorada con base en características organolépticas como el aspecto general de la panela, la textura o dureza, el brillo y el sabor del producto final, permitió establecer que se tiene un concepto de "excelente" a "buena" para las variedades de caña evaluadas, con el siguiente orden de valoración: RD 75-11, CC 93-7711, CC 91-1555, CC 93-7510 y CC 93-714 (tabla 10).

En términos generales, se puede afirmar que la variedad RD 75-11 tuvo el mejor comportamiento en la evaluación tanto a nivel de campo como en proceso agroindustrial, sin embargo su alta susceptibilidad a la afectación por Roya Naranja (*Puccinia kuehnii* Kruger) limita su recomendación como material genético para el establecimiento de nuevos cultivos; por lo tanto, en este orden de ideas, la variedad recomendada sería la CC 93-7711, la cual presenta tolerancia a este problema fitosanitario, buena adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas, germinación superior al 90 %, maduración semitardía (antes de 18 meses de edad), buen comportamiento en soca, uso eficiente del agua (Viveros, 2011), características productivas favorables en toneladas de caña por hectárea (TCH), toneladas de panela por hectárea (TPH) y calidad de panela.

**Tabla 10.** Características de calidad y coloración de panela, para variedades evaluadas en Cundinamarca

Característica	RD 75-11	CC 93-7711	CC 93-7510	CC 91-1555	CC 93-714
Calidad	Excelente	Excelente	Excelente a Buena	Excelente	Excelente a Buena
Coloración	Clara	Clara, con variaciones del amarillento café hasta un amarillento más oscuro	Clara, con variaciones del amarillo al amarillento café	Claros, con variaciones entre el amarillo café y el rojizo amarillento	Coloraciones más oscuras variando entre el café oscuro y un amarillento café oscuro

Fuente: Insuasty y Barona (2016)

## Capítulo VI

### Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo

El cultivo de la caña de azúcar para panela está altamente influenciado por factores como la temperatura, la luminosidad, la precipitación, los vientos y suelos, que son determinantes en el crecimiento y desarrollo de la planta, así como en su productividad y calidad.

#### Temperatura

A nivel interno del suelo, temperaturas por debajo de 14-21 °C afectan la brotación de las yemas en germinación y reducen la tasa de crecimiento radicular en un 50 %, esta temperatura, a su vez, afecta la translocación de sacarosa de las hojas al tallo; sin embargo, temperaturas superiores a 37 °C queman las raíces, por tanto, la temperatura óptima para la germinación está comprendida de los 32 a 37 °C, y para crecimiento radicular está entre 29 y 32 °C (Buenaventura, 1981). La temperatura ambiente tiene como rango admisible de 20 a 30 °C; por debajo de los 19 °C el periodo vegetativo se alarga y los entrenudos son más cortos. Se considera que la temperatura óptima está entre 25 y 26 °C, lo que permite una mayor síntesis y producción de sacarosa. Otra variable importante es la variación o cambio de temperaturas diurna y nocturna, la cual determina la síntesis de sacarosa, y debe mostrar temperaturas con una diferencia superior a 8 °C (es decir, si la temperatura diurna es de 26 °C, la nocturna debe ser de 18 °C), lo que favorece un crecimiento constante y un alto contenido de azúcares (Buenaventura, 1981).

#### Luminosidad

Un aumento en el brillo solar corresponde a mayor actividad fotosintética. La planta tiene un punto de saturación lumínica muy alto y al ser una planta C<sub>4</sub>, cuya característica principal es tener una modificación foliar (células de la vaina

del haz), que le permite almacenar CO<sub>2</sub>, su eficiencia fotosintética e hídrica es mayor comparada con otro tipo de plantas. Plantas con exceso lumínico poseen tallos gruesos y cortos y hojas anchas y verdes; en condiciones de deficiencia, presentan tallos largos y delgados, hojas angostas y de color amarillento.

La intensidad lumínica interviene en la floración. Días cortos favorecen la floración, lo cual es perjudicial para los rendimientos, debido a que la planta gasta energía en emitir la flor afectando procesos de concentración de azúcar (Buenaventura, 1981). En conclusión, alta luminosidad incrementa la síntesis de carbohidratos, produciendo mayor cantidad de sacarosa, más contenido de sólidos solubles (°Brix) y alto porcentaje de pureza; en contraste, la baja luminosidad disminuye la translocación de hidratos de carbono de las hojas al tallo, y genera menor cantidad de caña y contenidos deficientes de sacarosa. Los requerimientos lumínicos para una buena productividad de la caña están entre 5 y 8 horas diarias de brillo solar.

## Precipitación

En los periodos de germinación y macollamiento las plantas presentan su mayor requerimiento hídrico, ya que el agua es indispensable tanto para el crecimiento como para la formación de azúcares. La caña demanda de 3 mm (época invierno) a 9 mm (época verano) de agua diarios por hectárea; por consiguiente, precipitaciones entre 1.500 a 1.800 mm anuales suplen la exigencia en suelos de textura franco limosa o franco arcillosa; periodos de lluvias intensas que generen alta humedad y encharcamientos en los suelos son desfavorables para la maduración, debido a que el agua se mueve hacia el tallo y baja la concentración de azúcares, en cambio los periodos de sequía cortos favorecen la maduración y acumulación de azúcares (Buenaventura, 1981).

## Vientos

En condiciones directas y fuertes, los vientos causan daños mecánicos como el volcamiento, destroncamiento y deshoje de la planta; y en condiciones indirectas, influyen la transpiración, modificando la humedad del aire y el suelo (Buenaventura, 1981).

## Altitud

La planta de caña se desarrolla normalmente desde 0 hasta los 1.200 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) (López & Osorio, 2000). Hasta los 800 m s. n. m. su periodo vegetativo comprende aproximadamente 12 a 15 meses, de los 800 a 1.600 m s. n. m. se alarga de los 15 a 18 meses, y superior a los 1.600 m s. n. m. puede llegar a los 22 meses. Por consiguiente, conforme aumenta la altitud el periodo vegetativo se alarga debido a las condiciones climatológicas, relacionadas con la temperatura y la precipitación principalmente. La altitud recomendable se encuentra entre los 900 y 1600 m s. n. m. (López & Osorio, 2000; Buenaventura, 1981), lo cual implica que la mayor parte de la caña sembrada en Cundinamarca se encuentra en un rango altitudinal adecuado. De acuerdo con los parámetros descritos anteriormente, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, teniendo en cuenta la escala de Holdridge, definió las zonas agroecológicas para el cultivo de caña de azúcar para la producción de panela (tabla 11).

**Tabla 11.** Zonas de vida ecológicas para el cultivo de caña de azúcar con destino a la producción de panela

Zona agroecológica	Símbolo	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Altitud (m s. n. m.)
Bosque seco Premontano	Bs-PM	500-1.000	15-24	1.000-2.000
Bosque húmedo Premontano	Bh-PM	1.000-2.000	18-24	1.000-2.000

Fuente: Holdridge (1967)

## Capítulo VII

### Manejo del recurso suelo

Las condiciones del suelo para el cultivo de la caña son diversas en su aspecto agronómico; comprenden el origen y las características físicas, químicas y biológicas, como se describen a continuación:

#### Geomorfología

Corresponde a las formas de la superficie terrestre, relacionadas con la formación y comportamiento actual; para los cultivos de caña panelera se presentan cinco tipos de suelos, como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** Suelos frecuentes en los cultivos de caña de azúcar para panela

Suelos	Pendientes	Descripción
Estructurales Coluviales	Ligeramente inclinados (7-12 %)	Presentan acumulación de material coluvial y se hallan en laderas bajas, donde los cambios de pendiente facilitan la coluviación
Erosionales-Coluviales	Fuertemente ondulados (25-40 %)	Localizados en procesos denudativos, en laderas erosionales, donde inicia la coluviación. Principalmente, con vocación cafetera
Coluvio-Erosionales	Moderadamente ondulados (12-25 %)	Áreas donde predomina la acumulación de materiales, que sufren procesos denudativos importantes; áreas intermedias entre las unidades erosionales coluviales donde se encuentran los coluvios a manera de lomas
Coluviales	Ligeramente inclinados (5-12 %)	Ubicados frecuentemente en el pie de laderas y riveras de ríos; se originan por escorrentías superficiales favorecidas por movimientos de masa
Coluviales-Aluviales	Ligeramente suave (3-7 %)	Acumulaciones de los materiales provenientes de escorrentías de procesos coluviales favorecidos por corrientes hídricas. También se ubican en el pie de laderas con pendientes suaves y riveras de los ríos
Aluviales (Valles Estrechos y terrazas)	Ligeramente plano (0-3 %)	Formaciones recientes, favorecidas por corrientes hídricas, en depresiones o partas bajas de montañas y laderas. Los materiales son aportes recibidos en forma lateral y longitudinal

Fuente: Manrique e Insuasty (2000)

Los suelos Coluvio-Erosiónales y Coluviales son típicos de vocación cañera, a diferencia de Erosiónales-Coluviales que tienen vocación cafetera, debido a que su condición de pendiente dificulta labores propias del cultivo de la caña como control de arvenses, cosecha y transporte; sin embargo, de acuerdo con Manrique e Insuasty (2000), las mejores calidades de panela se producen en los suelos Coluviales, seguidos de Suelos Coluviales-Aluviales y Aluviales, que tienen una condición de fertilidad benéfica para el cultivo y requieren de drenajes para obtener hasta 10 ciclos de corte.

## Textura

La textura es una propiedad física que permite establecer la cantidad y proporción del tamaño de partículas minerales o inorgánicas presentes en el suelo, las cuales generan el intercambio catiónico con las raíces de las plantas para la adsorción de nutrientes. Las partículas del suelo, de acuerdo con su tamaño, se clasifican en arcilla (< 0,002 mm "menor tamaño"), limo (0,002-0,005 mm "medianas") y arena (0,005-2,0 mm "mayor tamaño"). A su vez, la textura de los suelos se denomina por las combinaciones de partículas de mayor frecuencia.

De esta manera, se considera que los suelos francos (que combinan una distribución porcentual equilibrada de los tres tipos de partículas) y los suelos franco arcillosos son los más adecuados para el cultivo de la caña, pues permiten buen drenaje e intercambio de nutrientes con las plantas para obtener buenos rendimientos de tallos y buena calidad de panela; por su parte, los suelos franco arenosos son fáciles de cultivar, pero los rendimientos son altamente dependientes de la fertilización externa, la cual es poco típica en el cultivo de la caña de azúcar en Cundinamarca.

En la región panelera de Cundinamarca los suelos predominantes en cuanto a su rango textural son los arcillosos y los arcillo limosos, con limitaciones de aireación y drenaje interno, que afectan el rendimiento y requieren la adición de fertilización externa.

El alto contenido de materia orgánica y buena preparación del suelo aseguran buenos rendimientos en los primeros ciclos de producción, condición que puede verse afectada en el transcurso del tiempo por la compactación propia de estas categorías de suelos, que conduce a la disminución de la aireación, y limita el ingreso de oxígeno y agua que, en condiciones extremas, puede causar la muerte radicular (Manrique & Insuasty, 2000).

## Estructura

La estructura es otra de las propiedades físicas que permite establecer la forma como se agrupan o agregan las partículas individuales inorgánicas (arcillas, limos, arenas) y la materia orgánica el suelo. Una estructura adecuada favorece el ingreso del agua y aire al suelo; suelos arcillosos (compactos, sin disgregación en terrones) y arenosos no presentan estructuras por su conformación. De acuerdo con la forma de agregación de partículas se presentan las siguientes estructuras: laminar (unión para conformar laminas o lajas), columnar (unión y formación de columnas con bordes redondeados), prismática (columnas con bordes angulosos), blocosa (unión en forma de bloques de varios tamaños con bordes redondeados o ángulos) y granular (terrones pequeños y redondeados como gránulos) (Manrique & Insuasty, 2000).

Es importante anotar que, a diferencia de la textura que no puede ser modificada, la estructura del suelo es bastante sensible a las prácticas agronómicas; por ejemplo, un excesivo laboreo del suelo, con el pase frecuente de rastrillos y pulidores, desbarata los terrones o agregados y daña la estructura, en tanto que prácticas como la mínima labranza conservan la estructura natural del suelo, y la adición periódica de materia orgánica puede mejorar la estructura para favorecer un adecuado crecimiento de las plantas. De acuerdo con lo anterior, se puede considerar que en la zona panelera de Cundinamarca el deterioro de la estructura se debe principalmente a la compactación de suelos, causada por el pisoteo de los animales utilizados en la carga de la caña y no por la mecanización en la preparación de los terrenos, pues en esta región es poco frecuente la renovación de los cultivos. Como se mencionaba, la aplicación de materia orgánica antes de

la siembra o en épocas tempranas del cultivo de la caña es recomendable, pues mejora la estructura del suelo y contribuye a la nutrición de las plantas.

## El pH

En términos simples, el pH o potencial de Hidrógeno permite medir la acidez o la alcalinidad de los suelos para el adecuado desarrollo de las plantas. La escala de valoración del pH va desde cero (el valor más ácido), pasando por 7 (valor neutro), hasta 14 (el más alcalino). En caña se considera que un pH adecuado, que no implica limitaciones para el crecimiento de las plantas, está en el rango entre 5,5 y 7,5; valores inferiores pueden favorecer el desarrollo de hongos que causan manchas foliares, como la mancha de anillo (*Leptosphaeria schari*) y la mancha de ojo (*Helminthosporium sacchari*).

En relación con la alcalinidad excesiva, algunas regiones secas pueden generar problemas de salinidad, especialmente en suelos que contienen regular cantidad de carbonato de calcio y que forman carbonato de sodio; sin embargo, este problema se puede tratar lavando los suelos previamente o neutralizando con yeso (Manrique & Insuasty, 2000).

Los suelos de las áreas productoras de caña para panela de Cundinamarca son predominantemente neutros a alcalinos, con valores de pH que varían entre 6,4 y 8,1 (Rodríguez et al., 2017b), por lo cual no se recomienda la aplicación de enmiendas dirigidas a corregir la acidez del suelo, pues estas aplicaciones solo son recomendadas cuando el pH tiene un valor de 5,5 o menos.

## Fertilidad y características químicas

Los requerimientos nutricionales varían en función del genotipo de la caña cultivada, de la topografía, del ambiente y de las reservas minerales del suelo. Manrique e Insuasty (2000) y Osorio (2007) han propuesto la clasificación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar para panela que se presenta en la tabla 13.

**Tabla 13.** Clasificación de suelos para el cultivo de caña de azúcar para panela

Concepto	Excelente	Buena	Regular
Materia Orgánica %	Alto 5 % o más	Medio <3,5 %	Bajo <3 %
Fósforo P (ppm) Bray II	>20	10-20	<10
Potasio K (meq 100 g <sup>-1</sup> )	>0,6	0,3-0,6	<0,3
Calcio (Ca) (meq 100 g <sup>-1</sup> )	>3,0	1,5-3,0	<1,5
Magnesio (Mg) (meq 100 g <sup>-1</sup> )	>1,5	0,5-1,5	<0,5
Aluminio (Al) (meq 100 g <sup>-1</sup> )	Al > (Ca+Mg+Na) o Al > 4,0 meq 100 g <sup>-1</sup>	Al = (Ca+Mg+Na+K) o Al = 2 - 4 meq 100 g <sup>-1</sup>	Al < (Ca+Mg+Na+K) o Al < 2,0 meq 100 g <sup>-1</sup>

Fuente: Manrique e Insuasty (2000), Osorio (2007)

De acuerdo con Muñoz (1981), los suelos apropiados para la caña panelera son los francos y aluviales, profundos y drenados; el rango de pH más apropiado es entre 5 y 7; materia orgánica (MO), mayor de 6 %; fósforo, mayor de 15 ppm; potasio, mayor de 0,6 meq 100 g<sup>-1</sup>; calcio, mayor de 6 meq 100 g<sup>-1</sup> y magnesio, mayor de 3 meq 100 g<sup>-1</sup>. Además, se busca que las pendientes de los lotes no sean muy fuertes (menores del 50 %). Insuasty y Barona (2016), en una investigación de variedades de caña panelera realizada en los municipios de Vergara, Nimaima y Quebradanegra en Cundinamarca, caracterizaron los suelos desde el punto de vista fisicoquímico y encontraron los resultados que se presentan en tabla 14.

**Tabla 14.** Características fisicoquímicas de los suelos en los municipios de Vergara, Nimaima y Quebradanegra, en Cundinamarca

Localización/determinación	Vergara	Nimaima	Quebradanegra
Textura al tacto	FAR: Franco arcilloso	FL: Franco limoso	ArL: Arcillo limoso
pH	5,25	5,34	7,87
Materia orgánica (%)	9,60	7,50	3,77
Fósforo disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	2,74	23,29	28,04
Aluminio intercambiable (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	1,07	0,08	0,00
Calcio intercambiable (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	2,37	6,10	19,02
Magnesio intercambiable (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	1,23	1,30	1,17
Potasio intercambiable (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	0,31	0,31	0,39
Cap. de intercambio catiónico (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	5,14	7,98	20,66
Hierro disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	157	331	47,90
Manganeso disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	2,70	11,40	4,00
Boro disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,34	0,44
Saturación de Aluminio (%)	21 %	1 %	0 %
Relación (Ca + Mg) / K	11,7	23,6	52,1 K Def,
Relación Mg / K	4,0	4,1	3,0

Fuente: Insuasty y Barona (2016)

Los suelos presentes van de clases texturales francas a arcillosas, lo cual, de acuerdo con Johnson (1979), le da un comportamiento de permeabilidad de baja a media, una capacidad de almacenamiento de nutrientes, y agua de mediana a alta; en relación con el pH, los municipios de Vergara y Nimaima, tienen una condición moderadamente ácida, mientras que Quebradanegra, tiene pH alcalino, igual comportamiento presentó el pH en un estudio llevado a cabo sobre indicadores ambientales de la agroindustria panelera en el departamento de Cundinamarca (Rodríguez et al., 2017b); la materia orgánica es de alta (>5 %) a media (3-5 %), el fósforo (P) es bajo (<10 ppm) para Vergara, contrario a la alta disponibilidad (>20 ppm) en Nimaima y Quebradanegra; el aluminio (Al) intercambiable tiene una condición normal; el calcio (Ca) para Vergara tiene un contenido medio (1,5-3,0), en contraste al alto (>3,0) contenido en Nimaima y Quebradanegra; el potasio (K) y magnesio (Mg) intercambiable tienen un contenido medio (0,3-0,6 para K y 0,5-1,5 para Mg); la capacidad de intercambio catiónico es baja para Vergara y Nimaima, y alta para

Quebradanegra; en relación con los elementos menores, el hierro (Fe) tiene un alto contenido ( $>100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en Vergara y Nimaima, y bajo en Quebradanegra; el manganeso (Mn) es bajo en Vergara y Quebradanegra, y alto en Nimaima; el boro (B) es medio en Vergara y Nimaima, y alto en Quebradanegra; la saturación de Al tiene una valoración normal; la relación de Mg:K es alta para Vergara y Nimaima, e ideal para Quebradanegra; y por último, la relación entre Ca:Mg:K es alta para Vergara y Nimaima, y deficiente para Quebradanegra.

## Capítulo VIII

### Sistemas de siembra

### en el departamento de Cundinamarca

De acuerdo con Rodríguez, Huertas, Polo y Tauta (2017a), en Cundinamarca el manejo del cultivo se realiza en fincas propias en el 90 % de los casos, con áreas en caña de 9 ha en promedio, con bajo uso de factores de producción y hábitos culturales orientados generalmente al monocultivo. La mayoría de los cultivos tiene más de 20 años, y el sistema de corte de caña que predomina es el entresaque<sup>2</sup> (63,1 %). Las variedades más frecuentes corresponden a las tradicionales como las POJ 2878 y 2714 (48,4 %) y la ZC (27,5 %). En esta región existe baja renovación de socas, y las labores del cultivo se limitan a prácticas de limpieza y deshoje, que generalmente van de la mano de la labor de corte durante la cosecha, sin embargo, algunos productores practican el sistema de resiembra por:

- **Mateado:** característico de zonas donde se realiza el corte de caña por entresaque o deshoje y consiste en sembrar la caña preferiblemente cogollo, en cajuelas u hoyos realizados a una distancia de 50 a 80 cm entre sí; la cantidad de cogollos que se ubican en cada hoyo varía de dos a cuatro. Se puede conservar el surco, estableciendo las plantas de 20 a 50 cm y de 1,2 a 1,3 m entre surcos, sembrando de uno a dos tallos por sitio, y sin mantener el surco, sembrando el cogollo de caña, con una leve inclinación, dejando la zona apical visible; el requerimiento de semilla por este sistema es de aproximadamente doce a catorce toneladas de cogollo (Murcia & Ramírez, 2015).
- **Deshoje de retoños o plántulas de cepas ya emergidas:** consiste en desprender los retoños emergidos (dos a tres meses de edad) de una cepa vigorosa con un barretón, y luego trasplantarlos al sitio de resiembra. Estos retoños tienen un prendimiento del 80 %, su desarrollo es paralelo al resto de plantas del lote; presenta ventajas, como el bajo costo por la mano de obra y manipulación del material y, como desventaja, ocasiona daños y lesiones en la cepa madre, debido a que facilita el ataque de plagas y enfermedades (Insuasty, Manrique, & Palacio, 2000; López & Osorio, 2000).

---

<sup>2</sup> Sistema de corte en el cual solo se realiza la cosecha de tallos maduros, dejando en pie aquellos tallos considerados inmaduros.

En evaluaciones realizadas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) (2017), en el departamento de Cundinamarca, para determinar la productividad se realizaron mediciones en 25 m<sup>2</sup>, con tres repeticiones, determinando el número de plantas, número de cepas y la cantidad de caña para molienda, en los siguientes municipios y veredas (tabla 15).

**Tabla 15.** Información de evaluación para determinación de productividad en Cundinamarca

Municipio	Vereda	Número de cepas en 25 m <sup>2</sup>	Número de cepas ha <sup>-1</sup>	Número de tallos en 25 m <sup>2</sup>	Número de tallos ha <sup>-1</sup>	Peso caña en 25 m <sup>2</sup>	TCH*
Caparrapí	El Guadual	33	13.200	88	35.200	123,5	49,4
Caparrapí	El Pedregal	7	2.800	50	20.000	87,1	34,8
Caparrapí	El Oso	12	4.800	101	40.400	149,9	60,0
El Peñón	El Valle	9	3.600	36	14.400	50,3	20,1
La Peña	Cabuyero	17	6.800	53	21.200	106,5	42,6
Nocaima	Vilauta	19	7.600	40	16.000	68,2	27,3
Nimaima	Resguardo Alto	18	7.200	93	37.200	140,0	56,0
Nimaima	Resguardo Bajo	24	9.600	58	23.200	65,7	26,3
Quebradanegra	La Esperanza	22	8.800	89	35.600	133,7	53,5
Villeta	Río Dulce	7	2.800	34	13.600	33,1	13,2
Villeta	Alto de Paja	8	3.200	38	15.200	58,3	23,3
Quipile	Candelaria	13	5.200	119	47.600	165,5	66,2
Quipile	Oriente	15	6.000	113	45.200	119,4	47,8

\* Toneladas de caña ha<sup>-1</sup>

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizadas las mediciones y las transformaciones matemáticas para presentarlo en unidades confrontables, se procedió a compararlo con Maldonado, Santana y Jiménez (2006). De los resultados se determinó que las distancias de siembra son diversas, y que el número de cepas en su mayoría es inferior a las 8.300 que debería haber en una hectárea (tabla 16), lo cual influye directamente en la producción de caña por hectárea. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede

estimar que uno de los factores asociados a la baja productividad de la caña en el departamento de Cundinamarca es la baja densidad poblacional; además, la tabla 15 es un insumo primordial para evaluar y determinar posteriormente si se requiere o no la resiembra.

**Tabla 16.** Densidad de población de plantas de caña de acuerdo con diferentes distancias de siembra

Distancia de siembra Sistema de siembra (mateado)	Número de cepas ideales en 100 m <sup>2</sup>	Número de cepas ideal en 1 ha (100 × 100 m)
0,8 × 1 m	125	12.500
1 m × 1 m	100	10.000
1,2 × 1 m (Lote con alta pendiente)	83	8.333

Fuente: Maldonado et al. (2006)

Para el establecimiento de nuevos cultivos o renovación de socas, es importante tener en cuenta que la semilla debe ser seleccionada de semilleros libres de problemas fitosanitarios. De acuerdo con Humber (1968), el mejor tamaño de semilla es en trozos de 45 cm de largo, con tres yemas, pero si la variedad utilizada tiene entrenudos largos, los trozos de esta longitud (45 cm) pueden llevar dos yemas y son igualmente buenas; en contraste, variedades con entrenudos cortos pueden tener de tres a seis yemas por trozo de 45 cm. Se recomienda utilizar los siguientes sistemas de propagación, dependiendo de la disponibilidad del material, como se describe a continuación:

- Sistema de siembra a chorrillo sencillo: se emplea cuando la semilla proviene de semilleros, se ha tenido cuidado en el corte, transporte y descargue; consiste en hacer surcos con distancias de 1,2 a 1,3 m y disponer los trozos de semilla (tres a cuatro yemas) en el fondo del surco, traslapando (parte basal con parte apical); se deben asegurar ocho a diez yemas por metro, así como sembrar en curvas a nivel, y se requieren aproximadamente de cinco a ocho toneladas para el establecimiento (Ayalde, Gómez, Sánchez, Buenaventura, & Rangel, 1973; Murcia & Ramírez, 2015; López & Osorio, 2000).
- Sistema de siembra a chorrillo doble: es utilizado cuando la variedad no presenta buena germinación, tiene 5 a 6 días de cortada o ha sufrido en el transporte; consiste en colocar dos hileras de trozos y deben quedar entre 10 y 12 yemas por metro lineal. Se necesitan alrededor de 10 toneladas de semilla por hectárea (Ayalde et al., 1973; López & Osorio, 2000).

- Yemas pregerminadas: alternativa para el establecimiento de semilleros para resiembra o para parcelas de investigación, cuando se tiene poco material vegetal y debe asegurarse un alto prendimiento. Consiste en cortar yemas (4 o 5 cm de longitud), con alta vigorosidad y libre de daños mecánicos, provenientes de tallos con nueve a diez meses de edad; posteriormente deben ser desinfectadas y sembradas en sustrato con relación 3:1:0,5 de arena, tierra y materia orgánica, en bolsas plásticas de 1 a 3 kg, teniendo en cuenta el tiempo y tamaño, al que requieren ser establecidas en campo; estas plantas deben ser fertilizadas vía foliar utilizando urea (cinco gramos por litro), cada ocho días, y si el trasplante demora se deben podar cada 15 días (Viveros, Cassalet, & Victoria, 1997; Insuasty et al., 2000; Murcia & Ramírez, 2015; López, 2015); vale mencionar que el método es altamente eficiente (supera el 90 % de prendimiento), presenta fácil implementación y, al tenerse una selección rigurosa de plántulas, garantiza la uniformidad del material de siembra y la pureza varietal (Insuasty et al., 2000; Murcia & Ramírez, 2015).
- Yemas individuales: otra alternativa para la multiplicación masiva a nivel industrial, principalmente para el establecimiento de semilleros, consiste en cosechar un semillero básico madre (nueve a diez meses de edad), de primer o segundo corte (plantilla y primera soca), libre de problemas fitosanitarios como el raquitismo de la soca "RSD" (*Clavibacter xyli* subsp. *xyli*) y la Escaldadura de la hoja "LSD" (*Xanthomonas albilineans*). Para establecer esa condición se debe realizar un análisis de laboratorio, y en caso de tener afectación se debe realizar el respectivo tratamiento térmico. Posteriormente, es necesario realizar la selección de tallos (yemas tiernas y sin daños físicos) y la extracción de yemas, a través de la máquina extractora de yemas, las yemas que sean afectadas por esta máquina con daños mecánicos deben ser descartadas. Luego, si las yemas requieren tratamiento térmico se procede a realizarlo, así: para Raquitismo "RSD", pretratamiento con agua caliente a 50 °C por 10 minutos, reposo de 8 a 12 horas fuera del agua y temperatura ambiente, y tratamiento a 51 °C durante una hora (Victoria, Guzmán, & Ochoa, 1987); y para Escaldadura de la hoja "LSD", tratamiento de yemas inmersas en agua corriente a temperatura ambiente durante 24 a 40 horas, y luego en agua caliente a 51 °C por una hora. Seguido de este proceso se debe realizar el tratamiento químico con

fungicidas protectantes (ingrediente activo, Carboxin, Benomyl y Propiconazol), y luego se sembrar en canastillas de germinación, proveyendo agua y control fitosanitario. Pasados 20 días se realiza el trasplante a bandejas de crecimiento, teniendo en cuenta el tamaño de la planta y su estado fitosanitario. En la etapa de crecimiento se realizan fertilizaciones foliares, poda de formación y control fitosanitario periódico, por 90 días, tiempo en el cual forman el cespedón radicular; así, por último, las plántulas están listas para ser empacadas y transportadas al sitio de siembra definitivo (Viveros et al., 1997; Murcia & Ramírez, 2015).

## Época de siembra

La época óptima de siembra está íntimamente relacionada con la temporada de lluvias, primordialmente por el requerimiento para la germinación y brotación de las yemas. Para los municipios paneleros de Cundinamarca existen dos periodos lluviosos que comprenden los meses de marzo, abril y mayo en la primera época, y los meses de septiembre, octubre y noviembre en la segunda, durante los cuales es recomendable realizar la siembra. Se debe tener en cuenta que, en la región panelera de Cundinamarca, anualmente se tiene una precipitación pluvial que varía entre 1.000 y 2.000 mm (Rodríguez, 1980).

## Capítulo IX

### Prácticas culturales

Son labores realizadas al cultivo de manera técnica, enfocadas a mejorar condiciones de la relación suelo-planta-clima. Entre ellas encontramos riego y drenaje (orientadas a suplir la demanda hídrica o retirar los excesos de humedad), fertilización (condición nutricional) y manejo de arvenses (remover plantas que compiten por agua, luz y nutrientes). A continuación, se presentan de manera más detallada:

#### Riego y drenaje

Son actividades complementarias, debido a que en época de verano o sequía el abastecimiento natural de agua es muy bajo, lo cual afecta el crecimiento y desarrollo de la planta, que por lo general se ralentiza; por ello, cuando se dispone de agua debe ser suministrada a través de riego. En cambio, en época de invierno, el agua proveniente de lluvias es abundante, tanto que no puede ser infiltrada o almacenada por el suelo, y genera humedad excesiva o encharcamientos, por tal motivo se requieren los drenajes para retirar el exceso de agua que puede generar anoxia en el sistema radicular, enraizamiento superficial, empobrecimiento del suelo y dificultad para hacer trabajos culturales (Carretero, Doussinague, & Villena, 2002).

De acuerdo con Ayalde et al. (1973), las acequias perpendiculares a los surcos pueden ser una alternativa para facilitar el riego y drenaje, recibiendo escalonadamente agua por las calles en los puntos de mayor altura; al descender el agua puede ser represada por las plantas o trinchos, y luego distribuida hacia la plantación, regando las plantas desde la parte alta por medio de escorrentía superficial o subterránea.

## Fertilización

La caña es un cultivo semipermanente que extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, los cuales son necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y para la obtención de buenos resultados productivos. Para lograr ese objetivo, normalmente es necesaria la adición de nutrientes al suelo o a la planta, con el fin de optimizar la fisiología de la planta, activar enzimas y facilitar el intercambio eléctrico, lo que favorece la formación de varios constituyentes de la planta como carbohidratos, grasas, proteínas y nucleoproteínas.

En el departamento de Cundinamarca la aplicación de fertilizantes es bastante baja; asimismo, la fertilización se hace sin contar previamente con un análisis de suelos y menos aún, con un criterio técnico. Lo anterior, en algunos casos, puede generar desbalances iónicos en componentes químicos del jugo y posteriormente en la panela; además puede ser antieconómico, debido a que la mayoría de cultivos son antiguos, y la respuesta a la fertilización en un momento dado puede ser contraproducente (Central de Cooperativas del Sector Agropecuario [Cenco], 1986). De acuerdo con Rodríguez, García, Roa y Santacoloma (2004), una buena parte de la producción de panela de Cundinamarca se podría enfocar hacia mercados orgánicos, debido a la no utilización de fertilizantes y de agroquímicos.

En relación con la cantidad de nutrientes extraídos por la caña son muy diversos y están íntimamente ligados al estado fértil del suelo, su tipología, la variedad, la disponibilidad de agua, su manejo y la edad de la caña (López & Osorio, 2000), por lo cual es de suma importancia hacer un análisis de suelo para realizar el ajuste nutricional. En la tabla 17 se citan varios autores y los resultados de sus investigaciones sobre la extracción de nutrientes por diferentes variedades de caña.

En cuanto a la interpretación del análisis de suelo, Muñoz (1981) presenta algunos estimativos y niveles críticos para cualificar el estado o contenido de materia orgánica, P, K, Ca, Mg y el pH (tabla 18), y propone una alternativa de aplicación teniendo en cuenta el nivel crítico (tabla 19).

**Tabla 17.** Nutrientes extraídos por la caña de azúcar

Nutriente extraído	kg ha <sup>-1</sup>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Nitrógeno (N)	126-165	1,2-1,4	5,9-10,4	1,53	180	612	709	576
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	78-94	0,5-0,9	3,7	0,43	30	31	37	30
Potasio (K <sub>2</sub> O)	233-276	5	16	2,85	245	240	296	240
Calcio (CaO)	173-181	1,3	16,8	1,15	90	63	71	59
Magnesio (MgO)	139-168	1,2	-	0,43	55	35	43	31
Azufre (S)	-	-	-	-	30	135	158	118
Hierro (Fe)	-	-	-	-	12	3,64	4,17	3,71
Manganeso (Mn)	-	-	-	-	1	3,98	3,83	3,49
Cobre (Cu)	-	-	-	-	0,2	80,8	74,2	65,3
Zinc (Zn)	-	-	-	-	1,8	1,05	1,24	0,95
Boro (B)	-	-	-	-	0,4	0,27	0,30	0,26

1. 50 t ha<sup>-1</sup> de caña, variedad POJ 27-14\*. 2. 1 t de caña\*. 3. 1 t de azúcar\*. 4. 1 t de tallos, variedad CC 83-25 (Cassalett, Torres, & Isaacs, 1995). 5. 100 t de caña, variedad CC 85-92 (Muñoz, 2011). 6. 100 t de caña, variedad RD 75-11 (Corpoica, 2016) en la HRS. 7. 100 t de caña, variedad CC 93-7711 (Corpoica, 2016) en la HRS. 8. 100 t de caña, variedad CC 93-7510 (Corpoica, 2016) en la HRS.  
Fuente: Manrique e Insuasty (2000)

**Tabla 18.** Estimativos y niveles críticos para interpretar el análisis de suelos

Característica	Bajo	Medio	Alto
Materia orgánica (%)	< 3,0	3,0-6,0	
P (ppm)	< 15	10-20	> 20
K (meq 100 g <sup>-1</sup> )	< 0,3	0,30-0,60	> 0,60
Ca (meq 100 g <sup>-1</sup> )	< 3,0	3,0-6,0	> 6,0
Mg (meq 100 g <sup>-1</sup> )	< 1,5	1,5-3,0	> 3,0
pH	< 5,0	Óptimo 5,6 a 6,5	-

Fuente: Muñoz (1981)

**Tabla 19.** Recomendación con base en los niveles críticos

Elemento	Nivel crítico	Elemento
Materia orgánica (%)	Bajo	Nitrógeno 75-100 kg ha <sup>-1</sup>
	Medio	50-75 kg ha <sup>-1</sup>
	Alto	-
Fósforo (ppm)	Bajo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 90-150 kg ha <sup>-1</sup>
	Medio	50-90 kg ha <sup>-1</sup>
	Alto	-
Potasio (meq 100 g <sup>-1</sup> )	Bajo	K <sub>2</sub> O 90-150 kg ha <sup>-1</sup>
	Medio	50-90 kg ha <sup>-1</sup>
	Alto	-
pH	< 5,5	400-500 kg de cal dolomita
Ca (meq 100 g <sup>-1</sup> )	< 3,0	
Mg (meq 100 g <sup>-1</sup> )	< 1,0	

Fuente: Muñoz (1981)

En estudios realizados por Ramírez, Murcia, Barona, Huertas y Ramírez (2014b) sobre recomendaciones de fertilización para Cundinamarca, evaluaron el manejo tradicional-agricultor "T1", la fertilización química completa-100 % a los dos meses "T2" y la fertilización química fraccionada (50 % a los dos meses y 50 % a los cuatro meses del cultivo) "T3"; para los tratamientos anteriores, T2 y T3, se realizó incorporación de materia orgánica en el momento de la siembra. Los resultados evidenciaron que para el primer corte (plantilla), la aplicación completa (T2) y fraccionada (T3), con respecto el manejo del agricultor (T1), en la variable altura de la planta, tuvo un aumento en promedio del 13,4%. Asimismo, aumentaron las toneladas de caña por hectárea (TCH) en un 32 % para la aplicación completa (T2), y 38 % para aplicación fraccionada (T3). En cuanto a las toneladas de panela se incrementaron por hectárea (TPH) en 37 % (T2) y 43 % (T3). También, a nivel de análisis de laboratorio en jugos, se incrementaron los sólidos solubles totales (°Brix) y el porcentaje de sacarosa que pasó de 19,47 °Brix y 17,2 % de sacarosa, en el manejo del agricultor (T1), a 20,76 °Brix y 18,7 % de sacarosa en la aplicación completa, y 20,88 °Brix y 18,8 % en la aplicación fraccionada.

En conclusión, el mejor tratamiento fue la aplicación fraccionada (T3), y la recomendación técnica fue aplicar individualmente el fertilizante orgánico y

químico. La fertilización orgánica se debe realizar al momento de la siembra o después del corte previamente definido, con base en el análisis de suelos; y la fertilización química se debe llevar a cabo el 50 % después de los dos meses, y a los cuatro meses de edad el 50 % restante. Cabe mencionar que para los planes de fertilización se realizó previamente un análisis de suelos, debidamente interpretado por un ingeniero agrónomo, teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales (tabla 20) y su recomendación fue específica para las condiciones de la evaluación.

**Tabla 20.** Requerimientos nutricionales

Nutriente	kg ha <sup>-1</sup>
Nitrógeno (N)	161
Fósforo (P)	56
Potasio (K)	195
Magnesio (Mg)	204
Calcio (Ca)	63
Manganeso (Mn)	2,8
Azufre (S)	41
Boro (B)	0,52
Cobre (Cu)	0,128
Zinc (Zn)	0,637
Hierro (Fe)	3,2

Fuente: Ramírez et al. (2014b)

Por último, se recomienda para un manejo adecuado del cultivo de caña de azúcar para panela, realizar un análisis de suelo previo al establecimiento y en caso de estar establecido, se debe hacer cada dos cortes o cosechas (López & Osorio, 2000). Los análisis de suelos tienen que complementarse, en lo posible, con análisis foliares, ya que estos últimos permiten conocer con más exactitud el estado nutricional de las plantas.

En la aplicación de la fertilización es importante mencionar que el cultivo debe tener previamente un efectivo control de arvenses, las enmiendas o correctivos y la materia orgánica deben ser aplicados al momento de la siembra, o por lo menos un mes antes de realizar la fertilización. Cabe mencionar que la materia orgánica puede provenir de estiércol equino, bovino, porquinaza y gallinaza, siempre y

cuando esté debidamente compostado; y para los fertilizantes químicos, estos deben ser fraccionados, con una primera aplicación a los 60 días después de siembra o corte, con el 50 % N, 100 % P, 25 % K, 50 % Ca, Mg, S y elementos menores, y una segunda aplicación a los 120 días después de siembra o corte, con el 50 % N, 75 % K, 50 % Ca, Mg, S y elementos menores (Corpoica, 2016).

La disposición del fertilizante en el cultivo debe ser en banda, es decir, dispuesto a un lado de planta y a lo largo del surco. Para las condiciones de ladera, el fertilizante debe quedar por la parte superior y puede ser tapado o no, dependiendo de la disponibilidad económica, mano de obra y condiciones climáticas; esta labor es benéfica debido a que conserva la humedad del suelo, haciendo al fertilizante soluble y de rápida asimilación para la planta, asimismo esta labor también contribuye a reducir las pérdidas del fertilizante por volatilidad y escorrentía, lo cual mejora el desarrollo del cultivo (Castro, 1998).


## Manejo de arvenses

Esta actividad consiste básicamente en mantener controladas las plantas invasoras, comúnmente denominada arvenses, que crecen en los lotes de cultivo, para evitar que ejerzan una alta competencia por espacio, luz, agua y nutrientes con las plantas de caña (López & Osorio, 2000). La época crítica de competencia de arvenses comprende la etapa fenológica entre la germinación y el macollamiento, aproximadamente 60 días después de la siembra, y pueden generar pérdidas hasta un 30-60 % en primer corte (plantilla) y 30 % - 40 % en los cortes siguientes (socas) (López, 2015); luego de este periodo y al presentarse un aumento en el área foliar del cultivo, cuando las plantas de caña cierran los espacios entre surcos y entre plantas, la sombra intercepta el brillo solar reduciendo la capacidad de competencia de las arvenses y generando un control sobre su población. A este tipo de manejo de las arvenses, dado por el crecimiento del cultivo, se le denomina control cultural (Osorio, 2007).

Las arvenses se caracterizan por tener adaptabilidad a diversos ambientes (Céspedes, 1982), su ciclo de vida generalmente es más corto, por tanto, su reproducción es rápida y altamente numerosa debido al tamaño de sus semillas

y capacidad de latencia, además, su población es muy variada y estratificada (Osorio, 2007), lo cual les permite competir con cualquier cultivo. Algunas arvenses presentes en el cultivo se describen a continuación (tabla 21).

**Tabla 21.** Arvenses en el cultivo de caña de azúcar para panela, taxonomía y morfología

Nombre común – científico	Familia	Características	Fotografía
<p>Cadillo <i>Bidens pilosa</i> L.</p>	<p>Asteraceae</p>	<p>Es una maleza hoja ancha, hojas compuestas, largamente pecioladas; el tallo es cuadrangular, hueco y ligeramente acanalado; la inflorescencia es capítulos terminales y axilares, de color amarillo; los frutos son aquenios, provistos de pequeñas espinas y color negro (Akobundu, Okezie, &amp; Agyakwa, 1989)</p>	 <p>Fuente: Akobundu et al. (1989)</p>

Continúa

Continuación tabla 21

Paico  
*Chenopodium  
ambrosioides* L.

Quenopodiaceae

Planta herbácea, erguida y glandulosa; hojas pecioladas, ligeramente dentadas; tallo simple o ramificado; inflorescencia en forma de espiga, con panícula piramidal; fruto circular con pericarpio de fácil desprendimiento, y tiene a ser fuertemente olorosa (Rzedowski & Rzedowski, 2001)



Fuente: Britton y Brown (1913)

Pega  
*Desmodium  
tortuosum* L.

Fabaceae

Es un arbusto erecto con hojas trifoliadas, folíolos terminales y forma elíptica, rómbicos y de ápice agudo; ambas caras de los folíolos presentan pelos glandulares grandes. Es irregular y tieso, el tallo es circular y presenta inflorescencia en



Fuente: Britton y Brown (1913)

Continúa

Continuación tabla 21

panícula terminal y axilar, de color rosa y los frutos son de color castaño oscuro (Morais, Bagnatori, & Resende, 2007)

Dormidera  
*Mimosa pudica*  
L.

Fabaceae


Es una planta leñosa, tiene hojas compuestas, bipinnadas, tallos ramificados, escasamente espinosos con pelos deshilachados y erizados. La inflorescencia es roja en la parte superior con filamentos color rosa. Se caracteriza por su reacción al tacto, debido a que contrae sus folíolos como mecanismo de defensa (Lewis, Schirire, Mackinder, & Lock 2005)




Fuente: Blanco (1883)

Continúa

Continuación tabla 21

<p>Escoba <i>Sida rhombifolia</i> L.</p>	<p>Malvaceae</p>	<p>Planta herbácea y erecta, hojas espiraladas raramente filiformes, margen aserrado, peciolo acanalado, tallos ramificados desde la base, flores axilares-solitarias, y frutos densamente estrellados; color amarillo pálido - fuerte (Díaz, Telleria, Castroviejo, Jaramillo, Ruiz, &amp; Lozano, 1995)</p>	
--	------------------	---	--



Fuente: (Díaz et al., 1995)

<p>Coquito <i>Cyperus aggregatus</i> Willd.</p>	<p>Cyperaceae</p>	<p>Planta de hojas en forma de "V", tallo triquetro en forma de triángulo, rara vez en la base con forma de bulbo; inflorescencia en glomérulo denso, flores en espiguillas cilíndricas, segmentadas con una bractéola; entrenudo de raquilla con alas</p>	
---	-------------------	--	--

Fuente: (Verloove, 2004)

Continúa

Continuación tabla 21


<p>Yaragua peluda <i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.</p>	<p>Poaceae</p>	<p>acorchadas (Tucker, 1994) Es una hierba perenne de crecimiento en macollo poco compacto, semierecta, con hojas cubiertas de pelos blancos que segregan aceite aromático; inflorescencia terminal en panícula, compuesta y plumosa de color rojo, frutos livianos y aristados (Peters, Franco, Schmidt, &amp; Hincapié, 2011)</p>	
<p>Pasto Guinea <i>Panicum maximum</i> Jacq.</p>	<p>Poaceae</p>	<p>Es una planta herbácea con habito de crecimiento en macollo, medianamente densa, hojas alternas, lineal-lanceoladas, vainas con glándulas granulosas y con frecuencia pubescentes; tallo erecto, con</p>	

Fuente: (Jacobs, Whalley, & Wheeler, 2008)

Fuente: (Hitchcock, 1950)

Continúa

Continuación tabla 21

<p>Guarda Rocío Pasto Cuaresma <i>Digitaria sanguinalis</i> L.</p>	<p>Poaceae</p>	<p>nudos pubescentes y ramificados; inflorescencia en panícula terminal; flores en espiguillas elípticas, y fruto cariósido (Gómez &amp; Rivera, 1987)</p> <p>Planta herbácea, hojas pilosas, ancha en la parte media, color verde o rojizo-purpura, dentada y con lígula membranácea; tallos decumbentes, radicantes en los nudos inferiores y ramificados desde la base, flor en panojas de 3-8 racimos delgados, espiguillas lanceoladas levemente pilosas, y frutos en cariopses oblongos (Faccini, Nisensohn, &amp; Tuesca, 2012)</p>	
--	----------------	--	---

Fuente: (Hitchcock, 1950)

Fuente: Elaboración propia

En el departamento de Cundinamarca, la práctica más común es el control o desyerba manual, la cual consiste en utilizar el machete o azadón, esta última herramienta es altamente degenerativa, debido a que el desarrollo radicular de la caña es superficial, por lo cual puede estar afectando en gran medida los rendimientos; generalmente se realizan uno o dos controles de arvenses al año, el primero en el momento de cosecha para facilitar la labor y otro a los 60 días después del corte.

Otro método de control de arvenses es el químico, poco utilizado en el departamento de Cundinamarca, sin embargo, en la agricultura tecnificada es un elemento importante para realizar la labor de control de arvenses, debido a que requiere menor tiempo de ejecución, por consiguiente, menor costo de mano de obra, además es efectivo en el control de diversidad de arvenses y algunos herbicidas son aptos para la aplicación postemergente, es decir, cuando el cultivo de interés está debidamente establecido.

De acuerdo con Labrada, Caseley y Parker (1996), existen varios herbicidas selectivos apropiados para su aplicación en caña de azúcar, pero su uso depende de los insumos disponibles para los agricultores (tabla 22). Cabe mencionar que la aplicación de herbicidas se debe realizar cuando no sople el viento a una baja presión, en horas de la mañana o en horas de la tarde, donde hay menor velocidad del viento, y si es posible, usar una campana protectora acoplada a la boquilla (Labrada et al., 1996).

A pesar de lo anterior, cabe mencionar que, para mantener el equilibrio ecológico, y producir caña y panela en condiciones orgánicas, se debe evitar la aplicación de plaguicidas químicos y a cambio recurrir a prácticas de control manual o mecánico de arvenses.

**Tabla 22.** Herbicidas utilizados en cultivos de caña de azúcar

Herbicida	Dosis kg I.A. ha <sup>-1</sup>	Aplicación	Observaciones
Ametrina	1,6-3,2	Postemergencia	Controla arvenses anuales cuando se aplica en forma dirigida.
Asulam	2,8-4,0	Postemergencia	Controla gramíneas anuales y perennes ( <i>Panicum maximum</i> ). sobre arvenses a 20 - 30 cm de altura.
Atrazina	2,4-4,0	Preemergencia	Controla arvenses anuales (excepto <i>Rottboellia cochinchinensis</i> ).
Dalapon	7,0-10,0	Postemergencia	No es selectivo en caña, dirigido contra arvenses gramíneas.
Diuron	2,4-4,0	Preemergencia	Controla arvenses anuales.
Glifosato	2,0-3,6	Postemergencia	No es selectivo si es aplicado en forma dirigida o en presembrado, principalmente para el control de arvenses perennes.
Hexazinona Diuron	0,5-1,0	Preemergencia	Controla arvenses anuales en retoño, usualmente se aplica mezclado.
Metribuzin	1,5-2,5	Preemergencia	Ejerce un control de larga duración en arvenses anuales.
MSMA	2,0-3,5	Postemergencia	Se aplica dirigido, mezclado con Diuron u otro herbicida anti-fotosintético para control de amplio espectro, o solo, para controlar gramíneas y ciperáceas.
Paraquat	0,3-0,4	Postemergencia	No es selectivo, aplicado en mezclas como el último, para control de arvenses anuales, principalmente en pre-cierre.
Pendimetalin	0,6-1,0	Preemergencia	Para control mejorado de <i>Rottboellia</i> y otras arvenses anuales, a menudo en mezcla con Diuron o Atrazina.

Continúa

Continuación tabla 22

Picloram	0,5-2,0	Postemergencia	Controla arvenses de hoja ancha, leñosas y resistentes a 2.4-D.
Simazina	2,4-4,0	Preemergencia	Como Atrazina, mejor bajo irrigación.
Tebuthiuron	0,8-1,6	Preemergencia	Controla arvenses anuales.
Terbumeton	2,4-4,0	Preemergencia	Controla arvenses anuales, también en mezclas post-emergentes como Diuron.

Fuente: Díaz y Labrada (1996)

## Capítulo X

### Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

Es un conjunto de estrategias que utiliza diferentes técnicas de control (genético, biológico, cultural, físico y químico), que se complementan entre sí para mantener las plagas y enfermedades a niveles inferiores de los que causan daño económico al cultivo (González, Ardiles & Sepúlveda, 2014).

#### Principales insectos-plaga en el cultivo de caña de azúcar para panela en Cundinamarca

La caña de azúcar, por ser cultivada ampliamente, es afectada por al menos 23 especies que han sido registradas en Colombia. Estos insectos cambian su densidad poblacional en el tiempo debido al clima, labores culturales o manejo, por lo menos, al realizar un periodo prolongado de verano o una quema, muchos insectos disminuyen las poblaciones tanto plaga como benéficos encargados del equilibrio ecológico, de aquí la importancia de conocer algunos parámetros importantes a nivel biológico y ecológico, para determinar la estrategia de manejo (Bustillo, 2013).

#### Barrenador de la caña (*Diatraea* spp.)

Es uno de los insectos-plaga de mayor importancia, debido a que causa daños directos en el órgano de cosecha; generalmente hace perforaciones o túneles en el tallo, lo que se traduce en pérdida de peso de las cañas y disminución del contenido de sacarosa, con un decrecimiento en el proceso de extracción que afecta los sólidos solubles totales (°Brix), fosfatos, pureza, azúcares reductores y no reductores (Labrada et. al., 1996). También es responsable por los cogollos muertos, daño producido durante los primeros meses de edad, lo que causa desbalance fisiológico y favorece la proliferación de brotes laterales cuando la caña está madura (Box, 1949; Des Vignes, 1984).

Estudios realizados por Parada, Ebratt y Benavides (2007), sobre la diferenciación de especies *Diatraea* spp. que afectan los cultivos de caña en la región de Gualivá, Cundinamarca, determinaron que en caña con 7 a 9 meses después del corte y listas para moler, la especie *Diatraea indigenella* fue la de mayor presencia, seguida por *Diatraea saccharalis* y *Diatraea grandiosella* por último, una especie que aún está en proceso de verificación por un especialista; estas especies presentan diferencias morfológicas relevantes a nivel de la cabeza, escudo protorácico, mandíbulas, sección dorsal, lateral y ventral.

La duración del ciclo de vida del insecto es de 40 a 45 días desde el ciclo biológico del huevo hasta la fase adulta (Pérez & Martínez, 2011)). Los huevos son dispuestos en masa, en el haz y envés de las hojas, son de color blanco-crema, circulares y aplanados, eclosionan alrededor de los 4 a 9 días; las larvas miden 1-2 mm y se alimentan de la hoja, a los 2-3 días pasan a la nervadura central y posteriormente, de los 10-15 días, penetran el tallo por los canutos apicales, en época de verano permanecen 18-24 días y en invierno hasta 60 días; en la etapa larval pasan por 6-7 instares (18-25 días), donde hacen una galería vertical para entrar y salir, e indirectamente dejan expuesto el tejido para el ingreso de hongos y enfermedades como el muermo rojo (*Colletotrichum falcatum* Went.), el cual reduce el contenido de sacarosa. Los adultos son polillas de color pajizo, hábito nocturno, tienen una longitud en promedio de 2.5 cm y su promedio de vida es de 4-8 días (Gómez & Lastra, 1995b; Rodríguez, Loredo, Mata, & Ávila, 2012).

Para el monitoreo se utilizan los índices de evaluación de taladradores en caña de azúcar, como se muestra en la tabla 23.

- Control cultural: son actividades inmersas propias del cultivo que minimizan la presencia de la plaga, dentro de las cuales se enmarca un manejo agronómico óptimo como evitar cultivos asociados con maíz y sorgo debido a que comparten esta plaga, hacer una selección adecuada de la semilla vegetativa, remover arvenses hospederas, realizar el corte en cosecha a ras del suelo y destruir los residuos de cosecha (Meagher, 1996).
- Control químico: no es recomendable debido a la baja eficacia, porque el insecto al realizar el daño pasa buena parte de su ciclo a nivel interno del tallo y tiene múltiples generaciones; por otra parte, su aplicación contamina el ambiente y destruye la fauna benéfica (Meagher, 1996; Rodríguez & Vejar, 2008).

**Tabla 23.** Descripción de los índices de evaluación para taladradores en caña de azúcar

Parámetro	Descripción	Formula
Índice de daño (ID)	Es un parámetro que permite cuantificar los daños, conociendo la proporción de tallos que presentan perforaciones por taladradores. Cenicaña (1984) ha demostrado que este parámetro se recomienda para determinar el nivel de daño a escala comercial	$ID = \frac{N^{\circ} \text{ tallos perforados}}{N^{\circ} \text{ tallos totales}} \times 100$
Intensidad de infestación (II)	Es el parámetro más utilizado en los estudios, para su determinación se deben evaluar 100 tallos ha <sup>-1</sup> al momento de la cosecha, cada unidad porcentual de infestación reduce 0.826 % en tonelaje de caña cosechada y en sacarosa 0,038 %. Un resultado aceptable debe ser inferior al 5 %, es decir 5 tallos por cada 100 tallos evaluados (Bustillo, 2013).	$II = \frac{N^{\circ} \text{ entrenudos perforados}}{N^{\circ} \text{ entrenudos totales}} \times 100$
Índice de intensidad de infestación (III)	Se refiere al porcentaje de entrenudos con daño interno, para su determinación se deben realizar cortes longitudinales en cada tallo. De acuerdo con Linares (1984), es importante para los estudios de resistencia varietal	$III = \frac{N^{\circ} \text{ entrenudos dañados}}{N^{\circ} \text{ entrenudos totales}} \times 100$

Fuente: Cenicaña (1984); Bustillo (2013); Linares (1984)

- Control biológico: es un método con buena aceptación y éxito en su aplicación; a nivel comercial se utiliza la avispa *Trichogramma exiguum* en los primeros meses de cultivo, la cual tiene la capacidad de parasitar los huevos y utilizarlos para la reproducción de su especie (Alvarado et al., 1980). Para el control de larvas de *Diatraea* spp. se cuenta con algunas moscas parásitas como la mosca indígena (*Paratheresia claripalpis*), la mosca amazónica (*Metagonistylum minense*) y la especie *Cotesia flavipes* (Gómez & Lastra, 1995b). A nivel natural también existen especies que son depredadores de huevos y larvas de *Diatraea* spp. como *Cycloneda sanguínea*, *Eriopsis connexa*, *Coleomegilla quadrifasciata*, *Chrysoperla* sp., *Coccinella* sp., *Hippodamia* sp. y *Doru* sp. (Alvarado et al., 1980). De acuerdo con Cenicaña (2015), la tabla 24 indica el número de parasitoides y la edad del cultivo para realizar las liberaciones, teniendo en cuenta la intensidad de infestación.

**Tabla 24.** Programa de control biológico de *Diatraea*, de acuerdo con el nivel de daño

Intensidad de infestación (%)	Número de parasitoides ha <sup>-1</sup> para cada nivel de infestación	Época de liberación según la edad de la caña	Caña recuperada (t ha <sup>-1</sup> )
Leve (0,5 %-2,5 %)	15 parejas de moscas ha <sup>-1</sup>	5-7 meses	1
Alta (2,5 %-4,0 %)	15 parejas de moscas ha <sup>-1</sup> 50 pulgadas <sup>2</sup> de <i>Trichogramma</i> ha <sup>-1</sup>	1-5 meses	1
Muy alta (> 4,0 %)	15 parejas de moscas ha <sup>-1</sup> 50 pulgadas <sup>2</sup> de <i>Trichogramma</i> ha <sup>-1</sup>	1-5 meses	2

Fuente: Cenicaña (2015)

## Salivazo

### (*Aeneolamia varia* F., hemíptero de la familia Cercopidae)

Este insecto tiene hábito chupador, el cual afecta la planta consumiendo la savia de la raíz desde el estado de ninfa hasta las hojas en estado adulto; los adultos al succionar savia inyectan una toxina que produce necrosis sobre la lámina foliar, y posteriormente aparecen manchas alargadas de color pardo rojizo, hasta secar completamente la hoja. Una evidencia de la presencia del insecto es la espuma blanca en el área radicular de la planta sobre la superficie del suelo. En alta incidencia del ataque del insecto, las hojas tienden a confundirse con la quemazón ocasionado por herbicidas (Sendoya, Ramírez, Bustillo, & Castro, 2011a).

Los adultos miden de 6 a 9 mm de largo por 4 mm de ancho, poseen cuerpo de color negro a marrón oscuro, alas y patas del mismo color, las patas están adaptadas para saltar, y tienen dos bandas transversales de color amarillo-anaranjado. Sus huevos son ovipositados (30-40 huevos) en forma individual alrededor de las cepas de la caña, próximos a las raíces y a poca profundidad, eclosionan de 2-3 semanas y son favorecidos por la alta humedad; sin embargo, huevos con diapausa (desarrollo de duración corta, media o larga) pueden eclosionar de 15-90 días, lo cual les permite sobrevivir al periodo seco (Sendoya, Ramírez, Bustillo, & Castro, 2011b). El estado de ninfa pasa por cinco instares durante 35-40 días; se caracteriza porque en el suelo, alrededor de las plantas, sobresalen espumas blancas de diferentes tamaños, las cuales albergan a las ninfas hasta que se transforman en adultos; los adultos viven en promedio siete días y son más fácilmente observados en días nublados y lluviosos que en días soleados (Barrientos, 1986).

El control del salivazo en la caña de azúcar se logra con el manejo integrado, cultural y biológico y, en casos de emergencia, con control químico, así:

- Control cultural: Consiste en exponer los huevos al sol y utiliza como medidas la preparación del suelo, el aporque o desaporque, la remoción de gramíneas tanto a nivel interno como externo del cultivo; otra práctica menos recomendada es la quema, por su impacto ambiental, aunque reduce bastante las poblaciones de salivazo (Gómez, 2007).

- Control biológico: es realizado por hongos e insectos, se reporta que la mosca *Salpingogaster nigra* Schiner es un insecto benéfico que se alimenta principalmente de las ninfas al eclosionar, debido a que la hembra oviposita en la espuma del salivazo; otro enemigo es el hongo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin y los nematodos (*Steinernema* sp. y *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar), cuyas esporas infectan las ninfas como el adulto del salivazo (Bustillo, 2011).
- Control químico: debe ser utilizado únicamente cuando haya altas infestaciones y no se haya logrado disminuir con los métodos de control anteriores, algunos ingredientes activos de insecticidas para su control son Thiamethoxam e Imidacloprid (Gutiérrez & Gómez, 2009).

### **Picudo rayado de la caña de azúcar (*Metamasius hemipterus* L.)**

Es un insecto que afecta la caña durante su estadio de larva, alimentándose de los esquejes para semilla, por consiguiente, influye en la germinación; también actúa en tallos como actor secundario a través de las heridas dejadas por barrenadores de tallos, daños mecánicos (volcamiento) o fisiológicos (rajadura de corteza); los residuos de cosecha también influyen al atraer a los insectos, debido a que al fermentarse atraen las hembras para realizar su oviposición y posterior establecimiento (Weissling & Giblin-Davis, 2010; Bustillo, 2013).

El ciclo de vida comprende entre 119-159 días, con una metamorfosis completa (Bustillo, 2013). Las hembras ponen 52 huevos en promedio, los huevos son ovoides, lisos, color blanco-cremosos, son depositados en tejidos en descomposición y eclosionan alrededor de los 4-6 días (Weissling, Giblin-Davis, Center, Heath, & Peña, 2003). Luego pasan a su estado larval con tres instares; entre 45-70 días no tienen patas, su color es blanco cremoso, tiene forma de C, cabeza marrón oscura y mandíbulas negras (Weissling et al., 2003; Weissling & Giblin-Davis, 2010). En estado de pupa dura de 20 a 30 días, cambia de color blanco a tonos pardos en ojos y pico; y en estado adulto, varían de color rojo a naranja y negro y se encuentran congregados debajo de las vainas (Weissling & Giblin-Davis, 2010; Cerda, Fernández, López, & Vargas, 1996; Pérez et al., 1997).

El control o manejo técnico consiste en utilizar las diversas estrategias como:

- Control cultural: se debe cerciorar que la semilla esté libre de infestaciones, al realizar la cosecha procurar que el corte sea a ras y evitar dejar restos de caña cortada en campo (Lastra & Gómez, 1984).
- Control etológico: a través de trampas de captura se pueden reducir poblaciones, generalmente estas trampas se construyen con guadas cortadas longitudinalmente, con perforaciones laterales y en su interior caña madura macerada o fermentada (Raigosa, 1974); también existe una feromona de agregación "Metalure ®", la cual se consigue en el mercado, esta feromona atrae los insectos a la trampa, y posteriormente deben ser retirados para sacrificarlos (Chinchilla, Oeshlschlager, & Bulgarelli, 1996).
- Control biológico: existen hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, que se han observado en el control de forma natural, por lo tanto, son considerados un método promisorio (Bustillo, 2011). También se ha demostrado, en varias investigaciones, que el nematodo *Steinernema carpocapsae* es eficaz contra las larvas del picudo (Giblin-Davis, Peña, & Duncan, 1996).

## Cucarrón de invierno (*Podischnus agenor* [Olivier])

Es un insecto-plaga ocasional en el cultivo, llamado cucarrón de invierno debido a que los adultos emergen principalmente durante la época invernal del segundo semestre del año. El daño es realizado por el adulto que se alimenta de tallos y cogollos, formando túneles entre los entrenudos, esta afectación en la mayoría de los casos le causa la muerte a la planta, debido a que queda frágil al quiebre o volcamiento (Eberhard, 1977). Generalmente los ataques se distribuyen en los bordes y disminuyen hacia la parte interna del cultivo. La edad de afectación puede ser variable, entre 2-7 meses. Los ataques realizados antes de los 4 meses pueden ser superados por la planta debido al macollamiento, pero en ataques superiores a esta edad los tallos no llegan a cosecha (Bustillo, 2013).

El cucarrón de invierno (*Podischnus agenor*) tiene un ciclo de vida de aproximadamente 240-485 días (Corpoica, 2000). Los huevos son esféricos, perlados y son dispuestos individualmente en el suelo, cerca de los residuos de cosecha, y duran 9-25 días. Las larvas pasan por tres instares, son de color blanco con cabeza marrón, llegan a medir hasta 7 cm, se encuentran en el suelo y son inofensivas para el cultivo, se alimentan de desechos de bagazo o residuos vegetales descompuestos (Gómez & Lastra, 1995a), dura aproximadamente 250 días. En la fase de pupa se ubican a una profundidad de 15-25 cm, lo cual en promedio toma 90 días. Por último, la fase adulta completa su metamorfosis, es un escarabajo grande, con un largo de 4-5 cm y 2 cm de ancho, son de color marrón oscuro a negro, presentan dimorfismo sexual, teniendo el macho un cuerno en la cabeza y otro en el tronco, mientras que la hembra no los tiene (Bustillo, 2013; Corpoica, 2000).

Para el monitoreo de poblaciones y determinación del índice de afectación (IA), se deben evaluar 10 tallos en sitios diferentes del cultivo, y luego se procede a realizar el cálculo con la siguiente Ecuación (1):

$$IA = \frac{\text{N}^\circ \text{ tallos infestados}}{\text{N}^\circ \text{ total de tallos}} \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

En la evaluación, los niveles de afectación deben ser inferiores al 10 %, en caso contrario se deben aplicar medidas de control como las siguientes:

- Control cultural: se basa en golpear tallos visualmente afectados y proceder a colectarlos para luego sacrificarlos; sin embargo, en cultivos jóvenes se deben revisar las macollas dañadas (Bustillo, 2013).
- Control etológico: es realizado de la misma manera que para el picudo rayado, con trampas construidas en guadua e internamente caña madura macerada o fermentada (Raigosa, 1974; Eberhard, 1977).
- Control biológico: el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin controla las larvas en el suelo (Bustillo, 2013).

## Enfermedades causadas por hongos para el cultivo de caña para panela en Cundinamarca

El cultivo de caña de azúcar para panela es afectado por las condiciones edafoclimáticas y aspectos biológicos, entre estos encontramos agentes patológicos que limitan el desarrollo del cultivo ocasionando pérdidas económicas (Cenicaña, 1995). Algunas de las enfermedades causadas por hongos son las siguientes:

### Carbón

#### *(Ustilago scitaminea H. Syd. & P. Syd.)*

Afecta el ápice caulinar o cogollo del tallo, la espora se dispersa primariamente a través del viento, germina bajo buenas condiciones de humedad, posteriormente el micelio del hongo penetra las yemas caulinares y al emerger se forma una estructura flageliforme conocida como látigo, la cual puede llegar a medir hasta metros de longitud; esta estructura es formada por una capa de teliósporas cubierta por una membrana delgada de apariencia plateada, cuando esta membrana se rompe hay esporulación o salida de las esporas, las cuales quedan a disposición de los agentes transmisores tales como agua de lluvia, animales, herramientas de trabajo y el hombre (Martínez, 1981; Victoria, Moreno, & Cassalet, 1990).

Otro síntoma de esta enfermedad, además de la producción de látigos, es la sobreproducción de brotes herbáceos en las cepas afectadas, denominadas 'lalas', las cuales no presentan interés económico (Ferreira & Comstock, 1989; Victoria et al., 1990).

De acuerdo con Osorio (2007), los tallos afectados por carbón incrementan la inversión de sacarosa a azúcares simples o reductores (glucosa y fructosa), los cuales hacen que la caña pierda su calidad para panela y aumenta la producción de miel; Victoria et al. (1990) reportan que las pérdidas en plantilla están alrededor del 29 %, mientras que las ocurridas en soca pueden llegar al 70 %.

El monitoreo se basa en ubicar cuatro puntos de muestreo en el lote, estos deben estar distanciados entre sí a cuatro surcos, es decir, entre cada punto de muestreo debe haber como mínimo cuatro surcos o más; una vez determinados los puntos, se procede a realizar el conteo del número de tallos sanos, el número de tallos con látigos y también los tallos herbáceos en 5 m lineales del surco seleccionado; luego se realiza el cálculo del grado de incidencia (GI), con la Ecuación (2), y seguidamente se compara con el correspondiente al establecido internacionalmente en la Escala de Guayana, que se describe en la tabla 25 (Chavarría, 2006).

$$\text{Grado de incidencia (GI)} = 100 \times \frac{\text{Número de tallos afectados por la enfermedad}}{\text{Número de tallos muestreados en los 5 m lineales}}$$

Ecuación (2)

**Tabla 25.** Descripción de la escala de Guayana para clasificar la reacción varietal de la caña de azúcar al carbón (*Ustilago scitaminea*)

Grado	Categoría	Condición
$I\% \leq 5\%$	R	Resistente
$5\% < I\% < 15\%$	MR	Moderadamente Resistente
$15\% \leq I\% < 30\%$	S	Susceptible
$I\% \geq 30\%$	AS	Altamente susceptible

Fuente: Chavarría (2006)

Para el control de esta enfermedad es recomendable principalmente el establecimiento de variedades resistentes (Ferreira & Comstock, 1989) como RD 75-11, CC 84-75, CC 85-92 y CC 91-1555, producir la semilla en lotes sanos y adicionalmente hacer un tratamiento preventivo con fungicida, ingrediente activo (Triadimefon), a razón de 2 g L<sup>-1</sup> durante 5 minutos. Por otra parte, afectaciones en cultivos establecidos deben ser enfocadas a identificar las plantas afectadas y proceder a eliminarlas mediante la aplicación de herbicida con ingrediente activo glifosato, en dosis de 10 ml L<sup>-1</sup> (Victoria et al., 1990).

## Cogollo retorcido o Pokkah Boeng

Esta enfermedad es causada por el complejo *Gibberella fujikuroi* y *Fusarium moniliforme*, y su presencia es altamente influida por la adaptabilidad y nutrición del cultivo. En relación con la nutrición, la presencia de la enfermedad se asocia a una baja disponibilidad de boro en el suelo (Chavarría, 2006; Martin, 1961). Se presenta con mayor incidencia en plantas con cuatro a seis meses de edad, y cuando de una época seca le anteceden periodos con alta humedad relativa causado por permanentes lluvias (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] & Servicio Nacional de Aprendizaje [Sena], 1998). Sus síntomas más característicos son manchas cloróticas en la base de las hojas y deformación en yema caulinar o cogollo, las cuales llevan a una pérdida en la orientación de crecimiento, y en algunos casos se puede presentar la muerte del ápice por pudrición (Chavarría, 2006; Martin, 1961).

Para determinar el grado de incidencia (Chavarría, 2006) se deben seleccionar cuatro puntos de muestreo ubicados estratégicamente en el lote, luego se procede a contar el número de tallos afectados con presencia de síntomas y sin síntomas, en 2 metros lineales del surco; para estimar la incidencia se utiliza la Ecuación (3) y posterior al cálculo se procede a clasificar los síntomas de acuerdo con la escala de la tabla 26.

$$\text{Grado de incidencia (GI)} = 100 \times \frac{\text{Número de tallos afectados}}{\text{Número de tallos muestreados}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

**Tabla 26.** Escala de valoración para el cogollo retorcido de la caña de azúcar

Grado	Descripción
1	Sin síntomas visibles
2	Amarillamiento en la base de las láminas de las hojas
3	Amarillamiento generalizado o arrugamiento de las hojas
4	Arrugamiento o muerte de las hojas
5	Acortamiento y deformación de hojas, muerte del punto de crecimiento, deformación de tallos, heridas transversales en los nudos conocidos como "el síntoma de corte de marche"

Fuente: Chavarría (2006)

En la mayoría de los casos, el daño es focalizado y las plantas afectadas presentan un retardo en el crecimiento, pero tienden a recuperarse (Corpoica, 2000); la principal medida de control es el establecimiento del cultivo en terrenos con buen drenaje para evitar el encharcamiento por exceso de agua lluvia (Campos, Cruz, & Canul, 2012).

## Roya

### (*Puccinia* sp.)

Es una enfermedad causada por hongos pertenecientes a la clase Basidiomicetos, familia Pucciniaceae (Alexopoulos, 1962; Agrios, 2005), dentro de los cuales está la roya café (*Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.) y roya naranja (*Puccinia kuehnii* Kruger), ambas están distribuidas mundialmente; la roya café fue identificada por primera vez en Java en 1890 (Ryan & Egan, 1989), y la roya naranja en Colombia se encontró en el año 2010 en el Valle del Río Cauca (Ángel, Cadavid, & Victoria, 2010a, 2010b). De acuerdo con Egan (1964), los síntomas causados por estas royas tienen una alta similitud. Inicialmente, presentan lesiones pequeñas, forman una aureola pálida a manera de manchas cloróticas y alargadas, de color amarillento en ambos lados de la hoja, aumentan de tamaño y adquieren coloración marrón oscuro en la roya café o café claro en la roya naranja. En el envés de las hojas, las lesiones de las royas forman pústulas que contienen las esporas del hongo, las cuales pueden ser dispersadas posteriormente a través del viento.

El monitoreo de estas royas sigue las pautas definidas por Purdy y Dean (1980), la evaluación se realiza en la tercera hoja con cuello visible en 20 tallos por cada variedad, determinando el tipo de pústulas o reacción (R), a través de una escala de 0-9 (tabla 27) y estimando el porcentaje de incidencia (I) de daño desde 0-100 %.

**Tabla 27.** Escala para la clasificación de resistencia de la caña de azúcar a las royas

Reacción	Descripción según el tipo de pústula	Calificación
0	Infección no observable	Con resistencia
1	Pequeñas rayas amarillentas	
2	Rayas necróticas (oscuras)	
3	Machas irregulares, pequeñas a grandes, rojas a cafés; pudiendo estar fusionadas entre sí. Ausencia de pústula	
4	Manchas individuales amarillentas o rojas, con pústulas sin abrir	Con susceptibilidad
5	Manchas individuales amarillentas o rojas con pústulas abiertas y con producción de esporas	
6	Manchas foliares grandes, enrojecidas o necróticas, y pústulas con producción de esporas	
7	Manchas fusionadas rojas o cafés, que cubren la mayor parte de la lámina foliar de un borde a otro y atraviesan la nervadura central, con pústulas produciendo esporas	
8	Las pústulas en tejido amarillento produciendo esporas activamente	
9	Las pústulas en tejido verde produciendo esporas activamente	

Fuente: Purdy y Dean (1980)

El mejor método de control de la roya café y naranja es el uso de variedades resistentes al patógeno; en ese sentido, de acuerdo con Cenicaña (2015), todas las variedades CC son resistentes a la roya café, y variedades recomendadas con propósito panelero como CC 84-75 y CC 85-92 han mostrado resistencia a la roya naranja. Ryan y Egan (1989) afirman que el desarrollo de variedades resistentes ha reducido las pérdidas económicas causadas por esta enfermedad, y aunque las variedades que presentan resistencia no son inmunes, se constituyen en una alternativa (Cadavid et al., 2010). Para el control biológico se ha encontrado que *Sphaerellopsis filum* y *Cladosporium uredinicola* ha parasitado roya café, mientras que *Darluca filum* ha parasitado a roya naranja; sin embargo, no es una medida con alta efectividad (Soria, Pérez, & Cupull, 1988; Abdel-Baky, Arafat, Nehal, & Abdel-Ssalam, 1998). Otro tipo de control es el químico con fungicidas que tienen ingrediente activo como propiconazol,

mancozeb, ciproconazol, triadimefon y triadimenol; en Guatemala se evaluó la incidencia de la roya naranja con aplicaciones de ciproconazol hasta los cinco meses de edad y se obtuvo buena efectividad del fungicida (Ovalle, Orozco, Quemé, Melgar, & García, 2008).

## **Enfermedades causadas por bacterias para el cultivo de caña para panela en Cundinamarca**

El cultivo de caña de azúcar para panela, a través de su ciclo vegetativo, es susceptible a ser afectado por patógenos como las bacterias, los cuales limitan su desarrollo, generando pérdidas económicas (Cenicaña, 1995). A continuación, se presentan algunas de las enfermedades causadas por bacterias:

### **Escaldadura foliar**

#### **(*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson)**

Esta enfermedad es conocida por sus siglas en inglés LSD (Leaf Scald Disease); es difícil de diagnosticar, debido a que los síntomas pasan por tres fases de la siguiente manera:

1. Fase latente: se presenta en la mayoría de las variedades resistentes o tolerantes, tallos de la planta en punto óptimo de madurez; a nivel interno del tallo presentan una decoloración vascular similar a uno de los síntomas del raquitismo de la soca. En esta fase se debe realizar un análisis de laboratorio para determinar su presencia o ausencia (Ricaud & Ryan, 1989).
2. Fase crónica: las plantas presentan rayas blancas, finas y muy definidas; en una cepa es posible encontrar plantas sanas acompañadas de tallos fuertemente afectados, por último, en tallos viejos se producen clorosis en brotes laterales (Ricaud & Ryan, 1989).
3. Fase aguda: es caracterizado por la muerte repentina de la planta sin que haya manifestación de sintomatología, para esta fase el tiempo seco es favorable (Ricaud & Ryan, 1989).

Su monitoreo consiste en determinar la cantidad de tallos afectados por la enfermedad siguiendo el mismo patrón de muestreo que para el carbón (*Ustilago scitaminea*); su grado de incidencia se clasifica de acuerdo con la descripción propuesta en la tabla 28 (Chavarría, 2006).

**Tabla 28.** Escala de grados para la valoración de la Escaldadura Foliar de la Caña de Azúcar (*Xanthomonas albilineans*)

Grado	Descripción
1	Sin síntomas a la vista
2	Rayas blanquecinas o cloróticas en la lámina foliar
3	Rayas blanquecinas o cloróticas o quema de hasta 15 % de las hojas
4	Entre 15 y 30 % del área de las hojas quemada
5	Más de 30 % del área de las hojas quemada y emisión lateral de brotes

Fuente: Chavarría (2006)

En cuanto al control de la enfermedad está basado en la selección adecuada del material de multiplicación y la desinfección de las herramientas antes y después del corte, con yodo al 2 % (Vanodine o Sanivet), debido a que el patógeno tiene la capacidad de permanecer viable hasta por 6 días (Victoria, Guzmán, & Angel, 1995). Otro tratamiento disponible es el térmico, utilizado para material de siembra, el cual consiste en realizar un pretratamiento a 50 °C durante 10 minutos, reposo de 8-12 horas y tratamiento a 51 °C durante una hora (Victoria et al., 1995).

## Raquitismo de las socas (*Clavibacter xyli* subsp. *Xyli* Davis)

Es la enfermedad bacteriana de mayor importancia en el cultivo de la caña de azúcar a nivel mundial, también conocida por sus siglas en inglés RSD (Ratoon Stunting Disease). El efecto de la enfermedad depende de la incidencia, la susceptibilidad del material, el número de socas, la edad y las condiciones de humedad del suelo (Victoria et al., 1995). Su sintomatología se enmarca en la disminución del crecimiento, en conjunto con la longitud, diámetro y el número de tallos, todo debido a la obstrucción del tejido vascular del xilema, lo cual causa su apariencia raquílica; sin embargo, a nivel interno en la base de los nudos

afectados, se pueden encontrar manchas de color anaranjado, en forma de coma, aunque no es aplicable a todas las variedades (Davis, Gillaspie, Harris, & Lawson, 1980a; Davis, Gillaspie, Vidaver, & Harris 1980b; Gillaspie & Teakle, 1989). Es importante su identificación a través del análisis de laboratorio, para tener certeza de la presencia o no del patógeno, debido a que esta enfermedad puede ser confundida con deficiencias nutricionales o déficit hídrico (Victoria et al., 1995).

El control de esta enfermedad es de tipo preventivo, utilizando semilla libre de la enfermedad y desinfección de las herramientas de corte con yodo al 2% (Vanodine o Sanivet); por último, en caso de presencia del patógeno y requerir el material para semilla vegetativa, se puede optar por el tratamiento térmico, que consiste en aplicar un pretratamiento en agua caliente a 50 °C durante 10 minutos, con el cual se protegen las yemas; luego se debe dejar el material en reposo durante 12 horas aproximadamente y, posteriormente, sumergirlo en agua caliente a 51 °C por una hora (Victoria et al., 1995; Victoria, Guzmán, & Ochoa, 1987).

## Capítulo XI

### Cosecha

La cosecha en el cultivo de caña de azúcar para panela consiste en el corte de los tallos maduros, los cuales alcanzan su madurez cuando la acumulación de azúcares en los tallos es alta (mayor a 18 °Brix), suficiente para dar un buen rendimiento (superior al 11 % de conversión de caña en panela) y una adecuada estructura o “grano” a la panela. La madurez de la caña regularmente se establece visualmente cuando las hojas, de la parte baja y media de los tallos, comienzan a secarse, y los tallos toman una apariencia amarillenta a marrón. Técnicamente, la madurez se mide por la concentración de sólidos solubles presentes en el jugo de la caña, y para la determinación del momento óptimo de corte se recomienda medir la concentración de sólidos solubles mediante un refractómetro manual, tomando al azar por lo menos 10 tallos del lote a cosechar y extrayendo con un punzón unas cuantas gotas de jugo de la parte baja del tallo y otras gotas de la parte alta. La concentración de sólidos solubles, medida en grados brix, en promedio de las dos partes alta y baja, deben estar por encima de 18 °B, y la relación de dividir el valor del brix de la parte alta sobre el de la baja debe ser cercana a 1.

De acuerdo con muestreos realizados en Cundinamarca, el brix de cosecha fluctúa entre 17 y 23 °B, con promedio de 19,1 °B. La edad de cosecha de la caña es variable dependiendo de las características genéticas de la variedad, la altura sobre el nivel del mar, las condiciones climáticas prevaletientes, del manejo agronómico que se le brinde al cultivo y del sistema de corte. La cosecha de la caña puede realizarse por parejo, cortando todos los tallos de caña presentes en el lote, o por entresaque, cortando únicamente los tallos que están maduros, y dejando en el lote aquellos que aún no han alcanzado la madurez.

## Corte por entresaque

Se cosechan los tallos maduros, y se dejan en la cepa los otros (inmaduros) hasta que alcancen la madurez. La frecuencia de corte en este sistema depende, entre otros aspectos, de la intensidad del entresaque (cantidad de tallos cortados del total de tallos en el lote) y de la capacidad de la cepa para producir nuevos tallos, la cual a su vez depende de la variedad, de la fertilidad del suelo, y de las prácticas culturales. Este sistema es muy empleado por los pequeños productores (Osorio, 2007).

## Corte por parejo

Este sistema se utiliza en cultivos tecnificados y siembras comerciales, donde se realiza la siembra a chorrillo y el crecimiento de los tallos es uniforme y maduran a la misma edad. El corte implica todos los tallos presentes en el lote (García, 2004). En el departamento de Cundinamarca, de acuerdo con una caracterización técnica y socioeconómica de sistemas regionales de producción de panela (Corpoica, 2016), el 93,7 % de los productores de caña realiza cortes por entresaque, el 3,8 % realiza cortes por parejo y el 2,5 % practica ambos tipos de corte. Por otro lado, el mismo estudio permitió apreciar una nueva tendencia: cortes con entresagues muy fuertes, debido a la escasez de mano de obra con habilidad para seleccionar los tallos maduros de los inmaduros, y a que en el corte por parejo los requerimientos de mano de obra son menores (Corpoica, 2016).

## Capítulo XII

### Poscosecha

Una vez los tallos de la planta han sido cortados, empieza la fase de poscosecha de la caña, la cual incluye operaciones como el alce y transporte de la caña desde los lotes de cultivo hasta el trapiche, y todas las operaciones de proceso que permiten la elaboración de la panela. A continuación, se describen en forma detallada las operaciones de poscosecha.

#### Alce y transporte

La caña, luego de cortada, es levantada y transportada desde el lote de cultivo hasta el trapiche, donde será procesada; a esta labor regularmente se le llama alce y transporte de la caña. En el caso de Cundinamarca, esta práctica es realizada principalmente mediante mulas o equinos de labor, los cuales son manejados por trabajadores, comúnmente denominados "alzadores"; eventualmente, cuando las vías lo permiten, se utilizan camionetas, camiones, volquetas o remolques, para transportar la caña hasta el trapiche. En el caso del transporte con animales, en el lote de corte, los trabajadores alzan los arrumes de caña en brazadas y los cargan en el apero o angarilla dispuesta en el lomo de los animales. El apero consiste en un armazón o angarilla, dispuesta en el lomo del animal para poder encarrilar y amarrar la caña sin que esta se caiga durante el trayecto; según la región, la angarilla puede ser metálica o de madera, generalmente de guayabo o guácimo.

El transporte de caña panelera se realiza principalmente por medio de mulares, debido a su baja inversión y las facilidades de uso en cualquier topografía y época del año. Estudios previos de Corpoica indican que una mula carga entre 120 y 180 kg de caña y es capaz de aprontar de 2 a 4 t de caña en un día, sí las distancias del lote al trapiche son de alrededor de 1 km. Durante las labores de alce y transporte, las mulas se alimentan generalmente de la palma de la caña y la melaza (producto de la limpieza del jugo de caña). En algunas regiones del país como Cundinamarca y la hoya del río Suárez se acostumbra a rotar a las mulas por periodos de apronte pues el objetivo es mantenerlas en condiciones adecuadas para que puedan cargar grandes cantidades de caña (Corpoica, 2017).

## Apronte

Se denomina apronte a la labor de acopiar y almacenar la caña en el trapiche, con el fin de disponerla oportunamente y en cantidades suficientes de materia prima para la realización de las moliendas. En Cundinamarca, el apronte se realiza para tener la cantidad de caña suficiente para uno o dos días de molienda. Para almacenar la caña, generalmente se arruman los tallos cortados en montones de diversa altura, en áreas dedicadas para este fin en el trapiche y que cuando están bajo cubierta se les llama "cañatero". En la caracterización técnica de la producción de panela, realizada por Corpoica (2016), se observó que en Cundinamarca los trapiches cuentan con espacios físicos dispuestos para el almacenamiento de la caña con techos en teja de zinc, de asbesto-cemento o de barro y piso de tierra.

El tiempo del apronte debe ser lo más corto posible para evitar la deshidratación del tallo, así como la aceleración de la conversión de la sacarosa en azúcares invertidos o reductores como glucosa y fructuosa (Solomon et al., 2006; Eggleston, Legendre, & Richard, 2001), lo que redundaría en disminución de la producción de panela y en el deterioro de su calidad (Solomon, 2000). En este sentido, se recomienda que la caña no permanezca por más de cuatro días luego de cortada y en espera a ser molida, pues al sobrepasar este tiempo se presentan incrementos en los contenidos de azúcares invertidos, lo cual afectará posteriormente en el procesamiento, la eficacia de la operación de limpieza y clarificación de los jugos (Clarke, Bergeron, & Cole 1987; Solomon, Shahi, Suman, Gaur, Deb, & Singh, 2001). Si se supera dicho tiempo, la panela será de mala calidad, de apariencia oscura y de consistencia excesivamente blanda (panela seruda), la cual es castigada en el mercado con un bajo precio de compra. En cualquier condición, es recomendable almacenar la caña bajo techo para protegerla del sol y de la lluvia (García, 2004).

## Capítulo XIII

### Transformación y valor agregado

El proceso de elaboración de panela en el departamento de Cundinamarca se realiza en unidades productivas llamadas trapiches, donde los productores de caña muelen la caña y le extraen el jugo en molinos accionados por motores; y luego, en hornillas alimentadas por el bagazo de la caña, leña y otros combustibles, evaporan el agua del jugo hasta obtener el punto de panela, la cual es moldeada en forma de bloques cuadrados o redondos para su venta en el mercado. El conjunto de operaciones para la elaboración de la panela es comúnmente conocido como "molienda". En Cundinamarca el 96,2 % de las moliendas es realizada por productores de caña, quienes a su vez son propietarios de trapiches; el 2,5 % corresponde a moliendas realizadas en compañía entre el propietario del trapiche y algún productor de caña que no dispone de trapiche, y el 1,3 % son moliendas en las que los productores de caña alquilan el trapiche para realizar el proceso (Corpoica, 2017).

#### Infraestructura de proceso

Según García, Albarracín, Toscano, Santana e Insuasty (2007), el trapiche panelero se encuentra en una estructura conocida como enramada o entable, y la distribución de la infraestructura del sistema de producción de panela tiene las siguientes áreas o zonas de trabajo: área de apronte de caña, área de procesamiento, área de elaboración, área de almacenamiento de panela, área para el secado y almacenamiento del bagazo. La mayor parte de los trapiches tradicionales tienen estructura en madera, techos de zinc y piso en tierra. En algunos otros trapiches más tecnificados, la estructura es en cemento, con cubiertas de tejas de asbesto-cemento o cerámica, y pisos en cemento.

El área de obtención del producto, donde se realizan las operaciones de batido y moldeado, no se encuentra aislada físicamente en la mayoría de los trapiches (81,7 %), tan solo el 18,3 % de los trapiches cumple con los requisitos establecidos en el Decreto 3075 de 1997. Los implementos utilizados para la

operación de batido son elaborados en madera, en el 52,0 % de los casos; en acero inoxidable, el 37,8 %; en aluminio, el 9,5 %, y en hierro, el 0,7 %. El material predominante con el que están elaborados los mesones para el moldeado de la panela es la madera en el 82,3 %, seguido de cemento en el 8,2 %, y en acero inoxidable y en baldosa, ambos en el 0,6 % de los casos.

La capacidad de la hornilla determina la escala de producción de cada trapiche. Como se puede apreciar en la tabla 29: cerca del 79 % de los trapiches en Cundinamarca tiene una capacidad de producción menor a 100 kg de panela por hora, lo que permite catalogarlos en pequeña escala, y solo el 21 % se puede considerar de mediana escala de acuerdo con la clasificación establecida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Espinal, Martínez, Acevedo, & Urrutia, 2004).

**Tabla 29.** Capacidad de producción de las hornillas paneleras en Cundinamarca

Capacidad de producción (kg/h)	Frecuencia (%)	Promedio (kg/h)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Menor de 40	10,74	31,26	9,82	31 %
Entre 40 y 70	30,87	58,37	7,13	12 %
Entre 70 y 100	37,58	86,58	9,76	11 %
Mayor a 100	20,81	124,04	13,75	11 %
Total	100,00	79,43	30,25	38 %

Fuente: Corpoica (2017)

La capacidad de producción promedio de los trapiches en Cundinamarca es de 79,4 kg de panela por hora. En la tabla 30 se presenta la capacidad promedio de producción por trapiche para cada municipio, donde se observa que el municipio con mayor capacidad promedio es Quebradanegra, y el de menor es El Peñón.

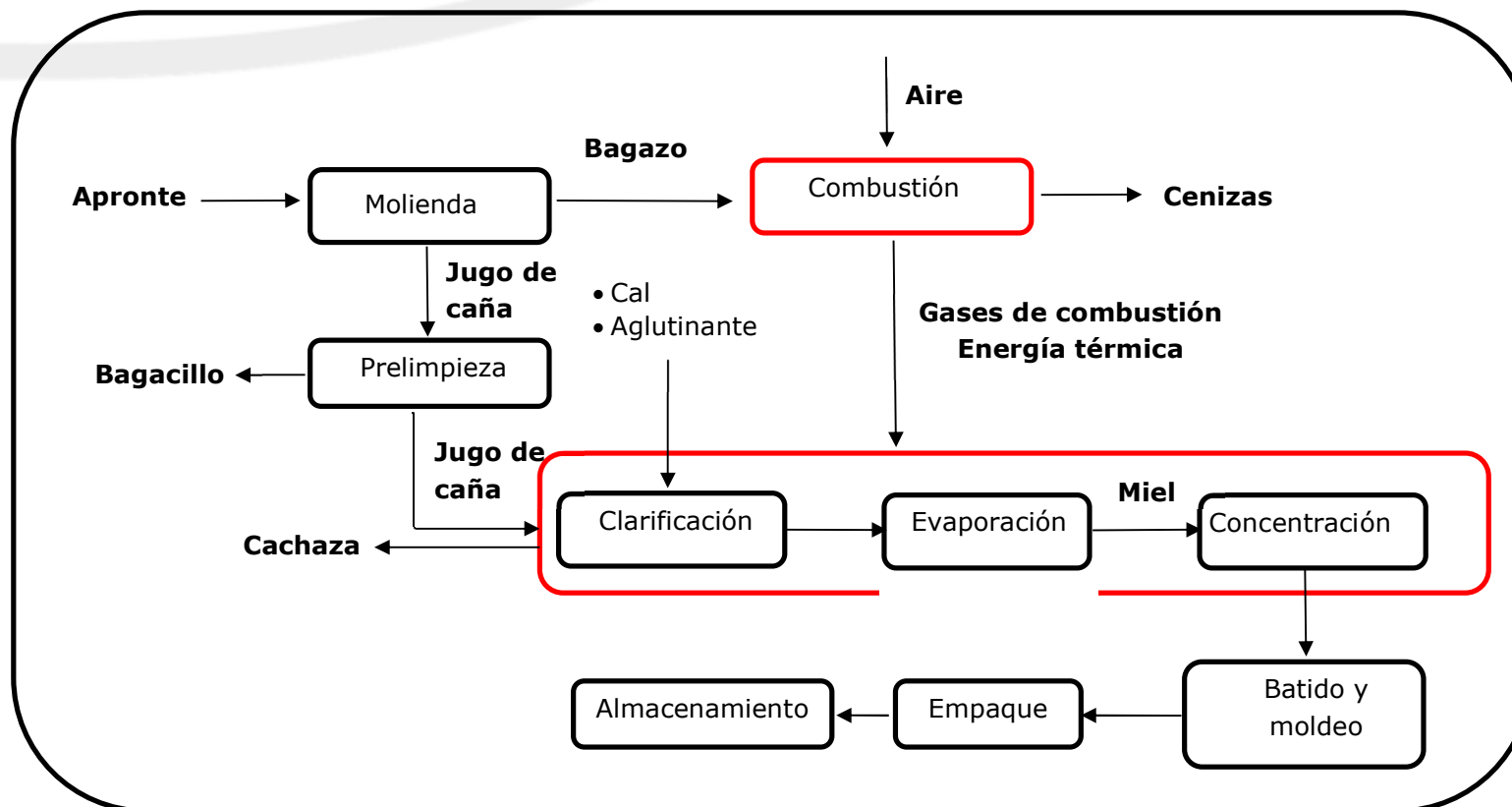
**Tabla 30.** Capacidad de producción de panela promedio por trapiche en los diferentes municipios paneleros de Cundinamarca

Municipio	Promedio de capacidad de producción de panela por trapiche (kg/h)
Caparrapí	75,4
El Peñón	39,1
La Peña	83,6
Nimaima	80,4
Nocaima	68,8
Quebradanegra	96,3
Quipile	42,5
Villeta	75,7
Total regional	79,4

Fuente: Corpoica (2017)

## Descripción del proceso de elaboración de panela

El proceso de transformación agroindustrial de la panela se describe en la figura 13, el cual empieza con la operación de molienda donde se obtiene jugo de caña (entre 17 y 23 °Brix) y bagazo, con un contenido de humedad del 45 % aproximadamente, el cual es usado en el proceso de combustión para obtener energía térmica requerida en la hornilla.



**Figura 3.** Diagrama de proceso para la producción de panela.

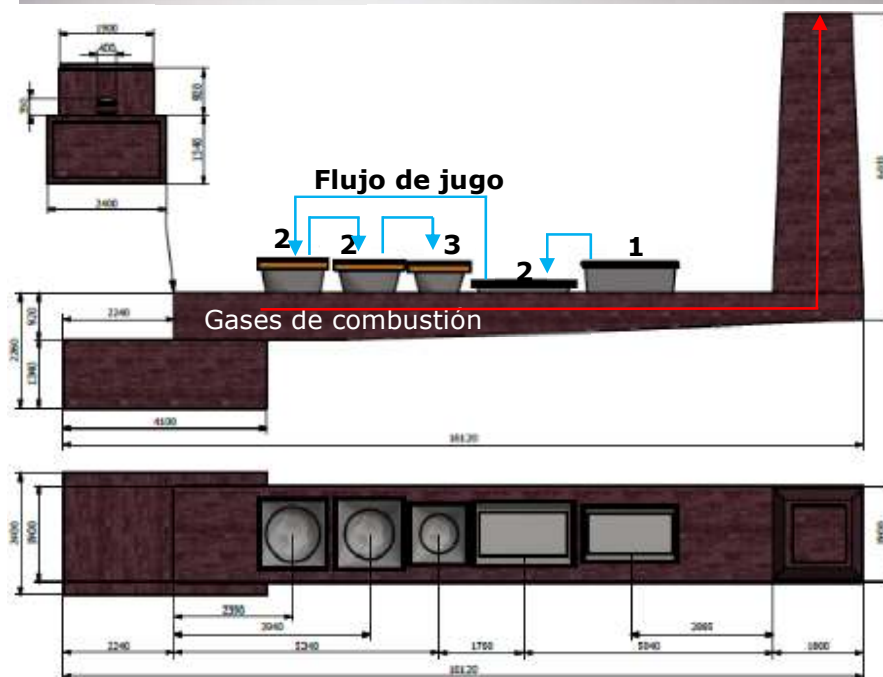
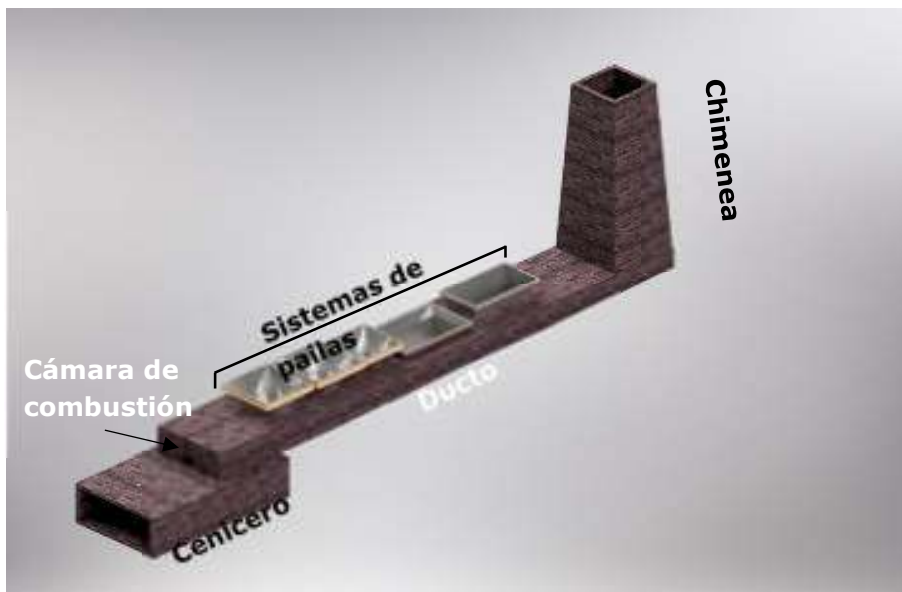
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, el jugo de caña pasa por una operación de prelimpieza y clarificación, donde se retiran impurezas del jugo; y continúa con la evaporación y concentración, proceso en el que se retira el agua presente en el jugo para concentrar los azúcares. Después de la operación de concentración, cuando la miel de caña tiene una concentración de sólidos solubles de 91 a 94 °Brix, se procede a realizar el batido y moldeo para obtener panela. Por último, se envasa (empaca) y almacena para su comercialización.

La tecnología en la fase de procesamiento para la producción de panela está determinada en gran medida por la eficiencia térmica de las hornillas. En Cundinamarca las hornillas más representativas son las tradicionales, y en menor proporción, las tecnificadas o con algún mejoramiento tecnológico.

### **Hornillas tradicionales**

De manera general, las hornillas tradicionales (figura 4) son módulos de producción de panela con baja tecnificación, usadas para escalas de producción pequeña. Estas hornillas se caracterizan por tener un flujo mixto de los jugos, por contar con una cámara de combustión plana para transformación termoquímica del bagazo, un ducto y una chimenea construidos con ladrillo común. La cámara de combustión usada en este tipo de hornillas puede alcanzar temperaturas máximas de combustión de 900 °C, requiriendo bagazo con un contenido de humedad menor al 30 %.



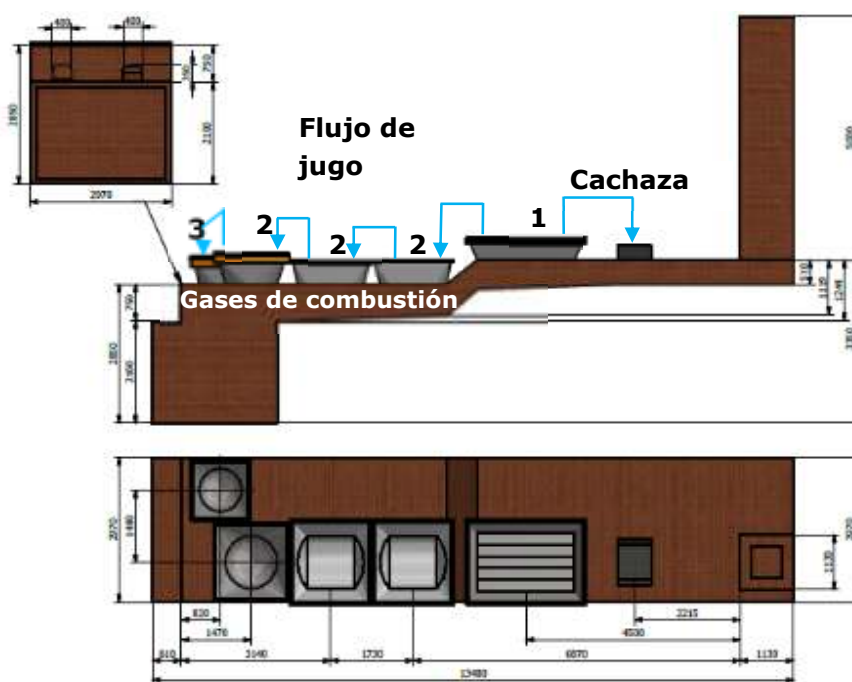
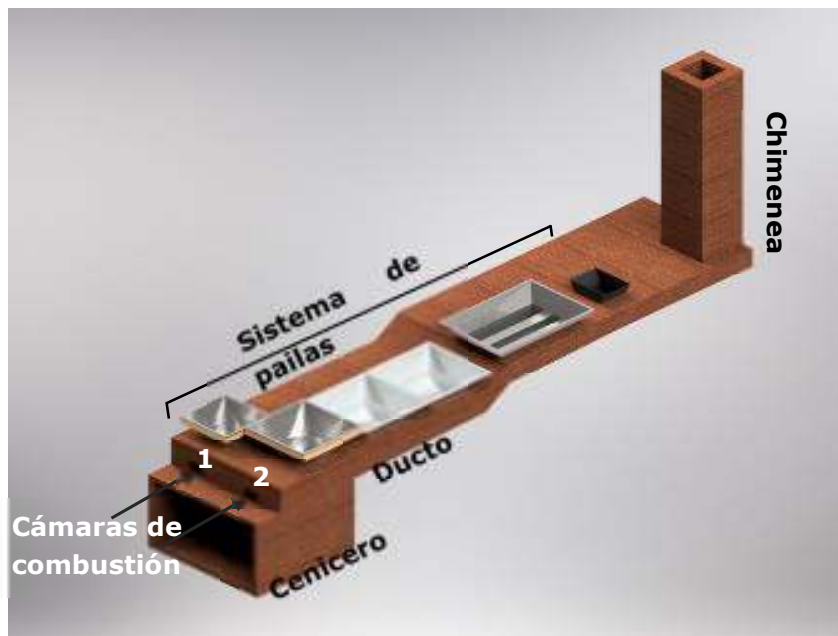
**Figura 4** Diseño de hornilla tradicional y función de las pailas: 1. Clarificación; 2. Evaporación 3. Concentración.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los sistemas de intercambiadores de calor o pailas, generalmente se usan cinco o seis pailas, entre las cuales se encuentran pailas de forma semiesférica para las operaciones de evaporación-concentración, y pailas rectangulares planas para la clarificación. El material de las pailas generalmente es el cobre y el aluminio. La baja tecnificación de las hornillas incide directamente en la eficiencia térmica global del proceso, la cual se ha reportado que es menor al 30 %, lo que se traduce en un sistema no autosuficiente desde el punto de vista térmico y que requiere el uso de otros tipos de combustibles (leña, carbón, caucho, etc.) para suplir las necesidades energéticas del proceso. Lo anterior genera impactos negativos sobre el ambiente como deforestación por el uso de leña, contaminación del aire por la emisión de hollín y otro material particulado, y calentamiento global por la emisión excesiva de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono.

### **Hornillas mejoradas (tipo Cundinamarca)**

Las hornillas mejoradas tipo Cundinamarca (figura 5) generalmente son módulos de producción de panela que incluyen algunas modificaciones tecnológicas respecto a las hornillas tradicionales. Este tipo de hornillas son usadas para escalas de producción mediana. Se caracterizan por tener un contraflujo entre los gases de combustión y los jugos de caña, por contar con dos cámaras de combustión planas mejoradas, un ducto construido con ladrillo refractario y una chimenea construida en ladrillo común. En estas cámaras de combustión se pueden alcanzar temperaturas máximas de combustión de 1.000 °C. Para un buen funcionamiento requiere que el contenido de humedad del bagazo sea menor al 35 %.



**Figura 5** Diseño de hornilla mejorada tipo Cundinamarca y funciones de las pailas: 1. Clarificación, 2. Evaporación y 3. Concentración  
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los sistemas de intercambiadores de calor o pailas, generalmente se usan cinco o seis pailas entre las cuales se encuentran pailas semiesféricas, semicilíndricas, planas con aletas y piro-tubulares, con una mayor área expuesta a los gases, lo cual permite aumentar la transferencia de calor al jugo y hacer más eficiente térmicamente la operación de evaporación-concentración. En estas hornillas todas las pailas son construidas en acero inoxidable, dando cumplimiento a la normatividad de recipientes utilizados en la elaboración de alimentos.

La mejora tecnológica de este tipo de hornillas, en la cámara de combustión, el ducto, la chimenea y las pailas, permite reducir las pérdidas de calor y hacer que el aprovechamiento del poder calorífico del bagazo sea mayor, llegando a obtener eficiencias térmicas globales alrededor del 40 %, teniendo así un sistema autosuficiente. A continuación, se describen las operaciones de proceso relacionadas con tecnologías empleadas en cada tipo de hornillas para llevar a cabo cada una de las operaciones descritas en la figura 3.

### Extracción de jugo

En la molienda se extrae el agua y los azúcares disueltos, contenidos en la caña en forma de jugo. El objetivo de la extracción es obtener la cantidad máxima de jugo presente en la caña y, al mismo tiempo, obtener bagazo con un contenido de humedad adecuado para ser quemado en cámaras de combustión. El proceso de molienda en trapiches tradicionales utiliza un molino de tres mazas horizontales para procesar cerca de 1.000 kg caña/h, con el cual se puede obtener un porcentaje de extracción de jugo del 57,8 % (Corpoica, 2017). Las especificaciones generales del molino caracterizado para la hornilla tradicional se describen en la tabla 31.

**Tabla 31.** Características generales del molino de hornillas tradicionales

Maza	Dimensiones	
	Diámetro (pulgadas)	Largo (pulgadas)
Superior	8-1/8	10
Quebradora	7-1/4	10
Exprimidora	7-7/8	10

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, para la hornilla mejorada tipo Cundinamarca se utiliza un molino de tres mazas horizontales para procesar 1.800 kg caña/h, con el cual se puede obtener un porcentaje de extracción de jugo cercano al 62%. Las especificaciones generales del molino caracterizado para la hornilla mejorada se describen en la tabla 32.

**Tabla 32.** Características generales del molino de hornillas tipo Cundinamarca

Maza	Dimensiones	
	Diámetro (in)	Largo (in)
Superior	10-7/8	13
Quebradora	9-3/4	13
Exprimidora	10-7/8	13

Fuente: Elaboración propia

Los molinos generalmente son accionados por motores de ACPM (91,7 %) y en menor medida, motores eléctricos (8,3 %). Esto es como consecuencia del difícil acceso a la red del sistema energético y a las frecuentes interrupciones en el suministro del servicio en las zonas rurales. La cantidad de panela obtenida al final del proceso varía según el porcentaje de extracción del molino y la concentración de los sólidos solubles, de tal manera que a mayor porcentaje de extracción y a mayor concentración de sólidos solubles, mayor cantidad de panela por tonelada de caña. El proceso de extracción es un proceso crítico en la producción de panela, por lo que se recomienda el mantenimiento oportuno de los molinos para su buen funcionamiento.

Normalmente los molinos no tienen un mantenimiento preventivo, es decir, el molino se utiliza hasta que se detiene por alguna falla y se procede con un mantenimiento correctivo. Sin los mantenimientos preventivos la capacidad de extracción va disminuyendo, lo cual hace que se produzca menor cantidad de panela por caña molida; o el molino puede presentar una falla a mitad de una molienda, teniendo que parar todo el proceso para hacer los correctivos pertinentes que pueden durar días. Estas fallas del producto, causadas por la ausencia del mantenimiento preventivo, repercuten negativamente en los costos de producción.

### Secado de bagazo

El bagazo es el subproducto de moler la caña en la etapa de molienda, el cual posee la energía química necesaria para la combustión, sin embargo, su potencial energético depende de su contenido de humedad, el cual a su vez depende del porcentaje de extracción, que para las hornillas caracterizadas está alrededor del 57,8 %. Esto permite establecer que el bagazo obtenido del proceso de molienda tiene un contenido de humedad alrededor del 45 %. Este contenido de humedad es considerado alto para las cámaras de combustión presentes en cada hornilla caracterizada, lo cual hace necesario reducir el contenido de humedad por medio de un proceso de secado.

Para secar el bagazo se debe almacenar en cobertizos llamados bagaceras, para que pierda la humedad usando la energía del sol y de fermentación, así alcanzará una humedad inferior al 30 % y podrá ser utilizado, posteriormente, como combustible para producir el calor requerido en el proceso de evaporación. Para secar el bagazo se recomienda almacenar en pilas altas, dejando un espacio entre pilas, de manera que el aire pueda circular.

### Combustión

La transformación termoquímica del bagazo o combustión se realiza en una cámara de combustión de lecho fijo. El contenido de humedad del bagazo utilizado en la combustión afecta la eficiencia de combustión de una biomasa en un lecho fijo (Sánchez, García, & Mendieta, 2013). Las cámaras de combustión son de forma rectangular o cuadrada, construidas de ladrillo común o refractario. Adicionalmente tienen una compuerta, por donde se alimenta el biocombustible, y una parrilla que permite la entrada de aire necesario para la combustión y el paso de las cenizas hacia el cenicero.

Las cámaras de combustión caracterizadas para las hornillas tradicionales y tipo Cundinamarca se describen en la figura 6. En la hornilla tradicional se cuenta con una cámara plana (figura 6a), con la cual se alcanzan temperaturas de combustión de 900 °C y representan 47,5 % de los trapiches analizados.

Las hornillas tipo Cundinamarca se caracterizan por tener dos cámaras de combustión planas mejoradas como se observa en la figura 6b. La cámara de combustión 1 se usa para proveer calor a la paila concentradora, permitiendo un mejor control del calor usada en ese punto, mientras que la cámara de combustión 2 provee el calor para el sistema de pailas para la evaporación y clarificación. Los gases de combustión de la cámara 1 se unen al ducto que alimenta la cámara 2. Este tipo de hornilla con dos cámaras representa el 51,3 % de los trapiches analizados.

Otros sistemas de combustión de tipo cámara Ward y caldera se presentan en menor medida (0,6 % cada uno). Lo anterior se relaciona con la baja capacidad de producción, puesto que estos últimos sistemas de combustión están diseñados para escalas de producción entre los 100 y 200 kg de panela por hora.



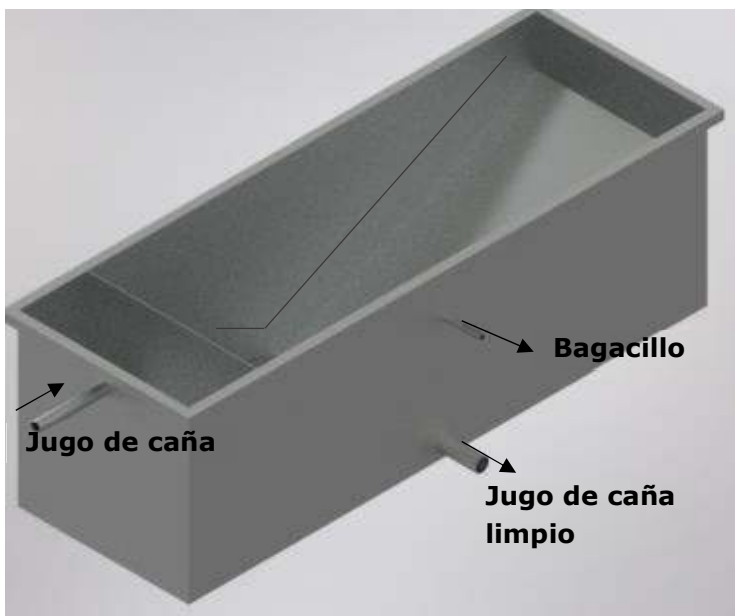
**Figura 6** Cámara de combustión. a. Hornilla tradicional; b. Hornilla tipo Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia

### Prelimpieza

La prelimpieza del jugo de caña se realiza antes de la clarificación, ya que permite eliminar arena y sólidos en suspensión como hojas y bagacillo. Esta operación mejora la eficiencia de la operación de clarificación del jugo de caña. Para la prelimpieza del jugo, Corpoica ha desarrollado tanques prelimpiadores

que permiten separar los materiales indeseados pesados por sedimentación, y los materiales livianos por flotación. En los trapiches tradicionales el jugo pasa del molino a un pequeño tanque receptor llamado "pozuelo" y de allí, a la primera paila de la hornilla. En trapiches que tienen la hornilla mejorada tipo Cundinamarca, normalmente se tiene implementado un tanque de prelimpieza tal y como se describe en la figura 7. El 55,1 % de los trapiches de Cundinamarca han implementado equipos prelimpiadores para retirar bagacillo, lodos y todo tipo de partículas indeseables o impurezas que se encuentran en el jugo de caña, cuando sale del molino. Los materiales con los que se construyen estos equipos se encuentran distribuidos de la siguiente manera: acero (62 %), baldosa (20 %), cemento (11 %), plástico (3 %) y madera (3 %).



**Figura 7** Prelimpiador del jugo caña.

Fuente: Elaboración propia

### Clarificación

La clarificación consiste en eliminar del jugo de caña los coloides y sustancias pigmentadas como proteínas, grasas, ceras y gomas. La clarificación se hace regularmente en las dos primeras pailas, donde llega el jugo a la hornilla; allí, mediante el calentamiento del jugo y la adición de floculantes o clarificantes

sintéticos o naturales, se logra la coagulación de los coloides. Así se forma una fracción flotante y oscura llamada “cachaza”, que flota por su menor densidad y puede ser retirada del jugo manualmente, con la utilización de cucharones o “cazos”. La cachaza es regularmente utilizada en estado fresco o mediante su conservación en forma de melote, para la alimentación de animales de la finca.

Para que se produzca la coagulación, el medio debe ser alcalino, obtenido por la presencia de agentes alcalinizantes tales como óxido de calcio (cal viva), hidróxido de calcio (cal apagada) (Quezada, 2012). Generalmente se disuelven en una pequeña cantidad de agua (lechada de cal) y se agregan en la paila clarificadora, denominando esta operación como encalado. Cuando se agregan al jugo, dichos reactivos modifican el pH y, junto con el efecto de la temperatura, forman precipitados que eliminan las impurezas (Koblitz, 1998). Estas partículas flotan en la superficie como espuma o precipitan durante la ebullición, las cuales se extraen de forma manual. La espuma es lo que se conoce como cachaza y se usa para alimentación animal. Para los dos sistemas de producción de panela caracterizados en el departamento de Cundinamarca se puede resaltar:

- En las hornillas tradicionales: el proceso de clarificación se realiza mediante ajuste del pH con cal (encalado) y la adición de clarificantes o floculantes naturales entre los cuales se puede mencionar Cadillo (*Heliocarpus americanus*, *H. popayanensis*, *Triumfetta lappula*), Guásimo (*Gauzuma ulmifolia*) y Balso (*Pavonia sepium*). Esta operación se realiza en una paila con geometría plana (tabla 33), la cual se encuentra ubicada en la zona del ducto donde gobierna la transferencia de calor por convección que es la más cercana a la chimenea (figura 4).
- En las hornillas mejoradas tipo Cundinamarca: al igual que en las hornillas tradicionales, el proceso de clarificación se realiza de la misma manera, la diferencia radica en el tipo de paila usado para esta operación. La paila usada en este tipo de hornilla es una paila pirotubular cuadrada (tabla 33), la cual, debido a su geometría y a que tiene una mayor área expuesta al paso de los gases calientes, permite una mayor transferencia de calor que la paila de geometría plana usada en la hornilla tradicional. La inclusión de este tipo de pailas permite aprovechar el calor de los gases de combustión en la zona del ducto cerca a la chimenea (figura 5). Otra diferencia importante es que en este tipo de hornillas generalmente se incluye también el prelimpiador de jugos de la caña, que mejoran la eficiencia de la operación de clarificación.

En Cundinamarca se ha encontrado con mayor frecuencia la utilización de clarificantes naturales como el guácimo (54,1 %), el balso (18,2 %) y las mezclas de guácimo-balso (13,8 %).

### Evaporación y concentración

Posterior a la clarificación, se inicia el proceso de evaporación del agua, aumentando así la concentración de azúcares en los jugos. La energía térmica obtenida en el proceso de combustión del bagazo se aprovecha en la sección de intercambiadores de calor de la hornilla, conocida como "tren de pailas", allí los gases calientes producidos en la combustión ceden su calor al jugo al tener contacto con el fondo de las pailas. Algunas de las pailas dispuestas en el sistema se usan para evaporar el agua del jugo y obtener mieles (70-75 °Brix), y una paila se utiliza generalmente para concentrar mieles hasta obtener una concentración de sólidos solubles entre 91 y 94 °Brix, o temperaturas entre 120 y 125 °C. A este último paso de concentración se le denomina punto, al cual se le agrega un agente antiadherente y antiespumante (aceite vegetal) para evitar que la miel, durante la ebullición, genere espuma que rebose la altura de la paila, e impedir que las mieles se adhieran a las paredes de la paila evitando la caramelización y quemado.

La etapa de evaporación es la que tiene el mayor consumo energético del proceso de elaboración de panela, ya que en esta se remueve más del 80 % del agua presente en el jugo. De acuerdo con la configuración y tipos de pailas se aprovecha el poder calorífico de combustible, lo cual define la eficiencia térmica global del proceso.

Los sistemas de intercambio de calor predominantes corresponden a configuraciones geométricas de pailas tipo semiesféricas (tabla 33), donde se realizan los procesos de clarificación, evaporación y concentración. Esta distribución es predominante en 89,9 % de los trapiches de Cundinamarca. Pocas implementaciones se han realizado en la región respecto a tecnologías de intercambio de calor. Tan solo 0,63 % y 9,43 % de los trapiches han implementado pailas de tipo aleteada y pirotubulares (tabla 33), respectivamente. El uso de estas pailas está limitado a las etapas de recepción, clarificación y evaporación de los jugos. De igual manera, para un mejor aprovechamiento del calor obtenido en la combustión, la implementación de pailas para la producción de melote a partir de la cachaza se ha realizado en el 42,7 % de los trapiches.

- En las hornillas tradicionales: la operación de evaporación se realiza en una paila de geometría plana y dos pailas de geometría semiesféricas (tabla 33). Las pailas de geometría semiesférica se encuentran ubicadas en la zona del ducto más cercana a la fuente de calor (figura 4). Para este caso las formas geométricas semiesféricas permiten aprovechar mejor el calor de los gases de combustión en esa zona del ducto, donde gobiernan mecanismos de transferencia de calor por radiación. Para la concentración de las mieles y obtención del punto para la panela se utiliza una paila semiesférica (tabla 33). Sin embargo, en la zona del ducto donde se encuentra ubicada la paila de geometría plana se presentan mecanismos de transferencia de calor intermedios entre radiación y convección, razón por la cual se recomienda otro tipo de configuración geométrica para aprovechar los dos mecanismos de transferencia de calor presentes.
- En las hornillas mejoradas tipo Cundinamarca: la operación de evaporación se realiza en dos pailas semicilíndricas y una paila de geometría semiesférica (tabla 33). La paila de geometría semiesférica está ubicada en la zona del ducto más cercana a la fuente de calor (figura 5). Este tipo de geometría de paila permite aprovechar mejor el calor de los gases de combustión en esa zona del ducto donde gobiernan mecanismos de transferencia de calor por radiación. Las pailas semicilíndricas están ubicadas en la parte intermedia del ducto. Esta configuración geométrica permite aprovechar los mecanismos de transferencia de calor intermedios entre radiación y convección. En este tipo de hornilla, al tener dos cámaras de combustión, el calor obtenido de una de ellas se usa para concentrar las mieles en una paila con configuración semiesférica, la cual resulta adecuada para el mecanismo de transferencia de calor (radiación) presente en esa zona del ducto.

### Batido y moldeo

Cuando las mieles alcanzan concentraciones entre 91 y 94 °Brix o temperaturas entre 120 y 125 °C, se considera que están en el punto para panela y se procede a realizar la operación de batido. Como su nombre lo dice es una operación mecánica manual, la cual consiste en batir las mieles concentradas en unos recipientes para introducir aire y enfriar las mieles, lo que permite que se formen cristales de sacarosa. Una vez la miel ha sido batida, se forma una nueva textura (panela) y se dispone en moldes o gaveras, donde adquiere su forma definitiva y se solidifica cuando alcanza temperaturas cercanas a los 100 °C. Estas operaciones se realizan en espacios adecuados que deben cumplir con requisitos normativos para la manipulación de alimentos. Dichos espacios se conocen como

cuartos de moldeo y deben estar lejos de las bagaceras, para evitar la entrada de polvillo o insectos como las abejas.

### Presentaciones de la panela

La presentación predominante de la panela producida en los trapiches de Cundinamarca es la forma tradicional en bloque cuadrado (67,30 %), seguida de las presentaciones en pastilla (16,98 %) y redonda (10,69 %). En menor medida se produce panela pulverizada (4,40 %) y mieles de caña (0,63 %). La diversificación en las presentaciones de la panela y la obtención de otros productos se ve afectada por la falta de incentivos en la innovación, así como la falta de campañas promocionales que den a conocer de manera efectiva a los consumidores la existencia y ventajas de utilización de dichos productos.

**Tabla 33.** Tipos de pailas utilizadas en el departamento de Cundinamarca

Hornilla tipo tradicional		Hornilla tipo Cundinamarca	
Clarificación		Clarificación:	
Número de pailas: 1		Número de pailas: 1	
Tipo de paila: Plana		Tipo de paila: Piro tubular cuadrada	
Evaporación		Evaporación:	
Número de pailas: 3		Número de pailas: 3	
Tipo de paila: semiesférica		Tipo de paila: 2 semicilíndrica (a) 1 semiesférica (b)	
Concentración		Concentración	
Número de pailas: 1		Número de pailas: 1	
Tipo de paila: semiesférica		Tipo de paila: semiesférica	

Fuente: Elaboración propia

### **Envasado y almacenamiento**

El envase, además de contener, manipular, distribuir y presentar el producto, debe cumplir con las funciones de proteger y conservar la inocuidad, calidad nutritiva y sensorial del alimento. La panela es un producto higroscópico que tiende a absorber o a perder humedad fácilmente, en función de las condiciones ambientales. Por lo tanto, el hecho de no empacar la panela aumenta el riesgo de alteración, haciéndola propensa a la contaminación por microorganismos. Para el envasado primario de la panela se recomiendan materiales plásticos, que actúen como barrera a la entrada de humedad al producto. Como material de embalaje o envase secundario se usan costales, cartón y plástico termoencogible.

El mercado de destino y el tipo de cliente definen el tipo de envase que se debe utilizar. En el mercado nacional: a granel se envasan panelas directamente en cajas de cartón, sin embargo, las cadenas de supermercado exigen el envasado de la panela en material plástico y embalado en cajas de cartón.

## Capítulo XIV

### Análisis comparativo rendimiento térmico y ambiental

En la tabla 34 se describen los promedios de las variables consideradas en la evaluación térmica y ambiental de cada tipo de hornilla caracterizada. Se observa que la hornilla tipo Cundinamarca presenta mejores resultados de cada parámetro evaluado en comparación con la hornilla tradicional. Esta mejora se debe a cada una de las tecnologías implementadas en cada operación, lo cual permite un mejor proceso desde el punto de vista térmico, ambiental y de calidad de la panela.

**Tabla 34.** Variables medidas y calculadas para la evaluación final

Variable	Hornilla tradicional		Hornilla mejorada tipo Cundinamarca	
	Valor	Desviación (±)	Valor	Desviación (±)
kg panela/hora	79,4	6,8	157,26	4,6
Eficiencia (%)	29,81	2,1	38,74	2,3
kg bagazo/kg panela	2,88	1,9	1,71	0,35
kg CO/kg panela	0,0222	0,006	0,023	0,008
kg CO <sub>2</sub> /kg panela	4,1498	0,34	2,895	0,3

Fuente: Elaboración propia

Para el caso específico de eficiencia térmica global se observa que la hornilla mejorada tipo Cundinamarca presenta un valor mayor. Este resultado se debe a que los intercambiadores usados para producir panela tienen una mayor capacidad de aprovechar el calor de los gases de combustión y transferirlo a los jugos. Específicamente, en la operación de clarificación donde gobiernan mecanismos de transferencia de calor por convección, la paila pirotubular tiene una mayor área de transferencia de calor que una paila plana, por lo tanto, tiene la capacidad de captar mayor cantidad energética.

De la misma manera, las pailas semicilíndricas que se usan para evaporar tienen la capacidad de aprovechar mecanismos intermedios de transferencia de calor entre radiación y convección. Al tener en cuenta la capacidad de captar calor de cada una de las pailas en la hornilla mejorada tipo Cundinamarca se observa que es mayor que en la hornilla tradicional, lo cual se ve reflejado en el valor de la eficiencia térmica global. Al tener un mejor aprovechamiento de la capacidad calorífica del bagazo, se disminuye el flujo de bagazo alimentado/ flujo de panela producido, lo cual incide directamente en el flujo de emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) tal y como se observa en la tabla 35.

La cantidad de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) no tiene una diferencia significativa entre las dos tecnologías. La hornilla tradicional suele requerir madera, carbón y otros combustibles para cumplir con el requerimiento energético. La presencia de estos combustibles permite que la temperatura de la cámara permanezca cerca a los  $900\text{ }^\circ\text{C}$  de manera más constante, mientras que la hornilla mejorada tipo Cundinamarca, al no requerir de combustibles adicionales (en la mayoría de los casos), presenta una baja temperatura de combustión (cerca de  $600\text{ }^\circ\text{C}$ ) al momento de agregar bagazo húmedo a la cámara por sofocamiento de la llama. De esta manera se favorece la formación de monóxido de carbono, y aunque se requiere menor cantidad de bagazo, la mayor concentración de monóxido en la hornilla mejorada tipo Cundinamarca hace que la relación de monóxido emitido por kilogramo de panela sea similar entre las tecnologías mencionadas.

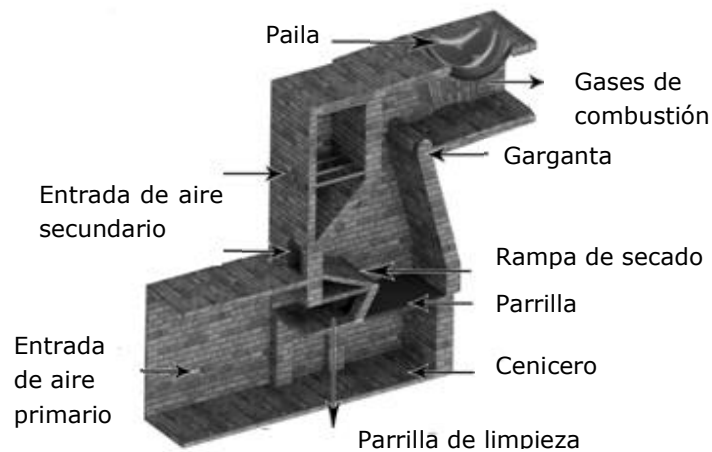
## Capítulo XV

### Recomendaciones de nuevas tecnologías desarrolladas para la producción de panela en AGROSAVIA

A continuación, se hace una breve descripción de las tecnologías desarrolladas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), las cuales están orientadas a la modernización de las instalaciones de procesamiento, para así mejorar la competitividad y sostenibilidad de la agroindustria panelera.

#### Cámara de combustión tipo *Ward*

La cámara *Ward* (figura 8) es una tecnología de combustión que permite trabajar con bagazo, con un contenido de humedad del 45 %. Esto se logra porque la tecnología tiene incluida una rampa de secado que permite disminuir el contenido de humedad del bagazo. En estas cámaras se logra una mejor combustión del bagazo, consiguiendo porcentajes de CO cercanos al 1 % y mayores temperaturas de combustión en promedio de 1.100 °C. Su costo es superior al de la cámara plana y requiere material refractario para su construcción.



**Figura 8.** Cámara de combustión tipo Ward.  
Fuente: Elaboración propia

## Filtro de mangas para la limpieza del jugo de caña

Esta tecnología se usa para mejorar la limpieza del jugo después del proceso de clarificación. Es una tecnología que trabaja a presión (figura 9) y se compone de: una bomba, el cuerpo del filtro, mangas y una tubería de entrada y otra de salida de jugo.

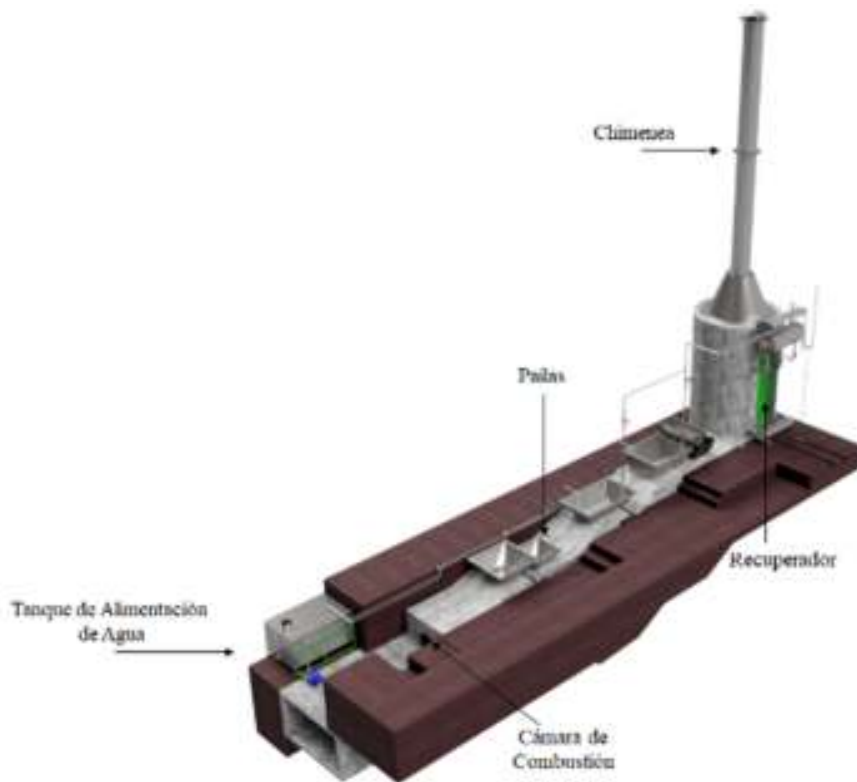


**Figura 9.** Sistema de filtración de jugos con mangas.

Fuente: Elaboración propia

## Tecnología para evaporación en pequeña escala

Sistema de evaporación de jugo de caña de azúcar eficiente para pequeños productores. Es un sistema con el cual se pueden lograr eficiencias térmicas globales del 49 %, y una producción de 80 kg de panela por hora. Incluye un sistema de recuperación de calor en la chimenea, donde se produce vapor, y retorna al proceso (figura 10). Adicionalmente, se reduce la cantidad de combustible usado y por ende la cantidad de emisión de gases por kilogramo de panela producido.



**Figura 10.** Sistema de evaporación eficiente para pequeños y medianos productores.  
Fuente: Elaboración propia

## Capítulo XVI

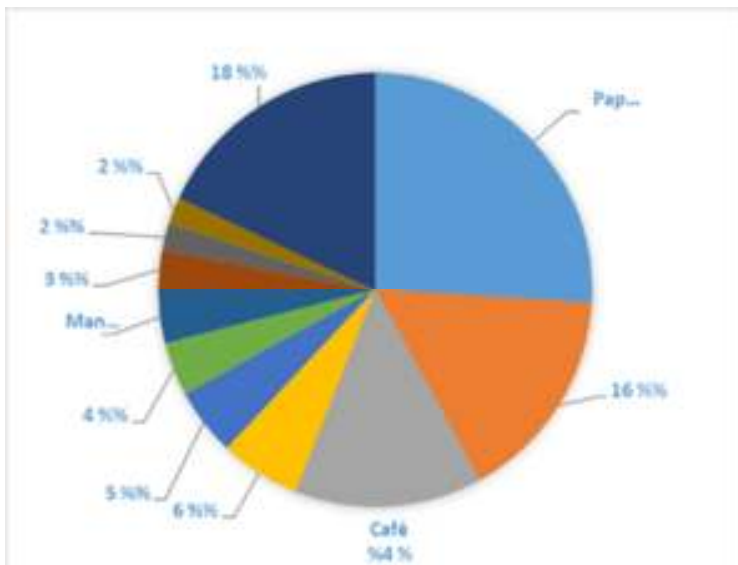
### Indicadores económicos

En este capítulo se presentan algunos indicadores y análisis económicos de la situación actual de la agroindustria panelera en el departamento de Cundinamarca, los cuales tienen como base estadística las cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), así como información de AGROSAVIA, tomada en la caracterización de la producción panelera de varias regiones del país, durante los años 2015 a 2017.

#### Agroindustria panelera en Cundinamarca

Tomando como base los datos publicados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano [Agronet], 2016), se puede afirmar que Cundinamarca es, después de Santander, el segundo departamento productor de panela en Colombia, y el primero en términos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar para la producción de panela. En efecto, en 2016 la producción cundinamarquesa de panela fue de 176.856 toneladas, contribuyendo con el 15,4 % de la producción nacional de panela, y con el 20,8 % del área nacional cosechada en caña para panela, lo cual indica claramente la importancia que tiene el departamento de Cundinamarca en el desempeño general de la cadena agroindustrial panelera en Colombia.

De acuerdo con la misma fuente, el cultivo de la caña panelera ocupa cerca de 40.000 hectáreas en Cundinamarca y representa el segundo renglón agrícola departamental, después de la papa, en términos del área agrícola dedicada a la producción de panela (figura 11).

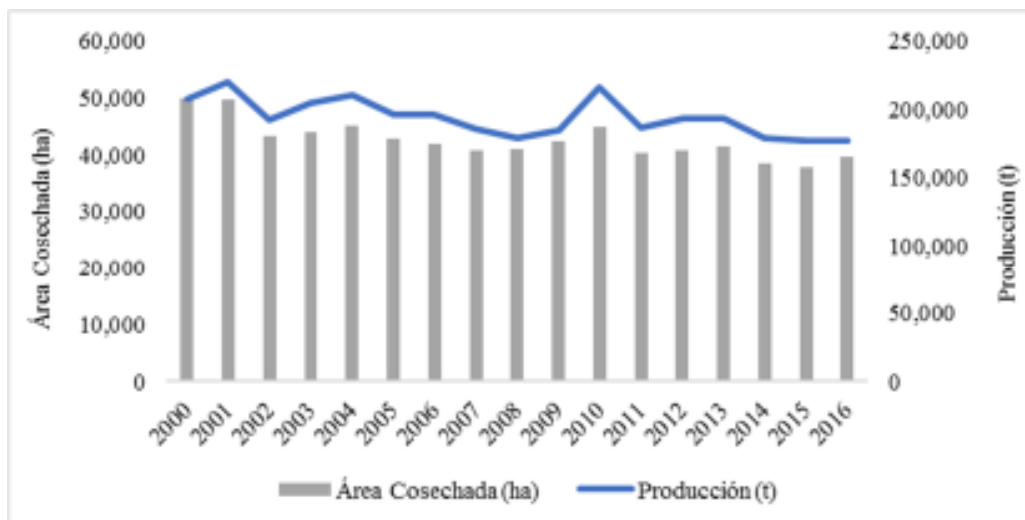


**Figura 11.** Participación de los principales cultivos de Cundinamarca en el área cosechada en el año 2016.

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)

A pesar de la importancia actual de Cundinamarca en el cultivo de caña panelera y en la producción de panela a nivel nacional y departamental, hay diversos indicadores productivos y económicos que reflejan una progresiva disminución de la actividad productiva y el relativo estancamiento de su participación en el contexto nacional panelero.

Como se puede apreciar en la figura 12, la producción de panela de Cundinamarca en 2016 ha disminuido desde el año 2000 hasta el año 2016 en más de 30.000 toneladas, lo cual es efecto principalmente de una reducción de más de 10.000 hectáreas en la superficie cosechada en caña panelera, y de un lento incremento anual en los rendimientos de panela producida por hectárea.



**Figura 12.** Evolución del área cosechada y de la producción anual de panela en Cundinamarca (2000-2016).

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)

Al analizar estadísticamente la evolución de los indicadores productivos, presentados en la tabla 35, se encontró que durante el periodo 2000-2016 la producción panelera de Cundinamarca disminuyó anualmente a una tasa promedio del 0,9 %; que el área cosechada disminuyó al 1,3 %, y el rendimiento solo incrementó a una tasa media del 0,4 %. Se observa también que, aunque la participación de Cundinamarca en el área nacional cosechada en caña panelera ha disminuido, su participación en la producción nacional de panela se mantiene en un nivel cercano al 15 %, debido principalmente a que otras regiones paneleras importantes, como la hoya del río Suárez (HRS), han aumentado la producción a una tasa mayor, como se presentará más adelante al contrastar la evolución de Cundinamarca con otras regiones paneleras del país.

**Tabla 35.** Evolución de la producción de panela 2000-2016

Año	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Participación producción nacional (%)	Participación área cos. nacional (%)
2000	50.010	207.179	4,14	15,92	23,31
2001	49.625	219.711	4,43	15,31	22,33
2002	43.229	192.656	4,46	13,85	20,53
2003	44.035	204.268	4,64	14,24	20,67
2004	45.027	210.486	4,67	14,57	20,89
2005	42.745	196.025	4,59	14,43	20,36
2006	41.930	195.751	4,67	15,76	20,76
2007	40.853	185.427	4,54	14,56	20,55
2008	41.041	178.712	4,35	14,70	20,81
2009	42.305	185.150	4,38	15,45	21,71
2010	44.854	216.091	4,82	17,62	22,57
2011	40.343	186.815	4,63	15,36	20,54
2012	40.685	193.083	4,75	15,39	20,17
2013	41.402	193.615	4,68	14,45	19,43
2014	38.573	178.588	4,63	14,55	18,91
2015	37.866	176.634	4,66	14,43	18,92
2016	39.640	176.856	4,46	15,36	20,79

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)

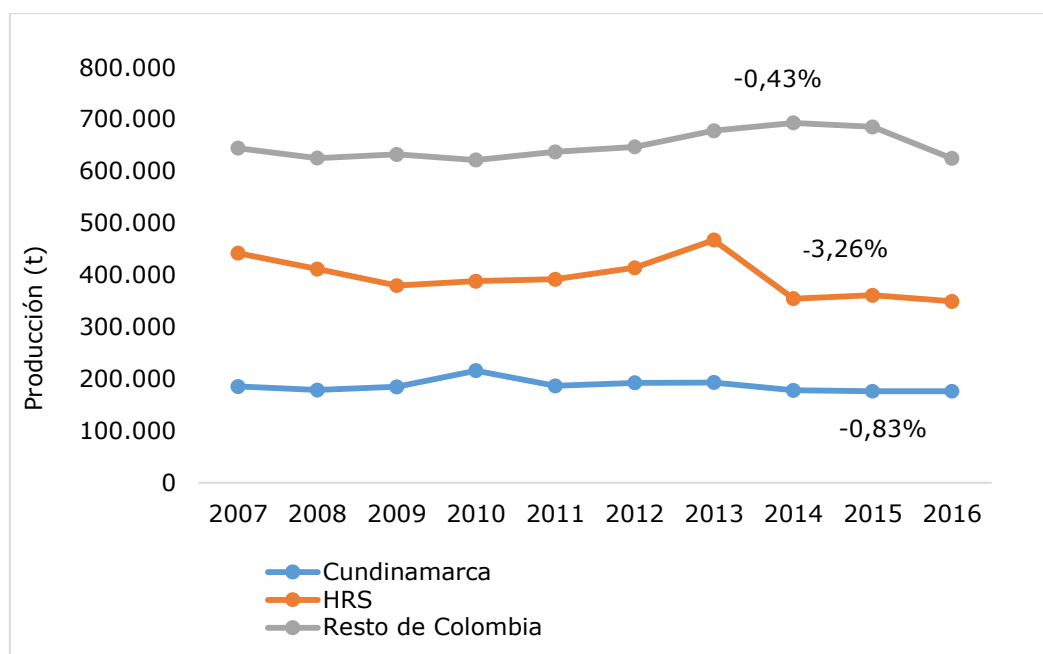
La evolución de la agroindustria panelera en Cundinamarca puede explicarse por múltiples razones, que se sintetizan en:

- El área de cultivo en caña panelera de Cundinamarca ha disminuido en gran medida por la presión del uso de la tierra con fines turísticos, pues la proximidad de varios municipios paneleros a la ciudad de Bogotá ha hecho que se presente una significativa demanda de predios rurales por parte de habitantes urbanos que buscan adquirir pequeños predios o fincas en climas medios a cálidos, con la finalidad de recreación y descanso. Los valores pagados por estas propiedades superan altamente las expectativas de utilidad de los propietarios rurales derivadas de la producción de panela y de otras actividades agropecuarias.

- El área de cultivo en caña panelera ha disminuido por la baja disponibilidad de mano de obra para realizar las labores agrícolas y de procesamiento de la caña; la disponibilidad de trabajadores ha disminuido principalmente por la migración de población joven hacia la ciudad de Bogotá en busca de mejores oportunidades de ingreso, empleo, estudio y bienestar.
- Varias fincas han cambiado su vocación de producción panelera hacia especies perennes como frutales y cacao, con la expectativa de un mejor ingreso ante las frecuentes caídas del precio de la panela.
- La fluctuación de los precios pagados a los productores genera incertidumbre en la obtención de utilidades, y desincentiva la adopción de tecnologías que impliquen inversiones significativas como la renovación de los cultivos o el mejoramiento de las instalaciones y equipos de proceso.
- La baja renovación de los cultivos afecta los rendimientos de la caña, por el envejecimiento de las cepas y la mayor incidencia de plagas y enfermedades.
- Las instalaciones y equipos de proceso tradicionales frecuentemente son ineficientes y originan problemas de baja extracción de jugos, baja conversión de caña a panela y alto consumo de combustibles adicionales al bagazo, lo cual en suma afecta la productividad en el procesamiento.
- La migración de los trabajadores jóvenes a la ciudad, y la falta de un relevo generacional en la región, ha originado un marcado envejecimiento de la población que queda frente a las labores de cultivo y proceso, con el consecuente efecto negativo sobre la productividad del trabajo.
- El cambio y la variabilidad climática con alternancia del Fenómeno de El Niño y de La Niña, han afectado la producción y el rendimiento panelero, tanto por la escasez de lluvia como por el exceso de estas. En condiciones de déficit hídrico se disminuye la producción de la caña y aumenta la incidencia de insectos-plaga. Por su parte, el superávit hídrico por lluvias acentúa los problemas de enfermedades de la caña, deteriora los caminos para el normal transporte de la caña hasta el trapiche y, muy especialmente, afecta el procesamiento de la caña por el mayor contenido de agua en los tallos, lo que implica reducción de los azúcares presentes en la caña, disminución de la conversión de caña a panela y mayores consumos de combustible para evaporar el agua del jugo y producir la panela.

La anterior problemática de la oferta de panela en Cundinamarca, de por sí compleja en su naturaleza, se ve acompañada de un problema estructural de la agroindustria panelera que es la progresiva disminución de la demanda nacional de panela, atribuible a varios factores que deben ser analizados más profundamente, pero que parecen estar relacionados principalmente con la reducción de varios nichos poblacionales del consumo de productos edulcorantes de alto contenido calórico por razones de salud.

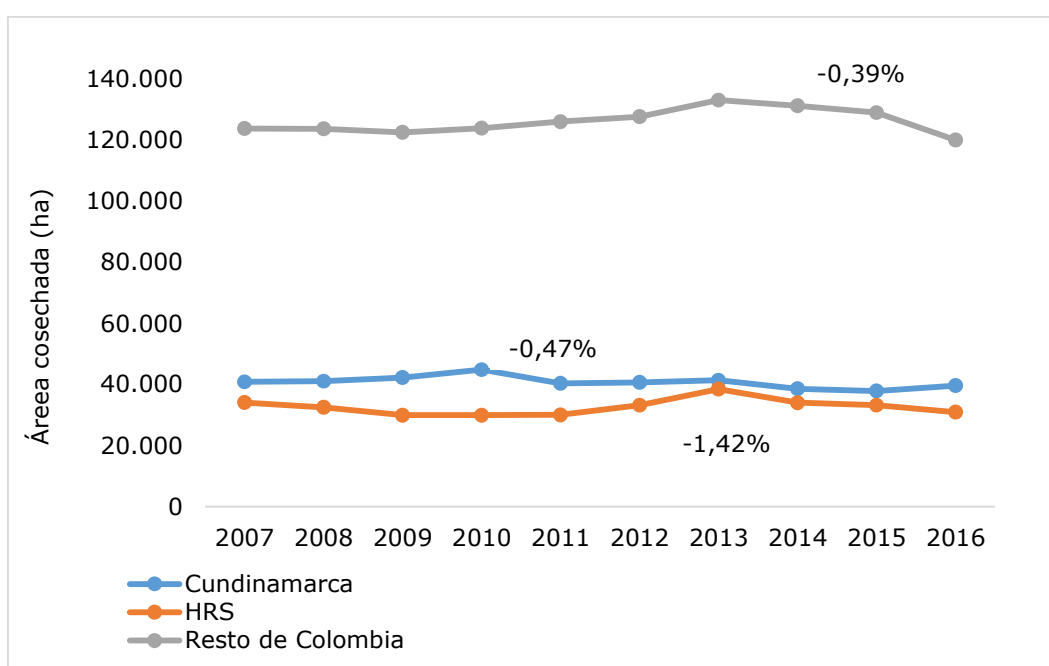
En las figuras 13, 14 y 15, se muestran las tendencias en la producción de panela, el área cosechada de caña y el rendimiento por hectárea para Cundinamarca. De igual forma, para realizar un contraste, se presentan también las tendencias de la hoya del río Suárez (HRS) en Boyacá y Santander, que concentra más de la tercera parte de la producción panelera, y las tendencias del agregado del resto de regiones paneleras del país. Como puede observarse, la producción de panela en la HRS y Cundinamarca decreció, durante el periodo de 2007-2016, a una tasa promedio anual del -3,26% y -0,83%, respectivamente. En tanto que, en el resto del país, la producción de panela disminuyó a una tasa promedio anual de -0,43%.



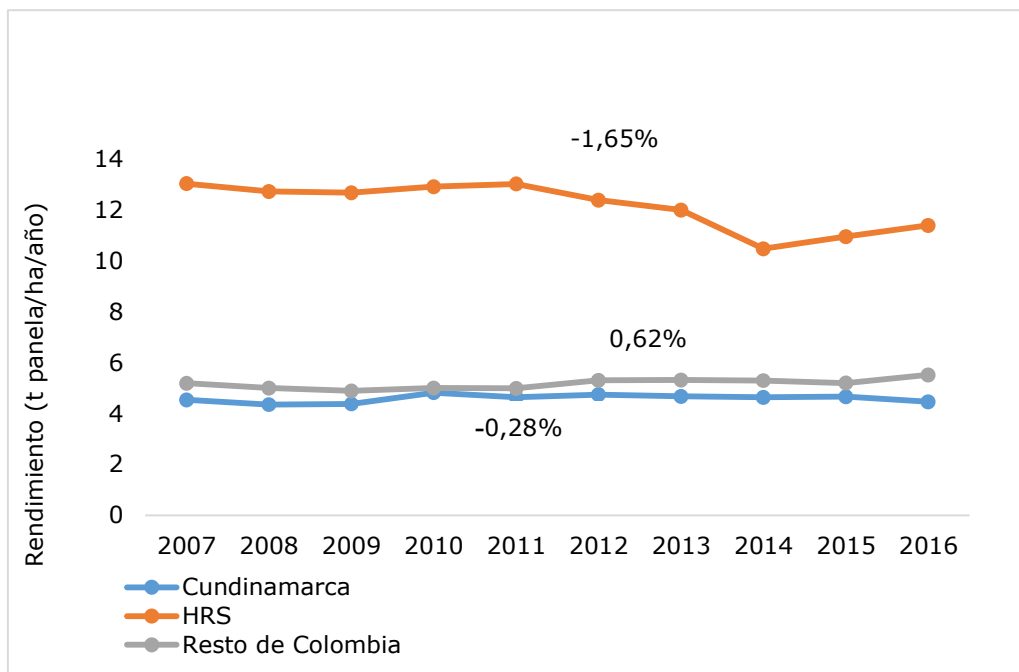
**Figura 13.** Tendencias de la producción de panela en Colombia (2007-2016).

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)

Al graficar los datos en cambios, en área y rendimiento, se observa que los rendimientos de panela por hectárea cayeron a una tasa anual promedio de -1,65 % y -0,28 % en HRS y Cundinamarca respectivamente. El área cosechada en caña disminuyó a una tasa promedio anual del -0,47 % en Cundinamarca y en el resto de Colombia, a una tasa de -0,39 %. En general, se evidencia un fuerte estancamiento de la producción nacional.



**Figura 14.** Tendencias del área cosechada en caña panelera en Colombia (2007-2016). Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)



**Figura 15.** Tendencias del rendimiento en panela por hectárea en Colombia (2007-2016).

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)

## Caracterización de la producción panelera de Cundinamarca

En esta sección se sintetizan las principales características de la producción y del manejo tecnológico del sistema productivo del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y de la fabricación de panela en Cundinamarca. Los datos fueron obtenidos a partir de información primaria, de una encuesta<sup>3</sup> aplicada por AGROSAVIA (Corpoica, 2017), y complementada con los resultados de las *Evaluaciones Agropecuarias municipales* recopiladas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR & Umata, 2016).

<sup>3</sup> Encuesta aplicada en 159 fincas-trapiches en el departamento de Cundinamarca. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó un muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional. La encuesta fue aplicada por el equipo de investigación del proyecto *Indicadores de impacto ambiental de la agroindustria panelera*, de AGROSAVIA, en el año 2017.

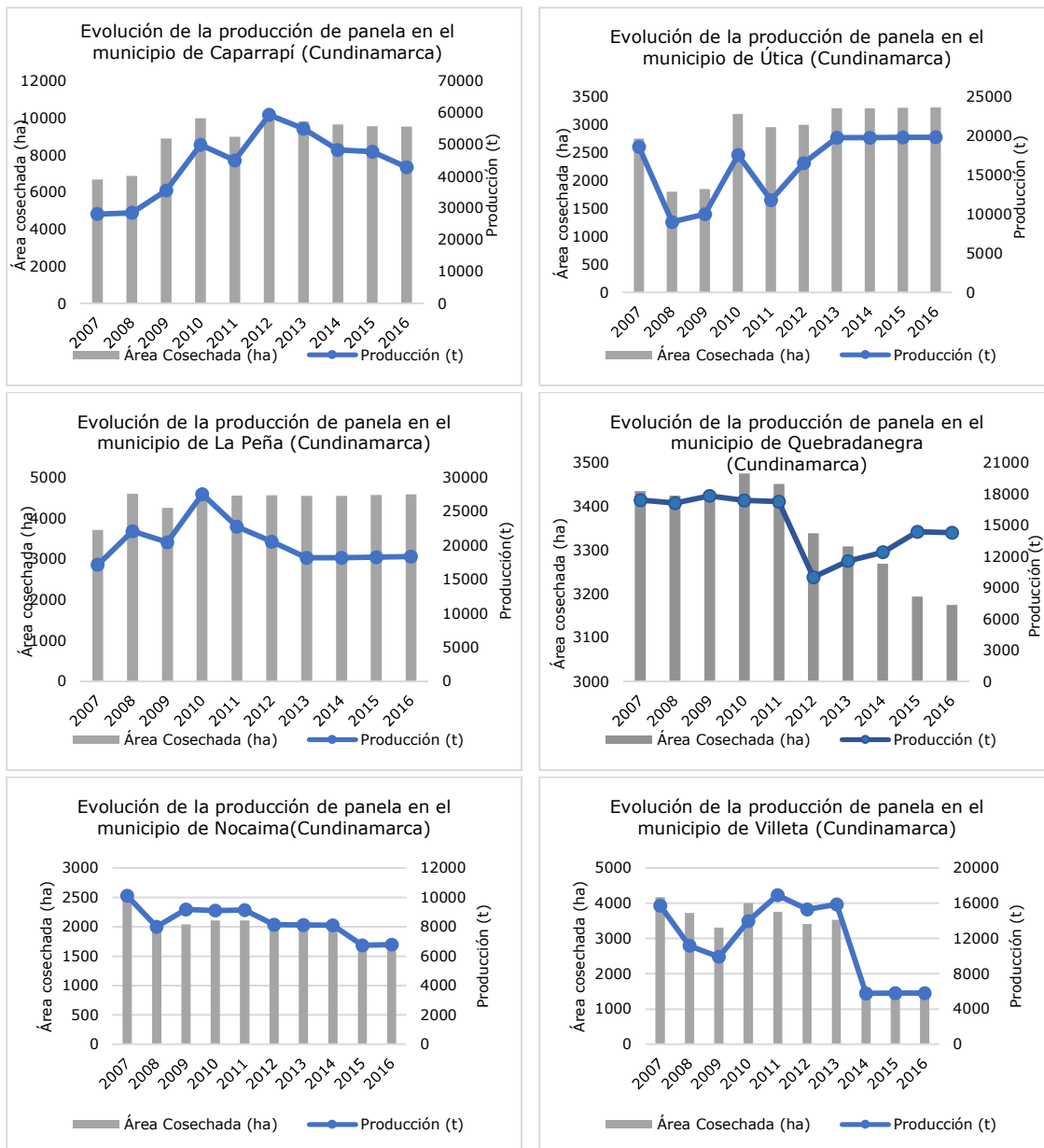
El cultivo de caña panelera se extiende ampliamente en el occidente de Cundinamarca. Los principales municipios productores de panela son Caparrapí, Útica, La Peña, Quebradanegra, Quipile, Nimaima, Nocaima, Vergara, Yacopí, Villeta y El Peñón. Se estima que en Cundinamarca la producción de panela se lleva a cabo en 3.601 unidades finca-trapiche. Cabe señalar que, en promedio, el área en caña beneficiada por trapiche es de 10,5 hectáreas, siendo los municipios de Útica y Caparrapí los de mayor superficie de caña beneficiada anualmente por trapiche (tabla 36).

En la figura 16 se puede apreciar la evolución de la producción y del área cosechada en los ocho municipios que concentran el 70 % de la producción departamental. En fincas de mediana extensión es usual encontrar cultivos con corte por parejo, esto puede ser explicado por el tamaño de la producción de panela por trapiche o simplemente por el cambio en el uso del suelo. Se observó que municipios tradicionalmente paneleros como Nocaima, Nimaima y Villeta presentan la desaparición progresiva de trapiches, y la disminución de la producción de panela por la conversión a fincas de recreo y a actividades ganaderas.

**Tabla 36.** Indicadores de producción de la agroindustria de la panela en Cundinamarca, año 2016

Municipio	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Nº trapiches	Área en caña beneficiada por trapiche (ha)	Producción de panela por trapiche (t)
Caparrapí	9.539	42.926	4,5	453	21,1	94,8
Útica	3.302	19.812	6,0	150	22,0	132,1
La Peña	4.586	18.344	4,0	379	12,1	48,4
Quebradanegra	3.175	14.288	4,5	169	18,8	84,5
Quipile	1.625	9.750	6,0	131	12,4	74,4
Nimaima	1.724	6.896	4,0	152	11,3	45,4
Nocaima	1.695	6.780	4,0	228	7,4	29,7
Vergara	1.488	6.696	4,5	216	6,9	31,0
Yacopí	1.458	5.832	4,0	107	13,6	54,5
Villeta	1.447	5.788	4,0	289	5,0	20,0
El Peñón	603	3.321	5,5	219	2,8	15,2
Guaduas	804	2.814	3,5	70	11,5	40,2
Chaguaní	696	2.785	4,0	42	16,6	66,3
Pulí	540	2.700	5,0	27	20,0	100,0
Anapoima	338	2.094	6,2	40	8,4	52,4
La Palma	593	2.076	3,5	87	6,8	23,9
Otros	4.298	22.067	5,1	842	5,1	26,2
<b>Total</b>	<b>37.911</b>	<b>174.967</b>	<b>4,6</b>	<b>3601</b>	<b>10,5</b>	<b>48,6</b>

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)



**Figura 16** Evolución de la producción de panela en municipios de Cundinamarca (2007-2016).

Fuente: Elaboración propia con base en Agronet (2016)

De acuerdo con los resultados de la encuesta de Corpoica en 2017, el área promedio de las fincas paneleras en el área de estudio es de 13,1 hectáreas, de las cuales el 67,7 % se dedica al cultivo de la caña para la producción de panela. El cultivo de caña en Cundinamarca se realiza con bajo uso de mano de obra e insumos, y los sistemas de producción están orientados al monocultivo. Como se aprecia en la tabla 37, la mayoría de los productores son dueños de la tierra (89,9 %) y el sistema de corte de caña que predomina es el entresaque<sup>4</sup> (63,1 %), con cultivos de variedades tradicionales como la POJ 2878 y POJ 2714 (48,4 %) y la ZC (27,5 %).

---

<sup>4</sup> Sistema de corte en el cual solo se realiza la cosecha de tallos maduros, dejando en pie aquellos tallos considerados inmaduros.

**Tabla 37.** Comportamiento de Cundinamarca frente a otras zonas productoras de panela

Zona	Tipo de productor		Área en caña (ha)	Participación cultivo de caña (%)	Sistema de corte	Variedades
Hoya del río Suárez	Dueño de caña y trapiche (84,4 %)	Media	23,9	70,20 %	Parejo (100 %)	CC (31 %)
	Aparcero (8,9 %)	Desvest	27,5	24,70 %		RD 7511 (28,7 %)
	Sociedad Hermanos (6,7 %)	CV	120,00 %	35,00 %		Otra (15,5 %)
		Mínimo	1	18,10 %		POJ (11,6 %)
		Máximo	135	100 %		CO 421 (7,8 %) Canal point (5,4 %)
Cundinamarca	Dueño de caña y trapiche (89,9 %)	Media	9,1	67,70 %	Entresaque (63,1 %)	POJ (48,4 %)
	Sociedad hermanos (7,4 %)	Desvest	25,2	25,90 %	Parejo (34,2 %)	ZC (27,5 %)
	Arrendatario (0,7 %)	CV	277 %	38 %	Ambos (2,7 %)	Palmira (10,1 %)
		Mínimo	0,5	2,50 %	CC (4,2 %)	
		Máximo	300	100 %	PR (3,9 %) Otra (5,9 %)	
Antioquia	Dueño de caña y trapiche (76,9 %)	Media	27	55,90 %	Entresaque (83,3 %)	CO 421 (46,1 %)
	Trapiche comunitario (20,5 %)	Desvest	50	30,40 %	Parejo (15,4 %)	RD 7511 (20,2 %)
	Dueño de caña (2,6 %)	CV	190 %	54 %	Ambos (1,3 %)	POJ (16,9 %)
		Mínimo	0,2	6,67 %	CC (7,9 %)	
		Máximo	250	100 %	Otra (9,0 %)	
Eje Cafetero	Dueño de caña y trapiche (89,1 %)	Media	5,6	63,80 %		Canal point (43,0 %)
	Trapiche comunitario (9,7 %)	Desvest	10,6	28,50 %		POJ (37,6 %)
	Dueño de caña (1,2 %)	CV	189 %	45 %		PR (5,4 %)
		Mínimo	0,5	3,64 %		ZC (5,4 %)
		Máximo	75	100 %		Otra (8,6 %)

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017)

De las entrevistas realizadas a los productores se evidencia que existe baja renovación de la caña, y las labores del cultivo se limitan a prácticas de limpieza y deshoje, que generalmente se hacen simultáneas con la labor de corte durante la cosecha. Como sucede en la mayoría de las zonas paneleras, los principales problemas fitosanitarios son causadas por insectos-plaga, los de mayor presencia son: *Diatraea* sp. (52,8%), cucarrón de invierno (19,2%) y chiza —géneros *Ancognatha* sp., *Eutheola* sp. y *Cyclocephala* sp.— (8,0%); cabe anotar que el 70,0% de los encuestados no realiza ningún tipo de control para estos insectos.

El 63,1% de los individuos encuestados, en los principales municipios productores de panela en Cundinamarca, tiene fincas con áreas por debajo de las 10 hectáreas, estas fincas tienen en promedio 5,8 hectáreas. El 23,5% de los encuestados tiene fincas entre 10 y 20 ha, con un promedio de 14,3 ha. El 10,1% tiene fincas con áreas entre 20 y 40 ha, con un promedio de 29,2 ha. Por último, solo el 3,4% de los encuestados tienen fincas con áreas por encima de 40 ha, con un promedio de 126,9 ha, esta última clasificación presenta la mayor desviación estándar y el mayor coeficiente de variación (tabla 38).

**Tabla 38.** Proporción de fincas paneleras en Cundinamarca por rangos de tamaño

Área finca (ha)	Frecuencia (%)	Media	DE*	CV**
Menor de 10	63,09	5,81	2,54	44 %
Entre 10 y 20	23,49	14,27	2,97	21 %
Entre 20 y 40	10,07	29,24	5,61	19 %
Mayor de 40	3,36	126,90	117,12	92 %
Total	100,00	13,46	26,50	197 %

\*DE: desviación estándar

\*\*CV: coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

La distribución de la propiedad es uno de los factores que explican el menor ritmo de crecimiento en el largo plazo y las condiciones de desigualdad características de las zonas rurales en países en desarrollo. Sobre el particular, en la tabla 39 se presenta la distribución por deciles<sup>5</sup> del área en las principales

<sup>5</sup> Término estadístico que se refiere a los nueve valores que dividen los datos ordenados de una muestra en diez partes porcentualmente iguales.

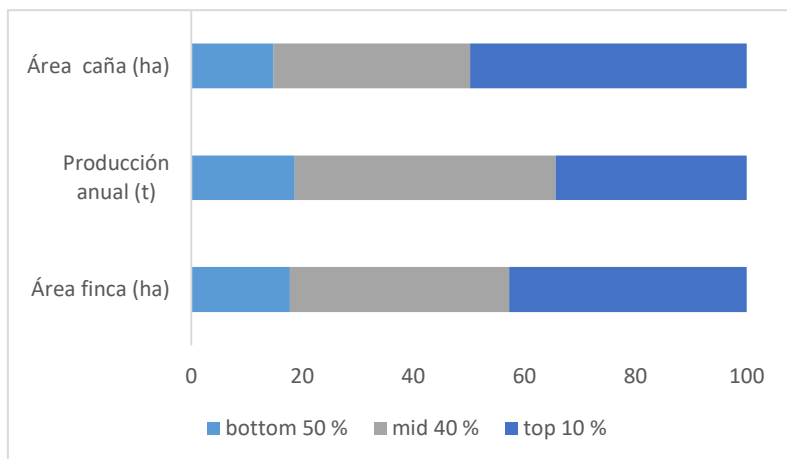
zonas paneleras de Cundinamarca; en términos relativos, el decil 10 —que concentra el 10 % de las fincas más grandes— tiene una participación equivalente al 42,2 % del área total de las fincas. En cuanto, al área sembrada en caña, la mayor proporción se concentra en el decil 10, con el 49,8 %.

**Tabla 39.** Participación por decil en el área total de las fincas paneleras y del área sembrada con caña de azúcar para panela en Cundinamarca

Deciles	Participación en el área de todas las fincas	Participación en el área: total en caña
0-10	1,4 %	1,0 %
10-20	2,7 %	2,1 %
20-30	3,7 %	3,1 %
30-40	4,7 %	3,8 %
40-50	5,6 %	4,9 %
50-60	7,0 %	5,9 %
60-70	8,2 %	7,4 %
70-80	10,1 %	9,1 %
80-90	14,5 %	12,9 %
90-100	42,2 %	49,8 %
	100,0 %	100,0 %

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

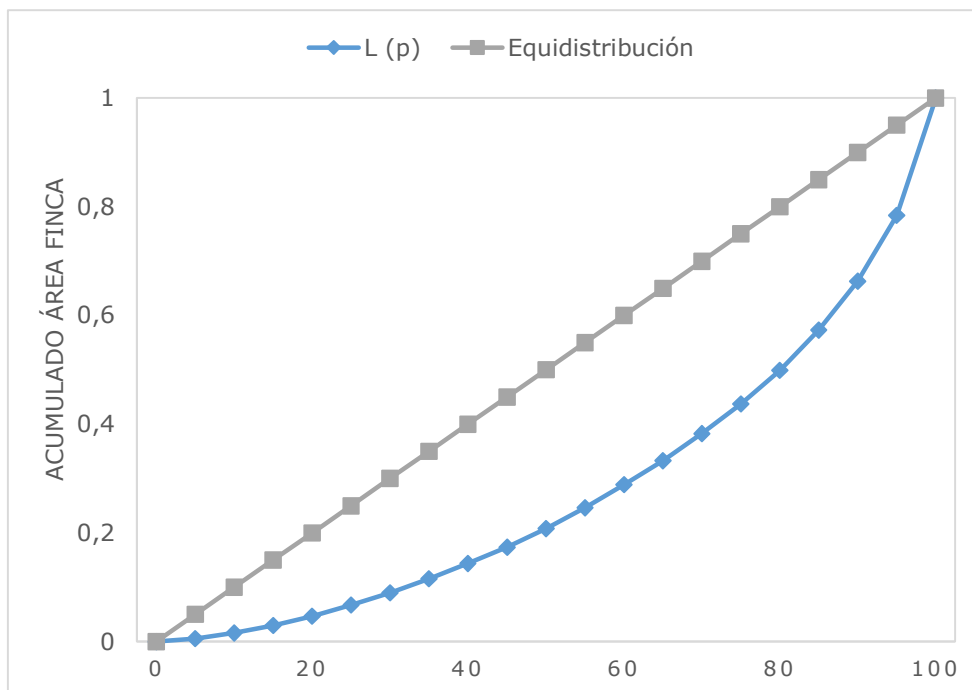
En la figura 17 se muestra que el 10 % de los trapiches más grandes concentran el 34,4 % de la producción de panela en la zona, la mayor producción se establece en el grupo intermedio (47 %).



**Figura 17** Concentración de la producción y de la tierra en principales municipios paneleros de Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017)

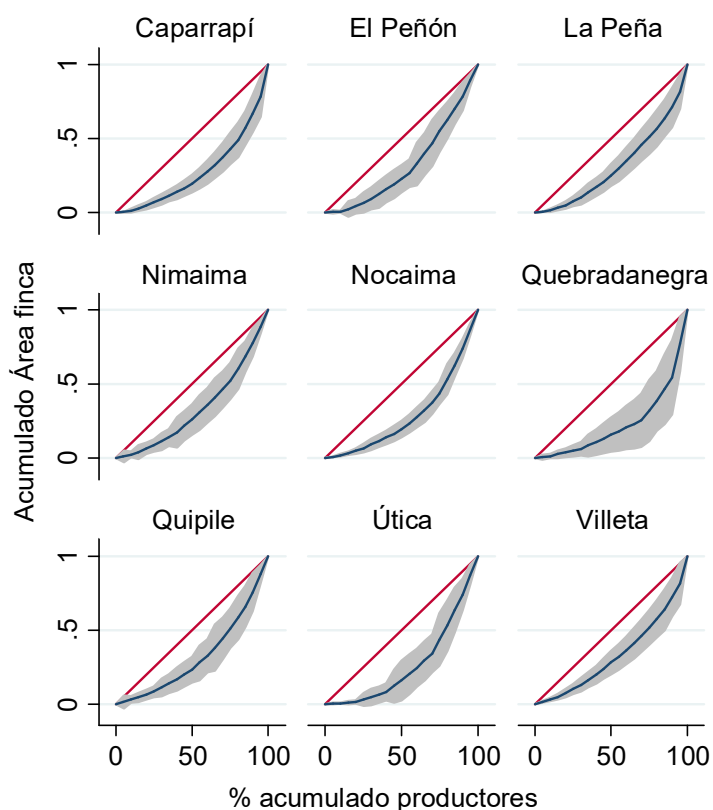
La figura 18 corresponde a la curva de Lorenz, que representa la distribución relativa de la tierra de las fincas paneleras muestreadas en Cundinamarca. Para la interpretación de la gráfica, la línea recta diagonal representa la situación hipotética en que la tierra estuviera equitativamente distribuida entre las fincas de los productores paneleros encuestados, y la curva bajo esta diagonal indica la relativa concentración por parte de los productores con fincas más grandes. Entre más se aleje la curva de la diagonal, mayor será el grado de desigualdad de las fincas en la distribución de la tierra.



**Figura 18.** Curva de Lorenz de la distribución de la tierra agropecuaria de productores de panela en Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017)

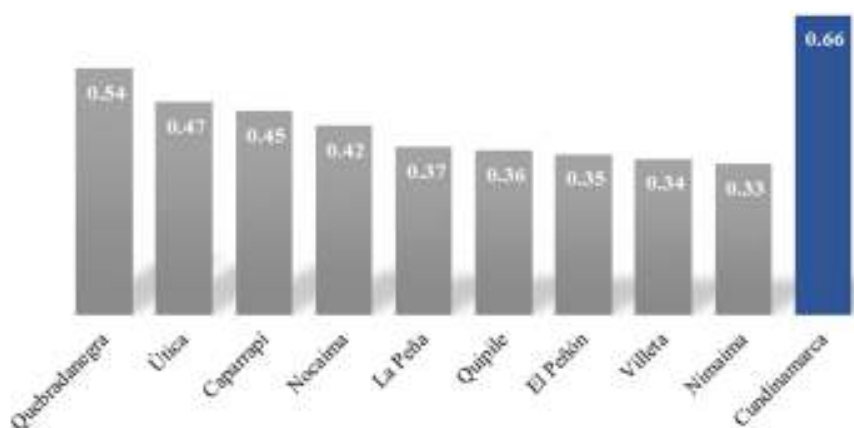
En la figura 29 se aprecia que la mayor desigualdad en términos de área de las fincas se presenta en el municipio de Quebradanegra, seguido de Nocaima y Útica. Cabe destacar que los municipios de La Peña, Quipile y Villeta tienen la distribución más equitativa entre los municipios representativos de la producción panelera de Cundinamarca.



**Figura 19.** Curva de Lorenz de la distribución de la tierra agropecuaria de productores de panela en cada municipio.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017)

Para analizar el tema de la desigualdad de manera numérica, se estimó el coeficiente de Gini de la distribución de la tierra, usando como unidad de medición la extensión total de las fincas medida en hectáreas. El indicador fluctúa entre 0 y 1, donde 0 tiene una distribución equitativa (todas las fincas tendrían la misma cantidad de hectáreas) y 1 la distribución más desigual, pues en este caso una finca concentraría todas las hectáreas. En la figura 30 se observa que los coeficientes Gini de concentración de tierra en las fincas paneleras son inferiores a los reportados para Cundinamarca (0,66) y en general, para Colombia (0,73).



**Figura 20.** Coeficiente de Gini de la extensión de las fincas productoras de caña de azúcar para la producción de panela en Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014)

En relación con la proporción del área de la finca dedicada al cultivo de caña, en la tabla 40 se observa que en las fincas menores a 10 ha el 47 % presenta una mayor especialización hacia la caña para panela, con áreas en caña superiores al 75 % del área de la finca. En las fincas de 10 a 20 ha la mayor parte de propietarios dedica a la caña más del 75 % del área de su finca, y el 37 % de los productores dedica entre 25 y 50 % de la finca a la caña. En el caso de las fincas de 20 a 40 ha, cerca del 40 % de ellas destina a la caña más del 75 % del área. Por último, en las fincas de mayor tamaño, con áreas mayores a 40 ha, se observa que en el 80 % de éstas se dedica a la caña más del 50 % del área de la finca. En general, en el 44 % de las fincas encuestadas, independiente de su tamaño, dedica a la caña más del 75 % del área total de la finca, indicando claramente el alto grado de especialización de las fincas de la región a la producción de caña y panela.

**Tabla 40.** Proporción del área de la finca dedicada a la caña y su distribución según el tamaño de la finca panelera en Cundinamarca

Área de la finca (ha)	Proporción de la finca dedicada a la caña (%)			
	<25	25,1-50	50,1-75	>75
<10	3,2	20,2	29,8	46,8
10,1-20	11,4	37,1	14,3	37,1
20,1-40	20,0	26,7	13,3	40,0
>40	-	20,0	40,0	40,0
Total	6,7	24,8	24,8	43,6

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

En cuanto a la capacidad de producción de panela de las hornillas (tabla 41), el promedio regional es de 79,4 kg/h, con una desviación estándar de 30,2. El 37,6 % de los trapiches encuestados tienen una capacidad de hornilla entre 70 y 100 kg/h, con una capacidad promedio de 86,6 kg/h. El 30,9 % de los encuestados tienen capacidades de hornilla entre 40 y 70 kg/h, con una capacidad promedio de 58,4 kg/h. El 20,8 % de los trapiches tienen una capacidad de hornilla superior a 100 kg/h, con un promedio de 124,0 kg/h. Por último, el 10,7 de los trapiches encuestados tienen capacidades de hornilla por debajo de 40 kg/h, con una capacidad promedio de 31,3 kg/h.

**Tabla 41.** Capacidad de hornilla en fincas paneleras de Cundinamarca

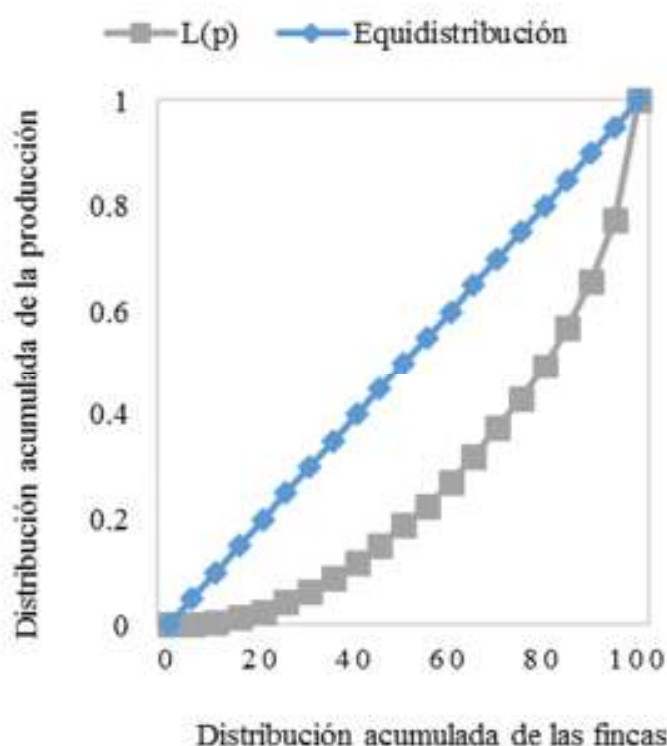
Capacidad hornilla (kg/h)	Frecuencia (%)	Media	DE*	CV**
Menor de 40	10,74	31,26	9,82	31 %
Entre 40 y 70	30,87	58,37	7,13	12 %
Entre 70 y 100	37,58	86,58	9,76	11 %
Mayor de 100	20,81	124,04	13,75	11 %
Total	100,00	79,43	30,25	38 %

\*DE: desviación estándar

\*\*CV: coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

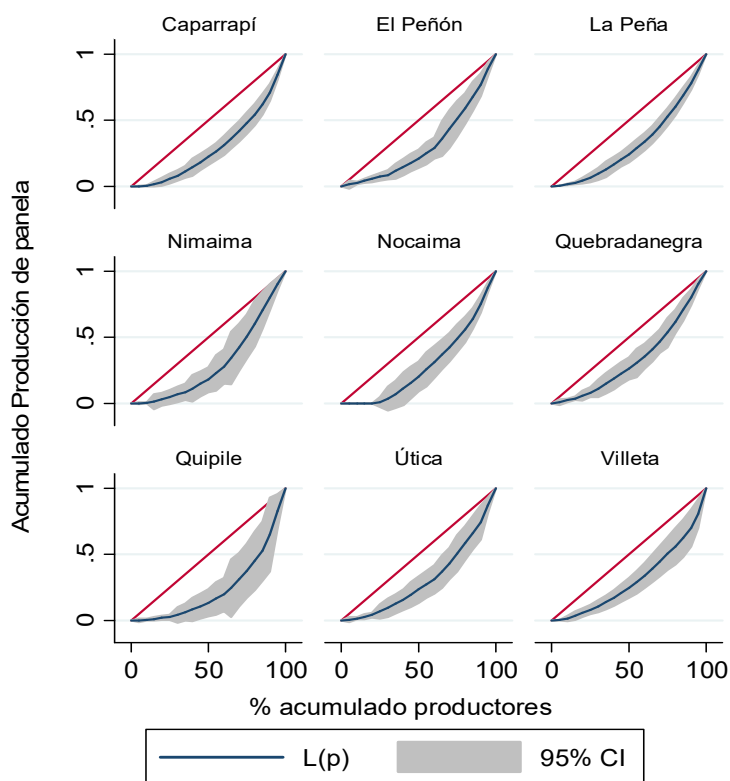
La curva de Lorenz de la figura 21 permite establecer el grado de concentración en la producción panelera de las finca-trapiche encuestadas. En este caso se observa que las fincas más grandes concentran la mayor producción de panela, de tal manera que el 50 % de las propiedades más pequeñas produce solo el 20 % del total de la panela.



**Figura 21** Curva de Lorenz de la distribución de la producción de panela en Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017)

En la figura 22 se presentan las curvas de Lorenz de la distribución de la producción de panela en los principales municipios paneleros de Cundinamarca. Se observa que la mayor concentración en la producción de panela por parte de pocos productores se presenta en el municipio de Quipile y las menores en los municipios de La Peña y Villeta.

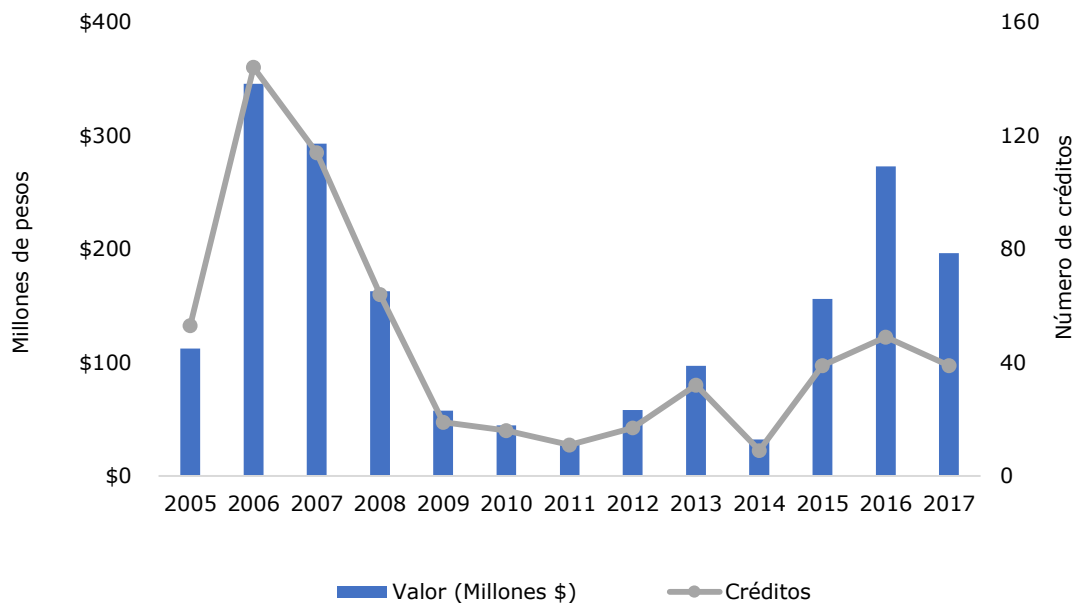


**Figura 22** Curva de Lorenz de la distribución de la producción de panela en principales municipios.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoica (2017)

Una de las principales limitaciones de los productores es la falta de capital de trabajo y de acceso a créditos del sistema financiero. En las figuras 23 y 24 se presentan el número de créditos otorgados para sostenimiento de cultivos de caña para la producción de panela y los concedidos para infraestructura de trapiches paneleros. Se observa que en el caso de créditos para el cultivo han tenido sus puntos más altos de número de créditos otorgados y de valor prestado en los años 2006 y 2007, y un punto alto en el valor prestado en los años 2016 y 2017. El primer pico puede asociarse a la expectativa que hubo en ese momento de producir caña con destino a la producción de alcohol carburante, y el segundo pico coincide con un repunte de los precios que llegaron a su máximo histórico entre 2016 y 2017. Se aprecia además que progresivamente se ha

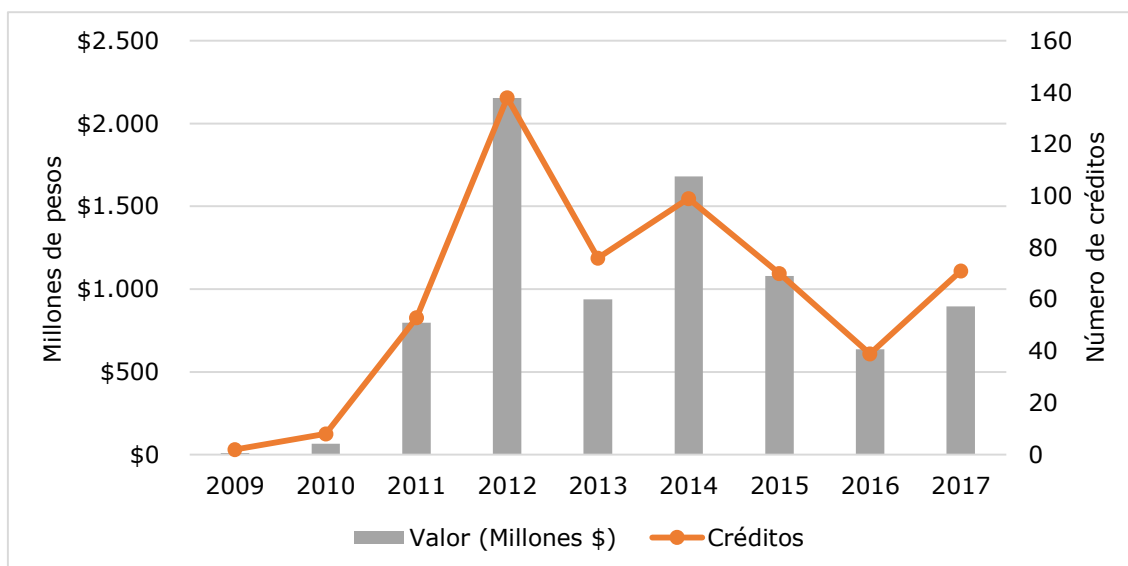
reducido el número créditos otorgados para cultivos de caña, al pasar de un máximo de 144 en 2006 a 49 en 2016.



**Figura 23.** Créditos otorgados en Cundinamarca, línea de sostenimiento caña panelera (periodo 2005-2017).

Fuente: Elaboración propia con base en el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro, 2017)

En el caso de créditos para infraestructura se observa que el número de créditos otorgados y el valor prestado tuvieron puntos altos en los años 2012 y 2014, y que el valor total prestado para infraestructura de procesamiento es sensiblemente superior al valor total prestado para cultivos de caña. En esta línea de crédito se observa también una progresiva disminución en el número de créditos otorgados al pasar de un valor máximo de 138 en 2012 a solo 39 en 2016. El comportamiento decreciente, de los indicadores de crédito, coincide con la situación de disminución de área y producción panelera en el departamento de Cundinamarca.



**Figura 24.** Créditos otorgados en Cundinamarca, línea infraestructura de trapiches paneleros (periodo 2009-2017).

Fuente: Elaboración propia con base en el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro, 2017)

## Tipificación de productores de acuerdo con tecnologías de cultivo y proceso

La tipificación en este caso corresponde a un proceso estadístico que permite agrupar las unidades productivas finca-trapiche en tipos homogéneos, en cuanto a las características tecnológicas de manejo de la caña en el cultivo y de fabricación de la panela en los trapiches. Para realizar la tipificación, se utilizó la metodología FAMD<sup>6</sup> que combina el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) y el Análisis de Correspondencia Múltiple (MCA, por sus siglas en inglés). Cabe resaltar que el proceso de tipificación se realiza para identificar diferentes tipos de unidades productivas finca trapiche, y poder establecer sus requerimientos tecnológicos de acuerdo con sus características socioeconómicas y productivas asociadas.

<sup>6</sup> Este método es desarrollado dentro del paquete de análisis de datos estadísticos llamado FactoMineR, puede encontrarse en: <http://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf>

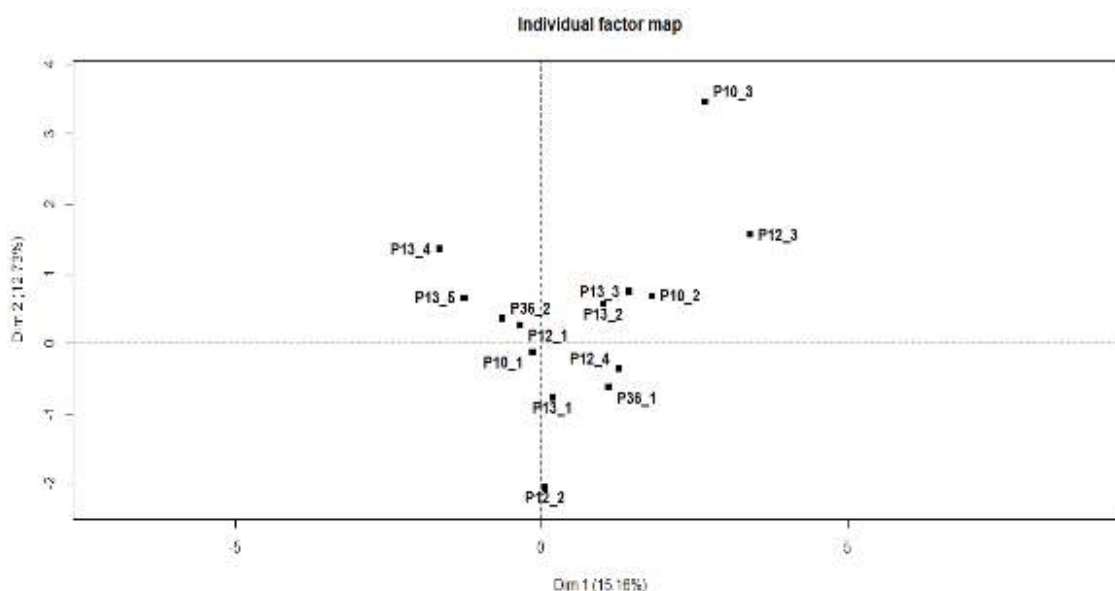
## Tipificación según las tecnologías para el cultivo de la caña

Para realizar la tipificación en función de las tecnologías de cultivo se utilizaron las siguientes variables de agrupamiento:

- Sistema de corte
- Tipo de fertilización
- Tipo de control de arvenses
- Resiembra

Se presenta el sistema de corte como P10\_1, para productores que manejan entresaque, P10\_2 para los que realizan solo corte por parejo y P10\_3 para los que manejan ambos sistemas de corte. El tipo de fertilización como P12\_1, para los que no fertilizan; P12\_2, cuando la fertilización es orgánica; P12\_3, cuando se aplica fertilización orgánica y química, y P12\_4 para los que aplican fertilización química solamente. El tipo de control de arvenses como P13\_1, cuando se realiza control manual; P13\_2 para el control de arvenses solo químico; P13\_3 cuando se realiza control manual y químico; P13\_4 cuando solo se realiza control de arvenses mecánico, y P13\_5, cuando no se realiza ningún tipo de control. Si resiembra o no, se presenta como P36\_1 y P36\_2, respectivamente.

En la figura 25 se presenta el diagrama de dispersión de las variables cualitativas de agrupamiento utilizadas para el análisis de clúster, codificadas para su representación gráfica. Se puede observar aquellas respuestas que producen los casos más distantes del comportamiento común de los individuos, que son aquellos que se observan alejados de la nube de puntos central, los cuales corresponden a individuos que realizan solamente fertilización orgánica (P12\_2), o química y orgánica (P12\_3,) y que manejan ambos sistemas de corte (P10\_3). Se observa una cercanía entre individuos que realizan corte por entresaque (P10\_1), no aplican ningún tipo de fertilización (P12\_1), y no realizan resiembra (P36\_2).



**Figura 25** Variables de tipificación de tecnologías de cultivo.

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

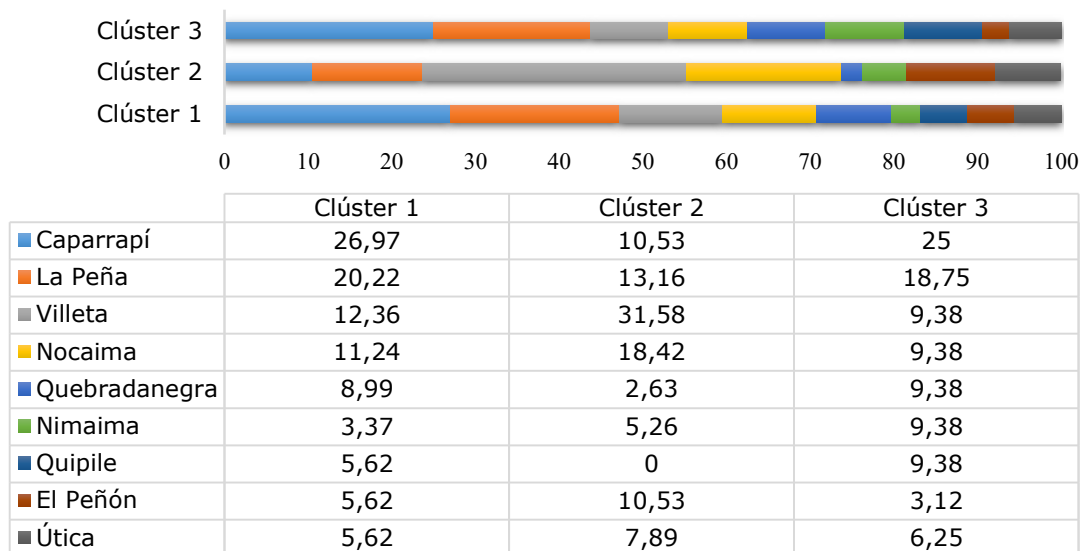
En la tabla 42 se presentan las características de las tres agrupaciones identificadas en cuanto a variables de cultivo: un primer grupo con la mayoría de individuos, quienes realizan corte por entresaque en un 100 %, y más del 90 % no aplica ningún tipo de fertilización, ubicados principalmente en los municipios de Caparrapí, La Peña y Villeta. Un segundo grupo, que realiza corte por entresaque en más de un 97 % y en su mayoría no realiza ningún tipo de fertilización o manejan fertilización orgánica, ubicados principalmente en La Peña, Villeta y Nocaima. Y un tercer grupo, con el menor número de individuos, en el que hay una mayor participación del corte por parejo, sin embargo cerca del 72 % realizan corte por entresaque, y cerca del 60 % no aplican ningún tipo de fertilización, y se encuentran ubicados principalmente en La Peña y Caparrapí.

**Tabla 42.** Tipos de fincas paneleras en Cundinamarca de acuerdo con la tecnología utilizada en el cultivo de la caña

Variable		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Número de Observaciones		89	38	32
Área en Caña ha (promedio)		7,11	13,6	6,89
Sistema de Corte (frecuencia relativa)	Ambos	0	0	12,5
	Entresaque	100	97,37	71,88
	Parejo	0	2,63	15,62
Tipo de Fertilización (frecuencia relativa)	Orgánica	4,49	44,74	0
	Química	2,25	5,26	12,5
	Ambas	0	0	28,12
	No Fertiliza	93,26	50	59,38
Control de Arvenses (frecuencia relativa)	Químico	2,25	0	9,38
	Manual	35,96	97,37	18,75
	Ambos	8,99	0	68,75
	Mecánico	1,12	0	0
Resiembra (frecuencia relativa)	Ninguno	51,68	2,63	3,12
	Sí	2,25	84,21	75
	No	97,75	15,79	25

Fuente: Elaboración propia, con base Corpoica (2017)

La menor homogeneidad entre individuos, identificada por el mayor valor de distancia, se presenta en el tipo 3; por su parte, la mayor homogeneidad entre los tres tipos identificados se observa en el número 2. La variable más representativa fue el sistema de corte (p-value 1,02 E-06), tipo de fertilización (p-value 1,53E-16), control de arvenses (p-value 4,77E-22) y resiembra (p-value 4,60E-23). La figura 36 muestra la presencia de los diferentes tipos de fincas paneleras identificadas en los municipios estudiados de Cundinamarca.



**Figura 26.** Presencia municipal de los tipos o clústeres de fincas paneleras en Cundinamarca caracterizados por la tecnología de cultivo de la caña.

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

## Tipificación según las tecnologías de proceso para la producción de panela

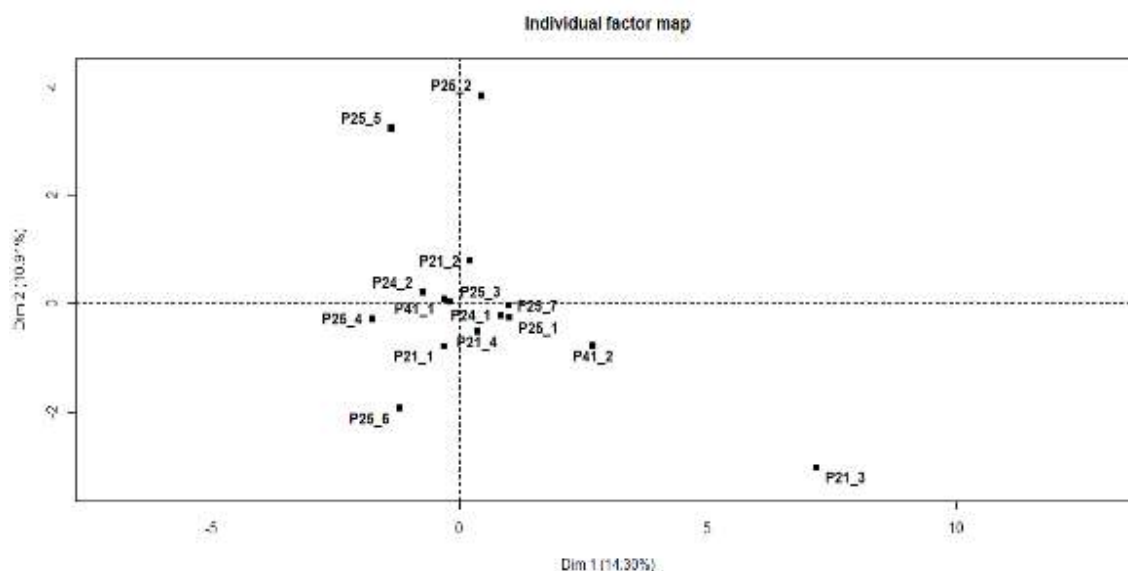
Para realizar la tipificación en función de las tecnologías de procesamiento se utilizaron las siguientes variables de agrupamiento:

- Capacidad de la hornilla
- Tipo de hornilla
- Tipo de paila
- Prelimpiador
- Combustible de la hornilla

Se presenta el tipo de hornilla como P21\_1, para cámara plana; P21\_2, para cámara plana de 2 entradas; P21\_3, para cámara Ward, y P21\_4, para caldera. Cuando las pailas son tradicionales se presenta como P41\_1, y si son mejoradas P41\_2. Si tiene prelimpiador se presenta como P24\_1, y si no, como P24\_2. El combustible de la hornilla se representa como P25\_1 cuando se utiliza solo

bagazo; P25\_2, cuando se utiliza bagazo y guadua; P25\_3, cuando se utiliza bagazo y leña; P25\_4, cuando se utiliza bagazo, leña y guadua. Cuando se utiliza bagazo, leña, guadua y llanta se representa como P25\_5. Cuando se utiliza, bagazo, leña y llanta, se representa como P25\_6. Finalmente, cuando se utiliza bagazo y llanta se representa como P25\_7.

En la figura 27 se presenta el diagrama de dispersión de las variables cualitativas de agrupamiento utilizadas para el análisis de clúster, codificadas para su representación gráfica. Se observan aquellas respuestas que producen los casos más distantes del comportamiento común de los individuos, que son aquellos que se observan alejados de la nube de puntos centrales, los cuales corresponden a individuos que utilizan bagazo, leña, guadua y llanta como combustible de la hornilla (P25\_5), los que utilizan bagazo y guadua (P25\_2) e individuos con cámara Ward (P21\_3). Se observa una cercanía entre individuos con cámara tradicional de dos entradas (P21\_2), y los que utilizan bagazo y leña (P25\_3). La variable más representativa fue el prelimpiador (p-value 2,02 E-09), combustible de la hornilla (p-value 2,78E-10), tipo de paila (p-value 2,05E-14) y tipo de cámara (p-value 6,68E-28).



**Figura 27.** Variables de tipificación de tecnologías de proceso.

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

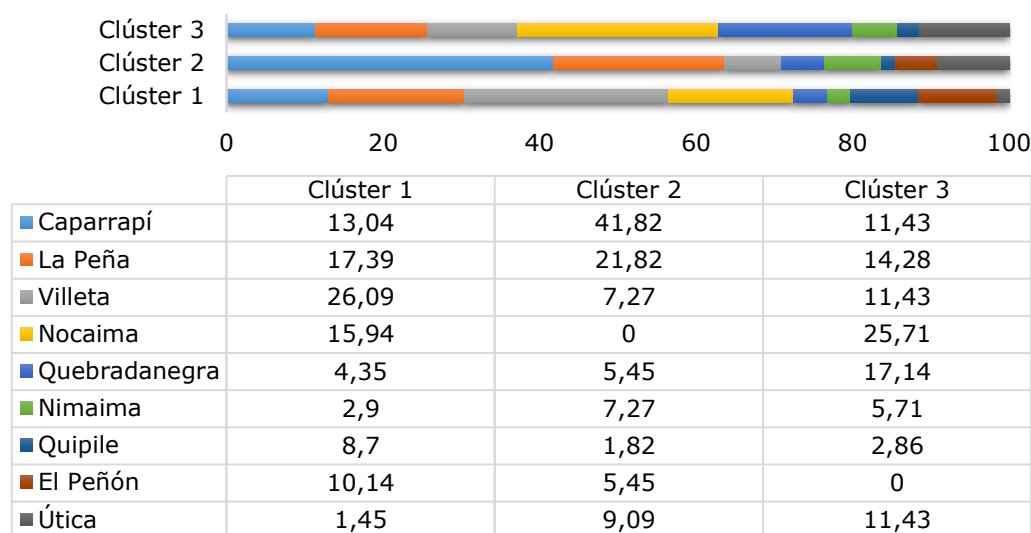
En la tabla 43 se observa que la mayor homogeneidad entre individuos se presenta en los trapiches tipo 2, en el cual se incluyeron la mayoría de los encuestados; por otra parte, se obtiene la menor homogeneidad en el tipo 3. En el tipo 1, con la mayoría de individuos, se ven representados en cerca del 90 % por cámara plana, sin prelimpiador (65,22 %) y con pailas tradicionales (100 %), ubicados principalmente en La Peña, Villeta y Nocaima. En el tipo 2, el 100 % de los trapiches tiene hornillas con cámara plana de 2 entradas, sin prelimpiador (67,27 %) y tren de pailas tradicional (100 %), ubicados principalmente en Caparrapí y La Peña. En el tipo 3, la distribución de la clase de cámara es mayor, se localizan principalmente en Nocaima, La Peña y Quebradanegra.

**Tabla 43.** Clústeres de tecnologías de proceso para producción de panela en Cundinamarca

Número de observaciones		69	55	35
Capacidad de la hornilla (promedio)		65,47	83,3	104,17
Tipo de hornilla (Frecuencia relativa)	Cámara plana	89,86	0	40
	Cámara plana (2 entradas)	8,69	100	57,14
	Caldera	1,45	0	0
	Cámara Ward	0	0	2,86
Tipo de paila (Frecuencia relativa)	Tradicional	100	100	54,8
	Mejorada	0	0	45,71
Combustible hornilla (Frecuencia relativa)	Bagazo	20,29	10,91	62,86
	Bagazo - guadua	0	9,09	0
	Bagazo - leña	55,07	74,54	31,43
	Bagazo - leña - guadua	14,49	1,82	0
	Bagazo - leña - guadua - llanta	0	3,64	0
	Bagazo - leña - llanta	10,14	0	0
Prelimpiador (Frecuencia relativa)	Sí	34,78	32,73	94,29
	No	65,22	67,27	5,71

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

La figura 28 muestra la presencia de los diferentes tipos de trapiches paneleros identificados en los municipios estudiados de Cundinamarca.



**Figura 28.** Presencia municipal de los tipos o clústeres de trapiches en Cundinamarca, caracterizados por la tecnología de procesamiento de la caña para la producción de panela.

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2017)

## Costos de producción de panela en Cundinamarca

Para realizar la estructuración de costos de producción panelera se organizaron talleres con productores homogéneos en cuanto a sus características productivas de cultivo y de proceso; y se llevaron a cabo discusiones y consensos para identificar los rubros y valores de los costos incurridos en la producción de la panela. La información se organizó por municipios, como se presenta en la tabla 44.

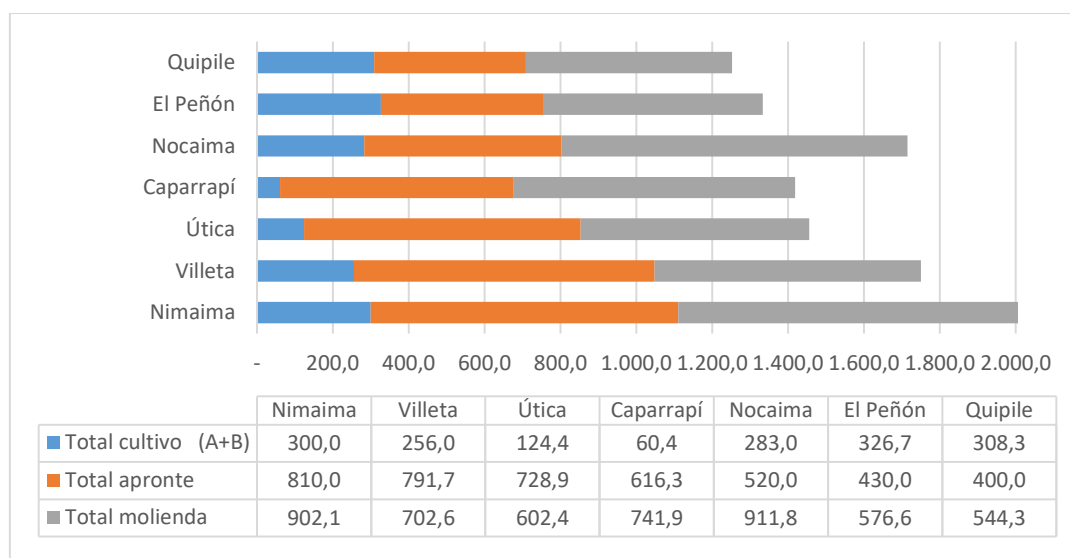
**Tabla 44.** Estructura de costos de producción por kilogramo de panela producido en Cundinamarca (pesos corrientes de 2016)

Concepto	Municipio						
	Caparrapí	El Peñon	Nocaima	Nimaima	Quipile	Útica	Villeta
Costo de cultivo	60,4	326,7	283,0	300,0	308,3	124,4	256,0
Preparación del terreno	-	121,0	-	-	-	-	-
Siembra y resiembra	-	42,5	80,0	-	216,7	-	-
Control de malezas	60,4	77,5	43,0	300,0	91,7	124,4	256,0
Semilla	-	85,7	-	-	-	-	-
Fertilización	-	-	160,0	-	-	-	-
Transporte de insumos	-	-	-	-	-	-	-
Administración cultivo	-	-	-	-	-	-	-
Costo de apronte	616,3	430,0	520,0	810,0	400,0	728,9	791,7
Corte de caña	416,7	297,5	240,0	450,0	166,7	388,9	500,0
Transporte de caña	199,7	97,5	190,0	225,0	233,3	262,2	291,7
Almacenamiento de caña	-	35,0	90,0	135,0	-	77,8	-
Costo de molienda	741,9	576,6	911,8	902,1	544,3	602,4	702,6
Prensada	62,5	70,0	40,0	-	125,0	100,0	50,0
Manejo de hornilla y bagazo	31,3	140,0	120,0	150,0	62,5	100,0	100,0
Manejo de jugos	31,3	70,0	40,0	50,0	81,3	33,3	100,0
Moldeo y empaque	62,5	70,0	40,0	150,0	50,0	33,3	50,0
Alimentación p. de molienda	114,6	-	280,0	176,0	-	117,8	75,0
Insumos	247,2	72,9	136,3	346,1	172,5	147,8	125,8
Operación del trapiche	140,5	138,7	215,5	-	11,4	30,1	151,9
Transporte de panela	52,1	15,0	40,0	30,0	41,7	40,0	50,0
<b>Costo total (\$/kg de panela)</b>	<b>1.418,6</b>	<b>1.333,3</b>	<b>1.714,8</b>	<b>2.012,1</b>	<b>1.252,7</b>	<b>1.455,7</b>	<b>1.750,3</b>

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2016 y 2017)

La estructura de costos de producción de panela es muy variable con un rango que va desde \$1.253/kg en el caso de Quipile, hasta \$2.012/kg en el caso de Nimaima. Los mayores conceptos de costo generalmente corresponden a la mano de obra, y en menor medida al costo de insumos y servicios contratados.

La figura 29 resume los costos de producción por las fases de cultivo, apronte y molienda de la caña. A partir de esta información, se puede apreciar que el cultivo de la caña, que involucra el establecimiento y sostenimiento de la caña, generalmente representa los menores costos de producción (15% en promedio); en tanto que los costos de apronte, que incluyen el corte, transporte y manejo de la caña en el trapiche (39%) representan un costo relativamente mediano. Los mayores costos de producción corresponden a la molienda, con 46% del costo total e incluyen desde la extracción del jugo en el molino hasta la venta de la panela en el mercado de acopio.

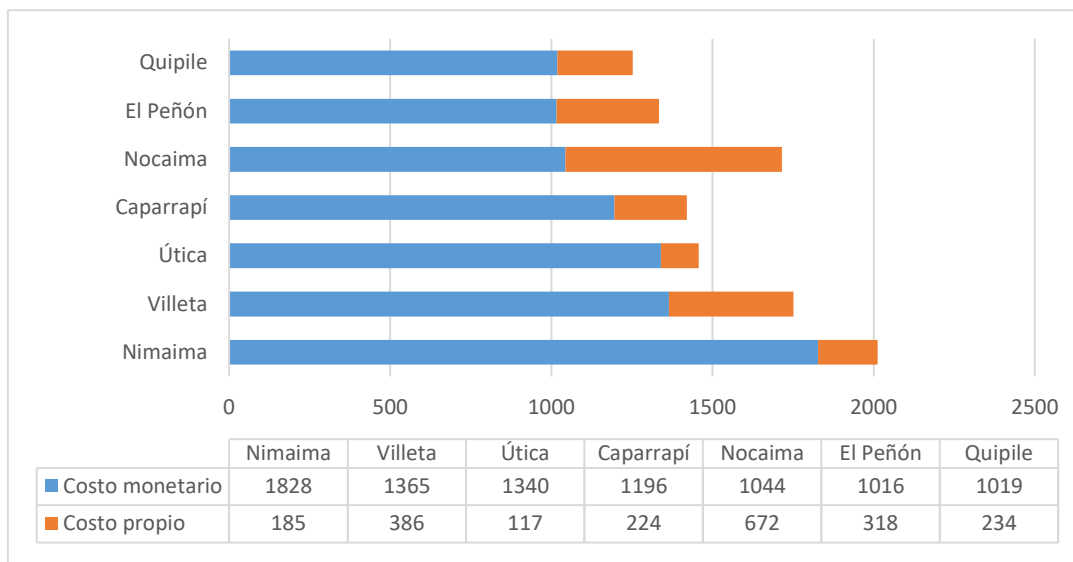


**Figura 29.** Distribución de los costos de producción de acuerdo con la etapa.  
Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2016 y 2017)

Los costos de producción fueron clasificados en monetarios y no monetarios (costos propios). Los monetarios corresponden a todos los gastos que tienen que ser pagados como la compra de insumos, el pago de jornales, la contratación de servicios, el pago de alquileres, etc. Los costos no monetarios corresponden

a aquellos que no se pagan porque corresponden a recursos propios del productor que se invierten en la producción, pero que no implican una erogación en dinero, algunos ejemplos de costos no monetarios son el trabajo familiar, el tiempo dedicado a la administración y el arrendamiento de la tierra cuando se trata de tierra propia. Los costos no monetarios fueron valorados a costos de oportunidad de mercado, es decir por lo que se tendría que pagar si no se tuvieran dichos recursos propios. La distinción entre costos monetarios y no monetarios ayuda a entender la lógica de las agriculturas familiares que hacen un uso intensivo de recursos propios, y donde se busca maximizar el ingreso monetario disponible y la seguridad alimentaria, antes que la rentabilidad del capital invertido en el proceso productivo.

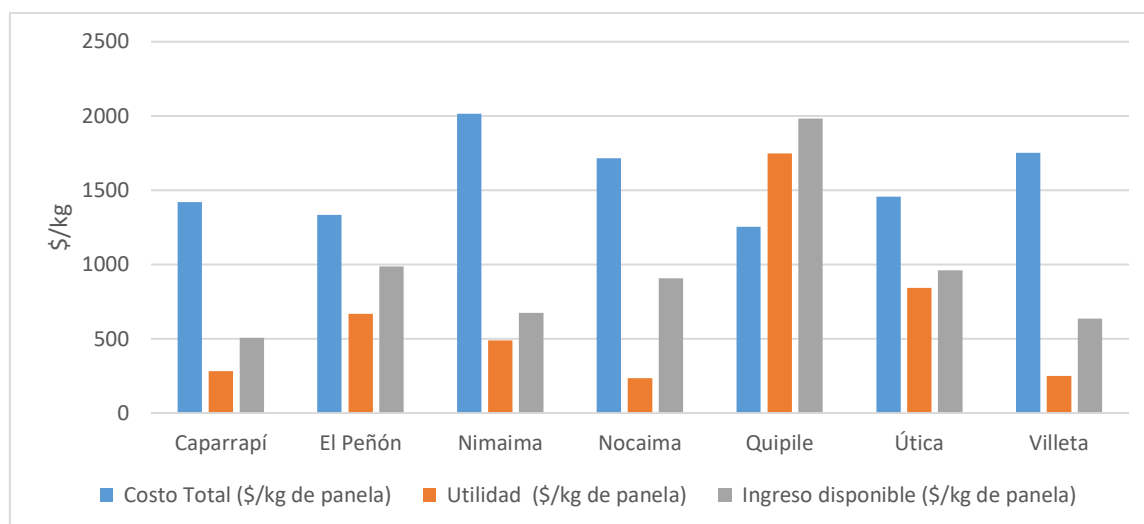
La figura 30 sintetiza la composición de costos monetarios y no monetarios en la estructuración del coto total de producción. En general se observa que los costos monetarios representan el 81 % de los costos totales de producción, y los costos no monetarios o propios, el 19 % restante. En el municipio donde mayor participación tienen los costos monetarios es Útica y Nimaima, siendo más asimilada a una estructura de producción panelera empresarial, en tanto que en donde más representatividad tienen los costos propios o no monetarios es en Nocaima, con una estructura asimilable a la llamada agricultura familiar o economía campesina.



**Figura 30.** Costos monetarios y no monetarios por kilogramo producido de panela.  
Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2016 y 2017)

La distinción entre costos monetarios y no monetarios permite explicar la permanencia de las economías campesinas o agriculturas familiares en el mercado, pues frecuentemente los precios pagados al productor bajan hasta un nivel inferior a los costos totales de producción. Sin embargo, el precio de venta puede seguir siendo superior a la sumatoria de los costos monetarios, y en ese caso les deja algún ingreso disponible a los productores, solo que en condiciones en que no logran remunerar completamente la utilización de sus recursos propios. En este caso, un productor empresarial, que tenga que pagar todos los costos, estaría produciendo completamente a pérdida y tendrá que salir del mercado. En contraste, un productor familiar podrá continuar en el mercado, porque le quedará algún ingreso disponible (diferencia entre el precio de venta y la sumatoria de los costos monetarios), pero este ingreso disponible, bajo condiciones de precios bajos, solo le permite reinvertir en otro ciclo de producción y mantener niveles familiares de subsistencia, como frecuentemente sucede en varias zonas de agricultura familiar. En condiciones extremas de precios muy bajos, los productores familiares no recuperan ni siquiera sus costos monetarios, y si dicha situación es prolongada se verán abocados a buscar otros medios de vida para subsistir.

La figura 31 muestra el cálculo de la utilidad empresarial y el ingreso disponible familiar, considerando las estructuras de costo de producción por kilogramo de panela y el precio de venta en el mercado. Se aprecia que, en esta situación de precios, los productores tienen una utilidad positiva y un ingreso disponible que alcanza a remunerar completamente la utilización de recursos propios.



**Figura 31.** Utilidad empresarial e ingreso disponible familiar por kilogramo de panela (\$/kg).

Fuente: Elaboración propia, con base en Corpoica (2016 y 2017)

Las mayores utilidades se logran en Quipile, dado que presenta los menores costos de producción. En tanto, en casos como los de Villeta, Nocaima y Caparrapí, las bajas utilidades provocadas por los precios bajos, y unos costos de producción relativamente altos, se compensan con los ingresos disponibles generados por la utilización de recursos propios, no monetarios, en la producción.

## Capítulo XVI

### Política ambiental para el subsector panelero

El subsector panelero en Colombia tiene en la actualidad varios instrumentos de política ambiental, en procura de proteger los recursos naturales y asegurar la sostenibilidad de las actividades productivas. A continuación, se presentan los principales instrumentos y estrategias en materia ambiental.

#### Guía ambiental para el subsector panelero

Convenio Ministerio del Medio Ambiente, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) y la Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela), en el año 2002, que buscaba en su momento:

- Involucrar a los productores paneleros en el mejoramiento ambiental de la actividad y la disminución de los impactos ambientales.
- Unificar criterios para la gestión ambiental del subsector.
- Facilitar la gestión de las autoridades ambientales.
- Presentar los aspectos relevantes de la planificación ambiental panelera.
- Presentar medidas típicas para manejar, prevenir, mitigar y corregir los impactos ambientales generados por la actividad en cada una de las etapas.
- Difundir y propiciar entre los productores el conocimiento y cumplimiento de la legislación ambiental.
- Proponer opciones tecnológicas de manejo para alcanzar una producción más amigable con el medio ambiente.

#### Nama-Panela

Esta estrategia se encuentra en implementación desde el año 2011 y en formulación al año 2017, tiene como principal objetivo ejecutar estrategias de mitigación de gases efecto invernadero (GEI) y efectos contaminantes en el subsector panelero, por medio de la reconversión productiva en la siembra y el

manejo de cultivos, la reconversión tecnológica de trapiches, y el aprovechamiento de subproductos, teniendo en cuenta variables energéticas, técnicas, ambientales, económicas y sociales asociadas a la cadena de procesamiento de la caña panelera (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADR], 2019).

## **Resolución Sanitaria N.º 779 de 2006**

Esta resolución (Ministerio de la Protección Social, 2006) tiene por objeto establecer el reglamento técnico a través del cual se señalan los requisitos sanitarios que deben cumplir los establecimientos denominados trapiches paneleros y centrales de acopio de mieles procedentes de trapiches que fabriquen, procesen, envasen, transporten, expendan, importen, exporten y comercialicen la panela con destino al consumo humano, en el territorio nacional, con el fin de proteger la salud y seguridad humana, y prevenir las prácticas que puedan inducir al error a los consumidores. Esta Resolución ha sido modificada parcialmente por otras resoluciones como la 3462 de 2008, sobre condiciones sanitarias de los trapiches y requisitos de exportación de la panela; la 3544 de 2009, sobre empaques y rotulado, y la 4121 de 2011 que hace precisiones sobre las especificaciones sanitarias que deben cumplir los trapiches; en septiembre de 2011 entró a regir la obligatoriedad del empaque individual de la panela.

La agroindustria panelera tiene diferentes retos para reducir los impactos ambientales de sus actividades, desde la formación de semilleros hasta el embalaje, la adopción de actividades de corte que permiten la conservación del suelo y material vegetal, y la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Además, el aprovechamiento óptimo de todos los insumos para productos y subproductos, la eficiencia térmica en los procesos de combustión en hornillas y el manejo de aguas residuales. Aunque el cultivo de caña de azúcar se desarrolla en zonas de ladera de mediana altura, con bajos niveles de fertilidad y alta susceptibilidad a la erosión, se han generado estrategias de conservación de suelos, pero también se ha incrementado el uso de agroquímicos, principalmente fertilizantes nitrogenados y áreas de cultivo buscando una mejor productividad; lo anterior con consecuencias en los servicios ecosistémicos de regulación, específicamente en la alteración de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno.

## Los autores

### **Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray**

Correo: [grodriguez@agrosavia.co](mailto:grodriguez@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6261-7418>

Ingeniero agrónomo, economista agrario, magíster en Economía y estudios doctorales en Economía y agroecología; Investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, en áreas de agroeconomía y agroindustria, con énfasis en análisis de sistemas de agricultura familiar y agroindustria rural que involucran la valorización de productos del agro mediante procesos de acondicionamiento y transformación. En 1993, ganó el Premio Nacional en Ciencias de la Fundación Alejandro Ángel Escobar por los trabajos de investigación y transferencia de tecnología a la agroindustria panelera y en 2002 Mención Honorífica por sus investigaciones para el rescate y valorización de la achira (*Canna edulis*), especie autóctona de origen andino. En alianza con grupos de investigación latinoamericanos y europeos ha contribuido al concepto y el enfoque de los Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) como estrategia viable para el desarrollo rural, en territorios campesinos de los países de menor desarrollo relativo. Fue distinguido como Coordinador de la Red SIAL Americana entre 2016-2018.

### **Bellanid Huertas Carranza**

Correo: [bhuertas@agrosavia.co](mailto:bhuertas@agrosavia.co)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1034-4072>

Administradora ambiental y magíster en Estudios y Gestión del Desarrollo, estudiante doctoral en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad, con amplia experiencia en proyectos de investigación, transferencia, asistencia técnica, ordenamiento social de la propiedad, gestión de información y gestión de conocimiento en el sector agropecuario y su planificación rural. Desarrollo de temas relacionados con el sistema productivo de caña panelera, referentes a la visibilización de la importancia que presta la agricultura de conservación y sus productores a través del manejo adecuado de los sistemas agrícolas, determinación y evaluación de servicios ecosistémicos de provisión, soporte y regulación, en diferentes unidades del paisaje agrícola del país.

**Sonia Mercedes Polo Murcia**Correo: [spolo@agrosavia.co](mailto:spolo@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9362-4717>

Ingeniera química de la Fundación Universidad de América; magíster en Economía de la Universidad de los Andes, Colombia. Vinculada a AGROSAVIA desde 2015 en el Centro de Investigación Tibaitatá, donde ha desarrollado proyectos de investigación en el área de procesos agroindustriales. Participa en proyectos asociados a la Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales.

**Carlos Felipe González Chavarro**Correo: [cfgonzalez@agrosavia.co](mailto:cfgonzalez@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1720-5067>

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de los Llanos, magíster en Fisiología Vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), con diplomado en Extensión Rural de la Universidad Nacional de Colombia. En AGROSAVIA, trabaja para la Red de Permanentes y ha ejecutado proyectos con énfasis en fisiología de cultivos, caracterización genotípica-fenotípica con marcadores moleculares, fitotecnia en cultivos como caña de azúcar para panela, guayaba y palma de aceite. Participó en la determinación de requerimientos nutricionales para las variedades de caña CC 93-7711, CC 93-7501 y RD 75-11, establecidas en Antioquia, Boyacá, Santander y Nariño; aportó a las recomendaciones de fertilización química y biológica para el cultivo de caña panelera en el departamento de Nariño; apoyó al Fondo Colombia en Paz que contempla la sustitución de cultivos ilícitos a través de la producción y entrega de material vegetal de guayaba y colaboró en la estimación de la adopción y el impacto de las ofertas tecnológicas del *Balance Social* de los años 2018 y 2019.

**José Luis Tauta Muñoz**Correo: [jtauta@agrosavia.co](mailto:jtauta@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2837-4931>

Ingeniero agrícola y magíster en Ciencias Agrarias, con énfasis en suelos y aguas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Trabajó en proyectos de investigación en temas asociados con cambio climático e investigación participativa con la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Vinculado a AGROSAVIA desde 2015, como profesional de apoyo a la investigación, perteneciente a la Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales donde ha trabajado en proyectos de investigación asociados con indicadores ambientales y de sostenibilidad, servicios ecosistémicos, análisis de cadena de valor, y análisis espacial de indicadores de calidad física y química de suelos."

**Jader Rodríguez Cortina**Correo: [jrodriguez@agrosavia.co](mailto:jrodriguez@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5489-9945>

Ingeniero agroindustrial de la Universidad del Atlántico, magíster en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos y en Gestión y Seguridad Alimentaria y doctor en Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria de la Universitat Politècnica de València, España. Vinculado a AGROSAVIA desde 2014 en el Centro de Investigación Tibaitatá como investigador PhD de la Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales. Su campo de trabajo está enfocado a la ingeniería de procesos agroindustriales con el objetivo de abordar su optimización, desarrollo y escalamiento de procesos agroalimentarios y análisis funcional en matrices alimentarias y sus cambios asociados con diferentes etapas de procesamiento industrial. Lidera proyectos de investigación enfocados a desarrollar procesos que permitan obtener productos con mayor valor agregado en caña de azúcar para panela. Adicionalmente realiza actividades de investigación en secado de cacao, quinua y guayaba.

**Fabián Andrés Velásquez Ayala**Correo: [favelasquez@agrosavia.co](mailto:favelasquez@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1535-3549>

Ingeniero agroindustrial de la Universidad del Tolima, candidato a magíster en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Actualmente está vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el centro de investigación Tibaitatá, donde ha desarrollado proyectos de investigación en el área de ingeniería de procesos y manejo poscosecha de alimentos. Es profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de Cultivos Transitorios.

**Julio Ramírez Durán**Correo: [jramirez@agrosavia.co](mailto:jramirez@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3385-5748>

Ingeniero agrónomo, magíster en Desarrollo Rural de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Con trayectoria y experiencia en procesos de investigación en varias especies agrícolas de importancia social y económica para el país, especialmente en la producción de semilla de calidad, así como capacidad y trayectoria en la coordinación y el liderazgo de equipos técnicos y proyectos de investigación a nivel nacional. Cuenta con experiencia en trabajo interinstitucional e interdisciplinario y en la gestión y administración de recursos financieros y de personal en procesos de investigación de carácter nacional. Además, posee un amplio conocimiento en la estructura y el modelo de gestión del conocimiento en redes de innovación y los procesos de vinculación de oferta tecnológica mediante el desarrollo de iniciativas estratégicas de carácter nacional. Actualmente se desempeña como jefe del Departamento de Semillas en AGROSAVIA.

**John Javier Espitia González**Correo: [jjespitia@agrosavia.co](mailto:jjespitia@agrosavia.co)Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2684-655X>

Ingeniero mecánico de la Universidad de América, sede Bogotá, candidato a magíster de la Universidad de Barcelona, ha trabajado en el diseño, tecnificación y mantenimiento de plantas de producción. Ha trabajado en la corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en proyectos relacionados con diseño de maquinaria agrícola, industrial y agroindustrial. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación, adscrito a la Red de Cacao, desarrollando proyectos de investigación en el área de ingeniería de procesos.

**Ricardo Andrés López Zaraza**Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3694-5132>

Ingeniero químico, magíster en ingeniería química, con siete años de experiencia en investigación y desarrollo de prototipos, plantas de evaporación y combustión en los procesos de producción de panela, fermentación y destilación. Experiencia en el desarrollo de ingeniería conceptual, básica y de detalle, montaje de procesos, puesta a punto, automatización de procesos y capacitación de personal sobre las tecnologías desarrolladas. Énfasis en la aplicación de tecnologías de evaporación de múltiple efecto en la producción panelera, desarrollo de prototipos de evaporación de jugos de caña calentados con vapor y gases de combustión obtenidos del bagazo.

## Referencias

- Abdel-Baky, N. F., Arafat, S., Nehal, A., & Abdel-Ssalam, H. (1998). Three *Cladosporium* spp. as promising biological control candidates for controlling whiteflies (*Bemisia* spp.) in Egypt. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 1(3), 188-195.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5ª ed.). Estados Unidos: Elsevier.
- Akobundu, O. I., Okezie, I. A., & Agyakwa, C. W. (1989). *Guide weeds of West Africa*. Ibadan, Nigeria: International institute of Tropical Agriculture (IITA).
- Alexopoulos, C. J. (1962). *Introductory Mycology* (2ª ed.). Nueva York, Estados Unidos: Jhon Willey & Sons.
- Alvarado, L., Basail, J., Bonell, J., Brasesco, A., Codromaz, A., Conde, A., ... Coscia, E. (1980). *El cultivo del maíz*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Amaya, A., Cock, J. H., Hernández, A., & Irvine, J. (1995). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Ángel, J. C., Cadavid, M., & Victoria, J. I. (2010a). Alerta fitosanitaria, Roya Naranja en el valle del río Cauca. *Carta Trimestral*, 32, 2-3.
- Ángel, J. C., Cadavid, M., & Victoria, J. I. (2010b). *Presencia de Roya Naranja (Puccinia kuehnii) en el Valle del Cauca y estrategias para su manejo* [1.º Informe de avance. Documento de trabajo N.º 715]. Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Ayalde, G., Gómez, J. F., Sánchez, O., Buenaventura, C. E., & Rangel, H. (1973). *Caña de azúcar. Manual de Asistencia Técnica N.º 9*. Palmira, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Barrientos, A. (1986). Fluctuación de *Aeneolamia varia* en pasturas de *Brachiaria Decumbens*. *Pasturas tropicales - boletín*, 8(2), 10-13.
- Blanco, F. M. (1883). *Flora de Filipinas. Atlas II, Gran Edición*. Recuperado de [https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/ba/80/ea/36/ba80ea36-d764-4a42-8662-e25599e7a078/files/BLA\\_Flora\\_Ed3\\_Alt2.pdf](https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/ba/80/ea/36/ba80ea36-d764-4a42-8662-e25599e7a078/files/BLA_Flora_Ed3_Alt2.pdf)
- Box, H. E. (1949). Investigaciones sobre los taladradores de la caña de azúcar (*Diatraea* spp.) en Venezuela. Informe del progreso durante 1947-1949. *Bol. Téc. Div. Ent. Minist. Agric. Venezuela*, 2, 1-60.

- Britton, N. L., & Brown, A. (1913). *An Illustrated flora of the Northern United States and Canada* (2ª ed.). Nueva York, Estados Unidos: Charles Scribner's.
- Buenaventura, C. (1981). Factores climáticos que afectan el crecimiento, producción y desarrollo de la caña de azúcar. En: Instituto Colombiano Agropecuario, Industrialización de la caña, *Compendio 42*. Medellín, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y Gobernación de Antioquia.
- Bustillo, A. E. (2011). *Parasitoides, predadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar en Colombia* (Documento de trabajo N.º 719). Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Bustillo, A. E. (2013). *Insectos plaga y organismos benéficos del cultivo de la caña de azúcar en Colombia*. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12701>
- Buzacott, J. H. (1965). Cane varieties and breeding. En N. Kim, R. Mungomery, & C. Hughes (Eds.), *Manual of cane growing* (pp. 220-253). Sydney, Australia: Bureau of Sugar Experiment Stations.
- Campos, A., Cruz, E., & Canul, J. (2012). *Tecnología para el manejo y control de plagas y enfermedades en caña de azúcar en el estado de Morelos*. Estados Unidos Mexicanos: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Recuperado de <http://www.cirpas-inifap.gob.mx/publicaciones/documentos/CaniaDazucar.pdf>
- Carretero, I., Doussinague, C., & Villena, E. (2002). *Técnico en agricultura* (Tomo 2). Madrid, España: Editorial Cultural.
- Cassalett, C., Torres, J. S. & Isaacs, C. H. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Castro, H. (1998). *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico*. Tunja, Colombia: Instituto Universitario Juan de Castellanos.
- Central de Cooperativas del Sector Agropecuario [Cencoa] (1986). *Diagnóstico de caña para panela – Departamento de Cundinamarca*. Bogotá, Colombia.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [Cenicaña] (1984). *Programa de variedades [Informe Anual]*. Cali, Colombia.

- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [Cenicaña] (1995). *El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia*. Cali, Colombia.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [Cenicaña] (2015). *Identificación, evaluación y control de Diatraea spp.* Recuperado de [https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/plegable/evaluacion\\_control\\_Diatraea\\_2015.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/plegable/evaluacion_control_Diatraea_2015.pdf).
- Cerda, H., Fernández, G., López, A., & Vargas, J. (1996). Estudio de la atracción del gorgojo rayado *Metamasius hemipterus sericeus* (Coleoptera: Curculionidae) a olores de su planta huésped y su feromona de agregación. *Caña de Azúcar*, 14(2), 53-70.
- Céspedes, M. M. (1982). *Memorias del Segundo Seminario de Tecnología Moderna de la Caña de Azúcar*. San José, Costa Rica.
- Chavarría, S. E. (2006). *Escalas descriptivas para la evaluación de enfermedades de la caña de azúcar*. San José, Costa Rica: Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. Línea Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (Laica).
- Chinchilla, C., Oeshlschlager, C., & Bulgarelli, J. (1996). Un sistema de trapeo para *Rhynchophorus palmarum* y *Metamasius hemipterus sericeus* basado en el uso de feromonas. *ASD Oil Palm Papers* 12, 11-17. Recuperado de [http://www.asd-cr.com/images/PDFs/OilPalmPapers/Trampas\\_Metamasius\\_OPP\\_12\\_1996.pdf](http://www.asd-cr.com/images/PDFs/OilPalmPapers/Trampas_Metamasius_OPP_12_1996.pdf)
- Clarke, M. A., Bergeron, J., & Cole, F. (1987). A rapid dextran screening test. *Sugar Azucar*, 82(3), 23-24.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] (2000). Plagas de la caña de azúcar para panela. En *Manual de caña de azúcar para la producción de panela*. Colombia.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] (2016). Requerimientos nutricionales de tres variedades de caña de azúcar para panela determinados a través de curvas de absorción para primer corte (plantilla) [Informe final de investigación]. Colombia.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] (2017). *Indicadores Ambientales de la Agroindustria Panelera Colombiana* [Informe del proyecto. Documento interno de trabajo, sin publicar]. Colombia.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] & Servicio Nacional de Aprendizaje [Sena] (1998). *Manual de caña de azúcar para la producción de panela*. Bucaramanga, Colombia.
- Daniels, J., & Roach, B. T. (1987). Taxonomy and evolution. En D. J. Heinz. (Ed.), *Sugarcane improvement through breeding* (Vol. XI; pp.7-84). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Davis, J., Gillaspie, A. G., Harris, R. W., & Lawson, R. H. (1980a). Ratoon stunting disease of sugarcane: isolation of the causal bacterium. *Science*, 210(4476), 1365-1367.
- Davis, J., Gillaspie, A. G., Vidaver, A., & Harris, R. (1980b). *Clavibacter*: a new genus containing some phytopathogenic Coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* sp. nov., subsp. nov and *Clavibacter xyli* subsp. *cynodontis* subsp. nov., pathogens that cause atoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 34, 107-117.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2014). *Tercer Censo Nacional Agropecuario 2014*. Recuperado de [http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about\\_collection/30/3](http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about_collection/30/3).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2017). *Particularidades del cultivo de la caña panelera (Saccharum officinarum L) en Colombia*. Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_mar\\_2017.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_mar_2017.pdf).
- Des Vignes, W. G. I. (1984). Estudios sobre la tabla de mortalidad de *Diatraea* caña de azúcar en Trinidad. En *Memorias del XVIII Congress of Proceedings of the ISSCT*. La Habana, Cuba: Sociedad Internacional de Técnicos de la Caña de Azúcar (ISSCT).
- D'Hont, A., Ison, D., Alix, K., Roux, C., & Glaszmann, J. C. (1998). Determination of basic chromosome numbers in the genus *Saccharum* by physical mapping of ribosomal RNA genes. *Genome*, 41(2), 221-225.

- Díaz, S., Telleria, M. T., Castroviejo, S., Jaramillo, W., Ruíz, P., & Lozano, G. (1995). *Flora de Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Real Jardín Botánico (C.S.I.C.) Madrid e Instituto Colombiano de Cultura Hispánica.
- Díaz, J. & Labrada, R. (1996). *Capítulo 18. Manejo de malezas en cultivos industriales*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/t1147s/t1147s0m.htm>.
- Eberhard, W. G. (1977). *La ecología y comportamiento de los adultos del cucarrón (Podischnus agenor)*. *Revista Colombiana de Entomología*, 3(1-2), 17-21.
- Egan, B. T. (1964). Rust. En C. G. Hughes, E. V. Abbott, & C. A. Wismer (Eds.), *Sugar-cane diseases of the world* (Vol. II; pp. 91-68). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Eggleston, G., Legendre, B., & Richard, C. (2001). Effect of harvest method and storage time on sugarcane deterioration I: Cane quality changes. *International Sugar Journal*, 103(1232), 331-332.
- Espinal, C., Martínez, H., Acevedo, X., Urrutia, B. (2004). *La competitividad de las cadenas agroproductivas en Colombia: análisis de su estructura y dinámica (1991-2004)*. Bogotá, Colombia: Observatorio Agrocadenas, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Faccini, D., Nisensohn, L., & Tuesca, D. (2012). *Manual de reconocimiento y manejo de maleza. Cátedra de Arvenses de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario (UNR). Recuperado de <http://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/07/Manual-de-reconocimiento-y-Manejo-de-malezas.pdf>
- Ferreira, S. A., & Comstock, J. C. (1989). Smut. En C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, & C. G. Hughes (Eds.), *Diseases of sugarcane. Major diseases*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Flórez, H. (2013). Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de la Panela y su Agroindustria en Colombia. *Tecnura*, 17, 36, 72-86. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v17n36/v17n36a07.pdf>
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro] (2017). *Crédito Agropecuario y Rural*. Recuperado de <https://www.finagro.com.co/productos-y-servicios/cr?dito-agropecuario-y-rural>.

- García, B. H. (2004). *Oportunidades de producción más limpia en la agroindustria panelera. Programa de procesos agroindustriales*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- García, H. R., Albarracín, L. C., Toscano, A., Santana, N. J., & Insuasty, O. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Giblin-Davis, R. M., Peña, J. E., & Duncan, R. (1996). Evaluation of an entomopathogenic nematode and chemical insecticides for control of *Metamasius hemipterus sericeus* (Oliver) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Entomological Science*, 31(3), 240-251.
- Gillaspie, A. G., & Teakle, D. S. (1989). Ratoon stunting disease. En C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, & C. G. Hughes (Eds.), *Diseases of sugarcane. Major diseases* (pp. 59-80). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Gómez, A. & Rivera, H. (1987). *Descripción de malezas en plantaciones de café*. Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigación en Café (Cenicafé).
- Gómez, L. A., & Lastra, L. A. (1995a). Insectos asociados con la caña de azúcar en Colombia. En C. Cassalet, J. Rorres, & C. Isaacs, (Eds.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 237-263). Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Gómez, L. A., & Lastra, L. A. (1995b). *Los barrenadores de la caña de azúcar. Su manejo y control* (Serie Divulgativa N.º 6). Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Gómez, L. A. (2007). Manejo del salivazo *Aeneolamia varia* en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. *Carta Trimestral*, 29(2-3), 10-17.
- González, V., Ardiles, S. & Sepúlveda, R. (2014). *Manejo integrado de plaga y enfermedades (MIPE) en el cultivo de tomate baja malla antiáfido en el Valle de Azapa*. Informativo Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) – URURI. Chile: INIA.

- Gutiérrez, Y., & Gómez, L.L.A. (2009). Algunas experiencias en el manejo del salivazo *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae) en el Valle del Cauca. En *Memorias del VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (Tecnicaña)*. Colombia: Tecnicaña.
- Hitchcock, A. S. (1950). *Manual of the Grasses of the United States* (2ª ed.). Washington Estados Unidos: Bureau of Plant Industry, Soils, and Agricultural Engineering. Division of Plant Exploration and Introduction.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Humber, R. (1968). *The growing of sugar cane*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales [IDEAM] (2014). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: autor.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2014). *Indicador de distribución del área de predios rurales*. Bogotá, Colombia: autor.
- Insuasty, O., & Barona, A. F. (2016). *Varietades de caña de azúcar para producción de panela evaluadas por mejor producción de caña, rendimiento en panela y respuesta en ambiente específico para la región de Cundinamarca* [Informe final de investigación]. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Insuasty, O., Manrique, R., & Palacio, O. (2000). *La resiembra: una práctica regenerativa en cultivos de caña panelera*. Barbosa, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Insuasty, O., Manrique, R., & Palacio, O. (2003). *Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la hoyo del río Suárez*. Barbosa, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Jacobs, S. W. L., Whalley, R. D. B., & Wheeler, D. J. B. (2008). *Grasses of New South Wales* (4ª ed.). Nueva Inglaterra, Estados Unidos: University of New England
- Johnson, L. J. (1979). *Introductory Soil Science. A study guide and laboratory manual*. Nueva York, Estados Unidos: MacMillan.

- Koblitz, M. G. B. (1998). *Estudo de metodo para remoção de polissacarídeos que precipitam em cachaça*. Universidade Estadual de Campinas. Recuperado de <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000127075>.
- Labrada, R., Caseley, J. C., & Parker, C. (1996). *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/t1147s/t1147s00.htm>.
- Lastra, L. A., & Gómez, L. A. (1984). Tiempo de exposición de semilla, como un factor que afecta los niveles de población de *Rhynchosporium palmarum* L., y *Metamasius hemipterus* L., en dos variedades de caña de azúcar y evaluación de medidas de control. En *Memorias del I Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la caña de azúcar, (Tecnicaña)*. Cali, Colombia: Tecnicaña.
- Lewis, G. P. B., Schirire, B., Mackinder, B. & Lock, M. (Eds.) (2005). *Legumes of the World*. Edimburgo, Escocia: Royal Botanic Garden Edinburgh.
- Linares, B. (1984). Metodología de evaluación de candelilla y *Diatraea* en ensayos de variedades de caña de azúcar. *Caña de Azúcar*, 2(2), 109-113.
- López, J. G. (2015). *Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar para panela en Antioquia*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- López, J. G., & Osorio, J. G. (Comp.) (2000). *Memorias del taller: Manejo agronómico y beneficio de la caña panelera*. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4091/1/068.pdf>
- Maldonado, G., Santana, N., & Jiménez, D. (2006). *Prácticas sostenibles en el sistema productivo de caña panelera*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta).
- Manrique, R., & Insuasty B., O. (2000). *Manual de caña de azúcar para la elaboración de panela*. Recuperado de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20891/39744\\_23885.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20891/39744_23885.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Martin, J. P. (1961). The anatomy of the sugar cane plant. En C. G. Hughes, E. V. Abbott, & C. A. Wismer (Eds.), *Sugar-cane diseases of the world* (Vol. I; pp. 1-52). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Martínez, P. (1981). *Industrialización de la caña. El carbón y la roya de la caña de azúcar*. (Compendio N.º 42.) Antioquia, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Meade, G. P., & Chen, J. P. (1977). *Sugar cane handbook*. 10 ed. Willey-Interscience Publication. Jhon Wiley and Sons, Nueva York. 947 p.
- Meagher, R. L. (1996). *MIP en Caña de Azúcar. El texto mundial de MIP*. Minnesota, Estados Unidos: University of Minnesota.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], (2017). *Anuario estadístico del sector agropecuario*. Tabla Valoración de la producción agropecuaria (2001-2016). <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11438/8628>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Secretaría de Agricultura Departamental [Umata] (2016). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/Documents/CUNDINAMARCA2016.pdf>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADR] (2019). *Listado de NAMAs en curso*. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Accion\\_nacional\\_Ambiental\\_/PORTAFOLIO\\_NAMAS\\_DCC\\_publicar\\_ultima\\_version.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Accion_nacional_Ambiental_/PORTAFOLIO_NAMAS_DCC_publicar_ultima_version.pdf).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC] & Federación Nacional de Productores de Panela [Fedepanela] (2002). *Guía Ambiental para el subsector panelero*. Recuperado de [https://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guia\\_ambiental\\_panelera.pdf](https://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guia_ambiental_panelera.pdf).
- Ministerio de Salud y Protección Social (1997). *Decreto 3075 de 1997*. Recuperado de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf).
- Ministerio de la Protección Social (2006). *Resolución sanitaria número 779 de 2006*. Recuperado de <https://fedepanela.org.co/gremio/descargas/resolucion-779-de-2006/>.
- Morais, A., Bagnatori, A., Resende, U. (2007). As Espécies de *Desmodium* Desv. (Leguminosae-Papilionoideae-Desmodieae) ocorrentes no Mato Grosso do Sul. *IHERINGIA. Série Botânica.*, Porto Alegre, 63(1), 37-67.
- Muñoz, A. F. (2011). Importancia de la fertilización, la nutrición y la materia orgánica para la productividad de la caña de azúcar. En *Memorias del Seminario nacional de caña panelera*. Santander, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Muñoz, R. (1981). *Características de los suelos y fertilización de la caña panelera en Antioquia* (Compendio N.º 42.). Medellín, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Gobernación de Antioquia, Federación Nacional de Cafeteros.
- Murcia, M., & Ramírez, J. (2015). *Producción y manejo de semilla de caña panelera*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Murcia, M., & Ramírez, J. (2017). Reconversión del sistema regional de producción de semilla de caña para la agroindustria panelera en Boyacá y Santander. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 75-87.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2012). *Reducen el pronóstico en la producción de caña de azúcar en Brasil*. Recuperado de [http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/?dyna\\_fef%5Buid%5D=149130](http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/?dyna_fef%5Buid%5D=149130)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2017). *Base de datos balance alimentario. FAOSTAT*. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Osorio, G. (2007). *Manual buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manufactura (BPM) en la producción de caña y panela*. Medellín, Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Gobernación de Antioquia y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ovalle, W., Orozco, H., Quemé, J., Melgar, M., & García, S. (2008). *La roya anaranjada en Guatemala y estrategias para su manejo*. Escuintla, Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar.
- Pabón, J.D. (2011). *El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- Parada, S., Ebratt, E., & Benavides, M. A. (2007). Diferenciación de especies *Diatraea* spp. que afectan los cultivos de caña en la región del Gualiva. *Revista Inventum*, 3, 69-78.

- Pérez, A. L., Campos, Y., Chinchilla, C. M., Oehlschlager, A. C., Gries, G., Gries, R., Andrade, R. (1997). Aggregation pheromones and host kairomones of West Indian Sugarcane Weevil, *Metamasius hemipterus sericeus*. *Journal of Chemical Ecology*, 23(4), 869-888.
- Pérez, E., & Martínez, K. (2011). Distribución espacial y ciclo de vida *Diatraea spp.* en plantaciones de *Saccharum officinarum* (Caquetá, Colombia). *Revista Ingenierías & Amazonia*, 4(2), 122-130.
- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2011). *Especies Forrajeras Multipropósito: opciones para productores del trópico americano*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Purdy, L. H. & Dean, J. L. (1980). Un sistema para registrar los datos sobre las interacciones entre la roya de la caña de azúcar y el hospedero. En *Memorias del primer Seminario Interamericano de la Caña de Azúcar*. Miami, Estados Unidos: Departamento de Agricultura –Universidad de Minnesota.
- Porta, J. (1986). *Técnicas y experimentos en edafología*. Cataliña, España: Col. Legi. Oficial D'Enginyers Agrònoms de Catalunya.
- Quezada, W. (2012). *Guía técnica de agroindustria panelera*. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/934/1/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20Agroindustria%20Panelera.pdf>.
- Raigosa, J. (1974). Nuevos diseños de trampas para el control de plagas en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) En *Memorias del II Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen)*. Cali, Colombia: Socolen.
- Ramírez, J. (2017). *La Modernización Tecnológica de la Agroindustria Panelera y su Contribución al Desarrollo Territorial (Tesis de Maestría)*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja, Colombia.
- Ramírez, J., Insuasty, O., & Murcia, M. L. (2014a). *Variedades de caña de azúcar empleadas para la agroindustria panelera de Colombia*. Barbosa, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ramírez, J., Murcia, L., Barona, F., Huertas, R., & Ramírez, L. (2014b). *Recomendaciones de fertilización para caña de azúcar para panela en el Departamento de Cundinamarca* [Informe de investigación]. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Ranjel, J., Viveros, C., Amaya, A., Gómez, L., Victoria, J., & Ángel, J. (2003). *Catálogo de variedades* (2ª ed.). Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano [Agronet] (2017). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Recuperado de [https://www.agronet.gov.co/Documents/CUNDINAMARCA\\_2017.pdf](https://www.agronet.gov.co/Documents/CUNDINAMARCA_2017.pdf)
- Ricaud, C., & Ryan, C. C. (1989). Leaf scald. En C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, & C. G. Hughes (Eds.), *Diseases of sugarcane. Major diseases* (pp. 39-58). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Rodríguez, E. (1980). El Cultivo de la Caña Panelera en los municipios de Villeta, Útica, Quebradanegra, Nimaima, Nocaima y Guayabal de Síquica (Distrito de transferencia de Tecnología N.º 9). Villeta, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Rodríguez, G. (2004). *La agroindustria rural de la panela en Colombia: roles, problemática y nuevos retos. Artículos científicos*. Recuperado de: <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/la-agroindustria-rural-de-la-panela-en-colombia-roles-problematICA-y-nuevos-retos.pdf>.
- Rodríguez, G., García, H., Roa, Z., & Santacoloma, P. (2004). Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en área rurales de América Latina. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Servicio de la Gestión, Comercialización y Finanzas Agrícolas (AGSF).
- Rodríguez, G., Huertas, B., Polo, S., & Tauta, J. (2017a). *Caracterización técnica y socioeconómica de sistemas regionales de producción de panela. Proyecto Indicadores de impacto ambiental de la agroindustria panelera [Informe de meta]*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rodríguez, G., Huertas, B., Tauta, J., & Polo, S. (2017b). *Condiciones de evaluación del efecto del sistema de corte de caña sobre la erosión y la captura de carbono en el cultivo determinadas. Proyecto Indicadores de impacto ambiental de la agroindustria panelera. [Informe de meta]*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Rodríguez, L. A., Loredó, R., Mata, H., & Ávila, J. (2012). *Manejo integrado de barrenadores en caña de azúcar en el Sur de Tamaulipas* (Folleto Técnico). México: Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Río Bravo.
- Rodríguez, L. A., & Vejar, G. (2008). Barrenadores del tallo (Lepidóptera: Crambidae) del maíz y caña de azúcar. En H. C. Arredondo & L. A. Rodríguez (Eds.), *Casos de Control Biológico en México* (pp. 9-22). México: Mundi-Prensa.
- Rodríguez, M. M. (2013). *Casos de cogollo retorcido no deben preocupar a cultivadores*. Cali, Colombia: Comité de Sanidad Vegetal, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Ryan, C. C., & Egan, B. T. (1989). Rust. En C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, & C. G. Hughes (Eds.), *Diseases of sugarcane. Major diseases* (pp. 189-202). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Rzedowski, G. C. & Rzedowski, J. (2001). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Recuperado de [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Indice\\_Flora\\_del\\_Valle\\_de\\_Mx.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Indice_Flora_del_Valle_de_Mx.pdf).
- Sánchez N. E. (1972). *Materia prima: caña de azúcar*. México: Porrúa.
- Sánchez, Z., García, H. R., & Mendieta, O. A. (2013). Efecto del precalentamiento del aire primario y la humedad del bagazo de caña de azúcar durante la combustión en lecho fijo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(1), 5-16.
- Sendoya, C. A., Ramírez, G. D., Bustillo, A.E., & Castro, U. (2011a). Biología de *Aeneolamia varia* (F) (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar en el Valle del Cauca. En *Memorias del Congreso XXXII de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen)*. Manizales, Colombia: Socolen.
- Sendoya, C. A., Ramírez, G. D., Bustillo, A. E., & Castro, U. (2011b). Parámetros reproductivos de *Aeneolamia varia* (F) (Hemiptera: Cercopidae) en una cría masiva usando pasto *Brachiaria*. En *Memorias del Congreso XXXII de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen)*. Manizales, Colombia: Socolen.
- Solomon, S. (2000). Post-Harvest cane deterioration and its milling consequences. *Sugar Tech*, 2(1-2), 1-18.

- Solomon, S., Banerji, R., Shrivastava, A. K., Singh, P., Singh, I., Verma, M., Prajapati, C., & Sawani, A. (2006). Post-harvest deterioration of sugarcane and chemical methods to minimize sucrose losses. *Sugar Tech*, 8(1), 74-78.
- Solomon, S., Shahi, H. N., Suman, A., Gaur, A., Deb, S., & Singh, I. (2001). A survey of post-harvest biological losses of sucrose in indian sugar factories: An Emerging Challenge. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol*, 24, 380-381.
- Soria, E. M., Pérez, L. A., & Cupull, S. R. (1988). Estudio sobre el micoparásito de la roya *Darluca filum* Cast en caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 15(4), 23-29.
- Tucker, G. C. (1994). *The taxonomy of Cyperus (Cyperaceae) in Costa Rica and Panama*. Estados Unidos: American Society of Plant Taxonomists.
- Verloove, F. (2004). A conspectus of *Cyperus* s.l. (Cyperaceae) in Europe (incl. Azores, Madeira and Canary Islands), with emphasis on non-native naturalized species. *Webbia*, 69(2), 179-223.
- Victoria, J., Guzmán, M. L., & Ángel, J. C. (1995). Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. En Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 265-293). Cali, Colombia: Cenicaña.
- Victoria, J., Guzmán, M. L., & Ochoa, B. O. (1987). *Control químico y físico del raquitismo de la soca de la caña de azúcar* (Serie técnica N.º 2). Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Victoria, J., Moreno, C., & Cassalett, C. (1990). *Genotype-environment interaction and its effect on sugarcane rust incidence*. *Sugar Cane*, 4, 13-17.
- Victoria, J., Viveros, C., Salazar, F., Ángel, J. C., Bustillo, A., Castro U., López, J., & Moreno, C. (2013). *Catálogo de variedades de caña de azúcar* (2ª ed.). Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Viveros, C. (2011). Identificación de características asociadas con la mayor eficiencia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

- Viveros, C., Cassalett, C., & Victoria, J. (1997). *Multiplicación rápida de la caña de azúcar por el sistema de plántulas*. Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Weissling, T., & Giblin-Davis, R. (2010). Silky Cane Weevil, *Metamasius hemipterus sericeus* (Oliver) (Insecta: Coleoptera: Curculionidae). Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN21000.pdf>.
- Weissling, T., Giblin-Davis, R., Center, B., Heath, R., & Peña, J. (2003). Oviposition by *Metamasius hemipterus sericeus* (Coleoptera: Dryophthoridae: Rhynchophorinae). *Florida Entomologist*, 86(2), 174-177.

[www.siembra.gov.co](http://www.siembra.gov.co)



El campo  
es de todos

Minagricultura