

**REVISIÓN DE LOS SISTEMAS SOSTENIBLES DE COSECHA VERDE O
CRUDA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL
CAUCA**

ANDRÉS FELIPE MELLIZO RUIZ

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**ORIENTADOR
JUAN CAMILO CELY GARZÓN
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ**

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., agosto de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Directora del Programa

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

A mi abuela Angélica, que me apoyó durante toda mi vida, especialmente en mi carrera universitaria y que siempre deseó verme como un profesional.

A mi mamá, que ha sido el motor de mi vida gracias al inmenso amor, al apoyo incondicional que siempre me ha dado, y por el esfuerzo realizado para que hoy pueda alcanzar mis metas.

A mi prima Alejandra, a la que veo como mi hermana y mi confidente, con la que crecí y es la mujer que me ha acompañado siempre durante toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por llenarme de bendiciones día a día, darme la oportunidad de ser un profesional y poder terminar mis estudios de posgrado.

A mi familia, especialmente a mi mamá, por el inmenso esfuerzo que realiza para que pueda terminar mis estudios, por ser mi guía y darme la fuerza para continuar pese a las dificultades.

A mis compañeros y amigos que me acompañaron durante toda mi formación académica, a la Universidad de América por abrirme las puertas para poder realizar mi carrera profesional como Ingeniero Químico y brindarme la oportunidad de continuar mis estudios de posgrado con la especialización.

Finalmente, agradecerle al Ingeniero Juan Camilo Cely, por su acompañamiento y guía en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. CAPITULO I: GENERALIDADES DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	15
3.1. CONTEXTO NACIONAL	16
3.2. CONTEXTO INTERNACIONAL	19
3.3. VARIETADES DE CAÑA SEMBRADAS EN EL VALLE DEL CAUCA	20
3.4. PROCESO DE SIEMBRA, FERTILIZACIÓN Y RIEGO	25
3.4.1. <i>Requerimientos climáticos, edáficos y nutricionales</i>	25
3.4.2. <i>Adecuación de suelos</i>	27
3.4.3. <i>Siembra</i>	28
3.4.4. <i>Fertilización</i>	29
3.4.5. <i>Riego</i>	29
3.5. OPERACIONES DE COSECHA	31
4. CAPITULO II: IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR	35
4.1. Descripción de la cosecha de caña con quema - proceso tradicional	35
4.2. Impacto ambiental, económico y social de la quema de caña	36
4.2.1. <i>Impacto ambiental</i>	36
4.2.2. <i>Impacto económico</i>	48
4.2.3. <i>Impacto social</i>	50
4.3. Legislación vigente	52
5. CAPITULO III. EVALUACIÓN DE LA COSECHA CRUDA DE CAÑA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LA COSECHA CON QUEMA	55
5.1. Descripción de la cosecha cruda de caña	55
5.2. Impactos ambientales, económicos y sociales de la cosecha cruda de caña	57
5.2.1. <i>Impacto ambiental</i>	57
5.2.2. <i>Impacto económico y social</i>	58

5.3. Comparación entre la cosecha de caña cruda y caña quemada	61
5.4. Matriz DOFA cosecha de caña de azúcar cruda	63
6. CONCLUSIONES	65
7. RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1: Distribución hectáreas sembradas de caña en el valle geográfico del Río Cauca.	16
Figura 2: Distribución de los ingenios azucareros en el valle geográfico del río Cauca	17
Figura 3: Producción mensual de caña de azúcar 2018 - 2020	18
Figura 4: Principales productores de azúcar en el mundo entre los años 2013 y 2017.	19
Figura 5: Producción mundial de cultivos de azúcar.	20
Figura 6: Sistema de riego por gravedad.	30
Figura 7: Sistema de riego por aspersión.	31
Figura 8: Dirección de los vientos en el departamento del Valle.	37
Figura 9: Velocidad promedio anual de los vientos en el Valle del Cauca.	38
Figura 10: Puntos de calor reportados por el IDEAM y MODIS en el Valle del Cauca.	39
Figura 11: Áreas quemadas cercanas a los ingenios Providencia y Manuelita.	40
Figura 12: Áreas quemadas cercanas a los ingenios Mayagüez y Riopaila Castilla.	41
Figura 13: Estaciones de monitoreo de calidad del aire en el departamento del Valle.	45
Figura 14: Área potencial para realizar cosecha mecánica de caña cruda en el Valle Geográfica del río Cauca.	60

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1: Grupos de suelos y sus características.	21
Tabla 2: Grupos de humedad y sus características.	22
Tabla 3: Principales variedades de caña de azúcar cultivadas en el Valle del Cauca.	23
Tabla 4: Principales ingenios azucareros del Valle del Cauca.	49
Tabla 5: Composición normal jugo de caña.	62
Tabla 6: Comparación de características de la caña de azúcar cruda y quemada.	62
Tabla 7: Matriz DOFA cosecha cruda de caña de azúcar.	63

RESUMEN

Este documento, presenta como objetivo principal, ejecutar una revisión de la práctica agrícola sostenible de cosecha verde para la reducción de quema de cañaduzales en el departamento del Valle del Cauca y cómo estas prácticas, contribuyen a la sostenibilidad. Esto debido a que no solo en el departamento Vallecaucano, sino que también en diferentes regiones del país, las quemadas de caña para su cosecha se siguen realizando sin tener en cuenta el impacto ambiental que esta práctica ocasiona. Así mismo, se identificarán las afectaciones que causa la práctica tradicional de quema de caña de azúcar en los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad, ambiental, social y económico. En adición, se formulará el potencial de la cosecha verde como una estrategia de producción sostenible y como una posible alternativa para reducir las afectaciones ambientales causadas por la industria de la caña en el departamento.

Palabras clave: Sostenibilidad, caña de azúcar, emisiones atmosféricas, cosecha de caña, impactos ambientales

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo y cosecha de caña de azúcar es una actividad que se ha venido realizando en Colombia desde que Sebastián de Belalcázar, la plantó por primera vez en el municipio de Yumbo, en el año de 1540 (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2014). Desde esos tiempos de conquista y colonia, el cultivo de esta especie se ha venido expandiendo por el valle geográfico del río Cauca abarcando principalmente los departamentos del Valle del Cauca, donde se concentra el mayor porcentaje de cultivos, Cauca, Risaralda, Caldas y Quindío, contando con una cantidad de hectáreas sembradas de 241.205, representado el 0.6% del PIB nacional (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -ASOCAÑA-, 2021). Estas regiones, poseen las condiciones adecuadas para el crecimiento de la caña de azúcar, gracias a esto, el cultivo se da en forma continua durante todo el año y no en forma estacional como lo es en otras partes del mundo.

Pese a la importancia económica, social, industrial y alimentaria que representa la industria de la caña de azúcar no solo en Colombia, sino que también en países como México, el proceso es altamente contaminante por las operaciones que se utilizan a lo largo de toda la cadena productiva y el ambiente político y social de escasas restricciones ambientales, afectando directa e indirectamente el medio ambiente y la salud de las personas que residen cerca a los ingenios azucareros.

Una de estas actividades contaminantes, es la cosecha por quema de caña. Esta cosecha, se realiza mediante la incineración del cañaduzal con el fin de eliminar la mayor parte del follaje seco y poder facilitar el acceso de los cortadores (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013) y aumentar la concentración de sacarosa. Sin embargo, la quema de caña, genera una gran cantidad de emisiones contaminantes entre los que se destacan el monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de carbono, óxido de azufre, anhídrido sulfuroso, material particulado, entre otros, que son contaminantes conocidos por sus efectos nocivos sobre el medio ambiente como la lluvia ácida, lluvias de hollín, disminución en la fertilidad de los suelos y afectaciones en la salud humana, causando enfermedades respiratorias o agravando ciertos padecimientos preexistentes.

Para solucionar este problema, distintos cultivadores de caña de azúcar en otros países como Australia y Brasil, han optado por la utilización de otro tipo de cosecha, la cosecha verde o cruda. Con esta alternativa, se evita la quema de la caña, por lo que se eliminan las emisiones, se mejoran

las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013) y deja una gran cantidad de residuos que pueden ser aprovechados en la producción de fertilizantes o en la generación de energía. Alternativa que se evaluará en el desarrollo de este trabajo.

El trabajo, se dividirá en tres capítulos, una fase inicial o primer capítulo, en este se planteará una introducción en la que se describan las generalidades sobre el cultivo de caña de azúcar a nivel nacional e internacional, se describirán las variedades de caña sembradas en el Valle del Cauca para terminar el capítulo explicando las condiciones de cultivo, los procesos de siembra, fertilización, riego, control de plagas y enfermedades y los diferentes procesos para la cosecha de la caña.

Posteriormente, se describirán los impactos ambientales, sociales y económicos de la cosecha de caña de azúcar quemada, se mostrarán las ventajas y desventajas. Aquí se incluirán las emisiones contaminantes que se generan con las quemas, las afectaciones en la calidad del suelo, así como las afectaciones en la salud de las poblaciones cercanas a los cultivos de caña.

Finalmente, se analizará la viabilidad de la implementación de la cosecha cruda de caña de azúcar encaminada al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, a partir del análisis de los beneficios ambientales, económicos y sociales que ocasiona esta práctica, un análisis DOFA y una comparación entre los dos métodos de cosecha que permitan analizar dicha viabilidad.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Revisar la práctica agrícola sostenible de cosecha verde para la reducción de quema de cañaduzales y contribución de la sostenibilidad.

2.2. Objetivos específicos

Identificar las afectaciones a nivel ambiental, social y económico que provoca la práctica de quema de caña de azúcar.

Establecer las prácticas de la cosecha en verde o cruda como estrategia de producción sostenible.

Formular el potencial de la práctica de cosecha en verde para la reducción de afectaciones ambientales en la industria de caña en el Valle del Cauca.

3. CAPITULO I: GENERALIDADES DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar, *Saccharum officinarum L.*, es una gramínea tropical gigante que forma y acumula sacarosa en las hojas verdes. Es un cultivo de gran importancia no solo a nivel local, sino que también a nivel internacional, si se tiene en cuenta que aproximadamente el 70% de azúcar que se consume en todo el planeta, se produce a partir de la actividad agrícola de siembra y cosecha de caña de azúcar (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013), el porcentaje restante corresponde a azúcar proveniente de la remolacha.

Mediante el proceso de fotosíntesis, la caña de azúcar produce carbohidratos, celulosa y otros materiales, siendo el más importante el jugo de sacarosa, este es extraído y posteriormente cristalizado en los ingenios para la producción de azúcar y una amplia gama de derivados, entre los que se destaca el bioetanol o alcohol carburante (Secretaría de agricultura y desarrollo rural - SAGARPA-, 2015).

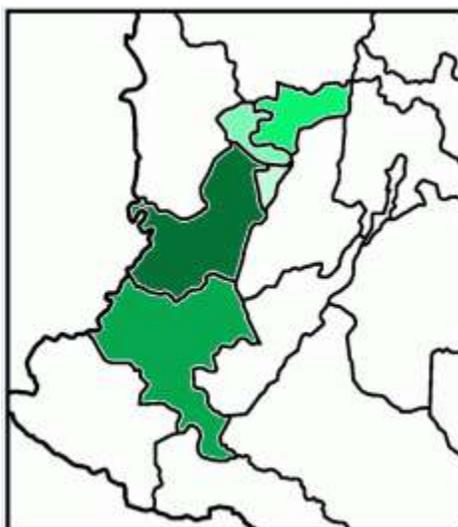
Esta planta, es originaria de Nueva Guinea, pero fue cultivada por primera vez en los países del sudeste asiático y en la región occidental de la India (Secretaría de agricultura y desarrollo rural - SAGARPA-, 2015). Desde que se comenzó a cultivar la caña, y gracias a sus facilidades de producción, el cultivo de la caña se amplió a casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo incluyendo regiones del norte de África y el sur de Europa como la península ibérica.

Al continente americano, la caña de azúcar llegó en el año de 1493, gracias al segundo viaje realizado por Cristóbal Colón desde las Islas Canarias (Asociación colombiana de productores y proveedores de caña de azúcar -PROCAÑA-, s.f.) y se sembró en lo que hoy en día se conocen como República Dominicana y Haití. Desde estos territorios, que en aquella época eran conocidos como La Española, los diferentes conquistadores llevaron y cultivaron la caña de azúcar a las otras regiones del continente, llegando a territorio mexicano en el año de 1520 con Hernán Cortes y a la Nueva Granada entre los años 1533 y 1541 con Pedro de Heredia en Cartagena y Sebastián de Belalcázar en Yumbo (Lopez Bustamante, 2015), municipio desde donde se esparció por todo el valle geográfico del Río Cauca.

3.1. Contexto nacional

Para el final del año 2019, Colombia contaba con 241.205 hectáreas sembradas de caña de azúcar con una tasa promedio de rendimiento por hectárea del 0,69% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020) en 51 municipios del país, distribuidos en 6 departamentos que son Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta. Del total de hectáreas sembradas, el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios azucareros y el 75% restante a más de 2.750 cultivadores de caña (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -ASOCAÑA-, 2021).

Figura 1. *Distribución hectáreas sembradas de caña en el valle geográfico del Río Cauca.*



Nota: La figura representa la distribución geográfica de hectáreas sembradas en valle geográfico del Río Cauca. Tomado de: sioc.minagricultura.gov.co

La cantidad de hectáreas sembradas en el país, permitieron que para el final del año 2020, pese a la pandemia, se cosecharan 24.3 millones de toneladas de caña, para la producción de aproximadamente 2.3 millones de toneladas de azúcar y 438 millones de litros de bioetanol (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -ASOCAÑA-, 2021) dejando a Colombia como el país con mayor productividad en el cultivo de caña.

En el caso puntual del valle geográfico del río Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del Cauca hasta el sur de Risaralda, existen aproximadamente 224.000 hectáreas sembradas de caña de azúcar, lo que equivale al 92.8% de hectáreas sembradas en el país, abastecen 13 ingenios azucareros distribuidos en esta región.

Figura 3.

Distribución de los ingenios azucareros en el valle geográfico del río Cauca

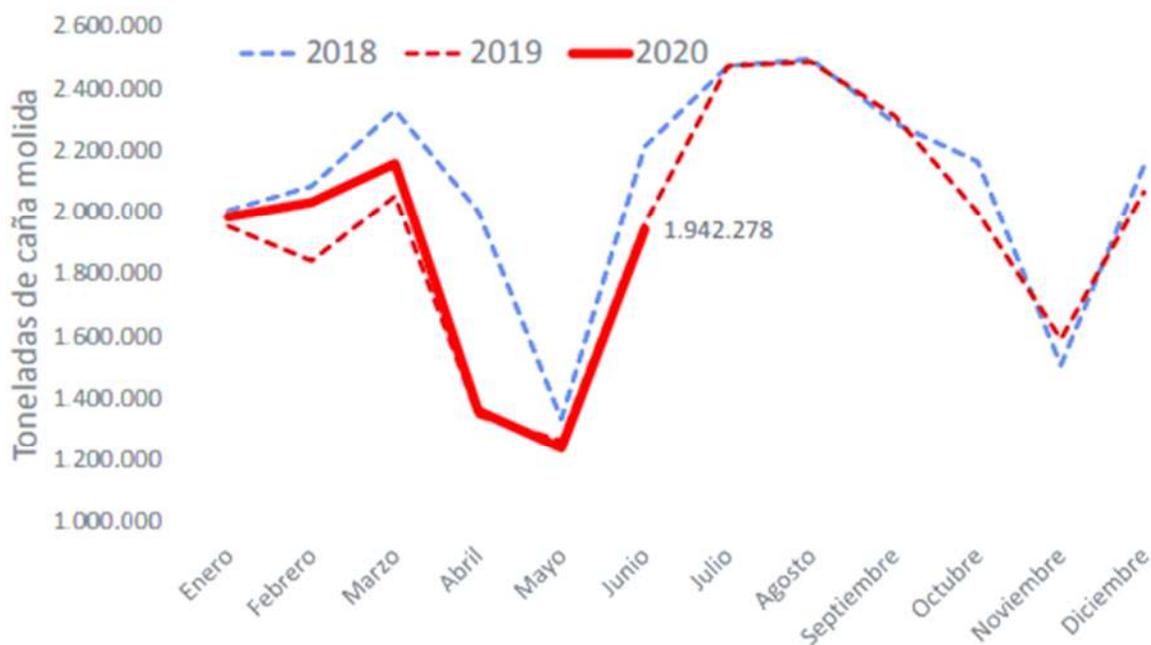


Nota: En la figura se observan los 13 ingenios azucareros ubicados en el valle geográfico del río Cauca. Tomado de: <http://repositorio.utp.edu.co/>.

En cuanto a la producción mensual de caña de azúcar, durante el periodo comprendido entre el año 2018 y el 2020, se observó un patrón con características muy similares para los tres años exponiendo a abril y marzo como los meses con menor producción de caña molida y julio, agosto y septiembre como las épocas con mayor producción. De acuerdo a la corporación autónoma del Valle, para estos años el 78% de las áreas sembradas tienen permitido realizar quemas de caña para su cosecha (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca -CVC-, 2020), de acuerdo a esto, el 22% de las hectáreas sembradas con caña, se cosecharon mediante la alternativa de cosecha cruda o verde.

Figura 7.

Producción mensual de caña de azúcar 2018 - 2020



Nota: En la figura, se observa la producción mensual de caña de azúcar durante los años 2018, 2019 y 2020. En esta gráfica, se observa una tendencia bastante similar entre cada año. Tomado de: sioc.minagricultura.gov.co

Gracias al clima privilegiado de Colombia y a la calidad de los suelos, la caña se puede sembrar y cosechar durante todos los meses del año. Esta condición agroclimática, sumada al adelanto tecnológico impulsado por el Centro de Investigación de la Caña -Cenicaña- (Aza Jácome, 2018), ha llevado a que el país sea especialista en el cultivo y sea líder a nivel mundial en productividad.

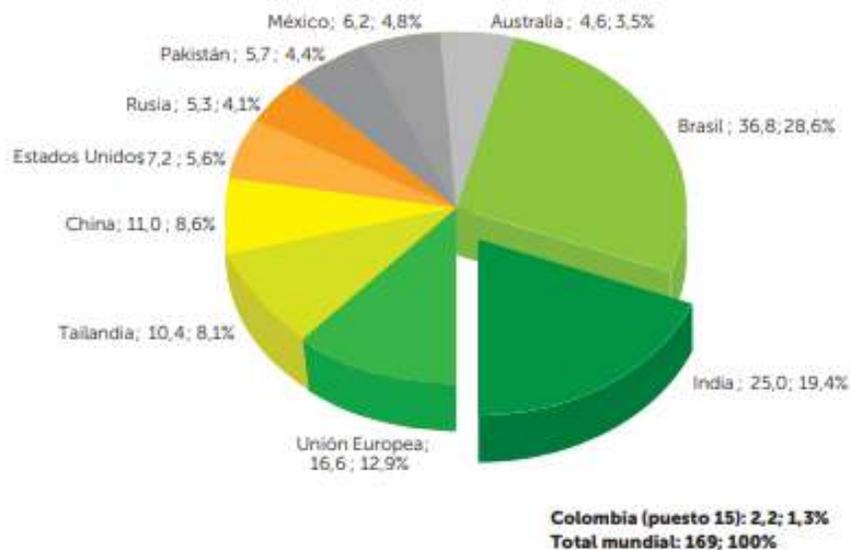
3.2. CONTEXTO INTERNACIONAL

Como ya se ha expuesto, la caña de azúcar se origina en las regiones tropicales y subtropicales del mundo y a través de su desarrollo y evolución ha ampliado su capacidad de adaptación a una mayor diversidad ecológica, siendo Colombia, un país con estas características. Pese a esto, y a que es el país con mayor productividad de azúcar por hectárea al año (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -ASOCAÑA-, 2021), Colombia no es un gran productor, no pasa el 1,3% de la producción mundial de azúcar ubicándose en el puesto 15 en el ranking de productores ((Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -Asocaña-, 2019), viéndose superado por países como Brasil, que ocupa el primer puesto con 36.8 millones de toneladas lo que equivale al 28,6% de la producción mundial y la India que produce 25 millones de toneladas que reflejan el 19.4% (Aza Jácome, 2018).

En el contexto del continente americano, Brasil es el país con mayor producción de azúcar, como ya se había mencionado, seguido de Estados Unidos, que produce 7.2 millones de toneladas y México con una producción de 6.2 millones de toneladas ((Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -Asocaña-, 2019)

Figura 10.

Principales productores de azúcar en el mundo entre los años 2013 y 2017.



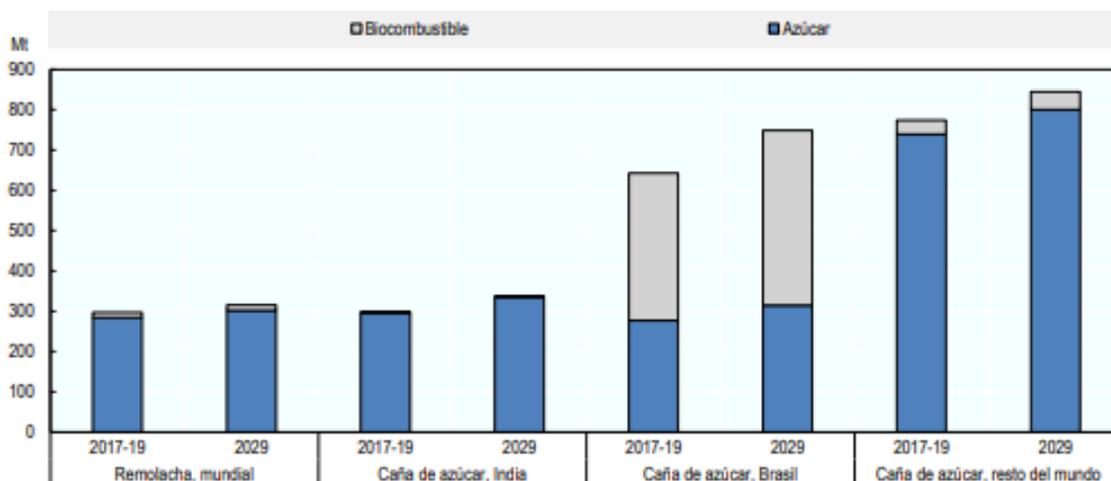
Nota: En la figura se pueden observar los 10 principales países productores de azúcar entre los años 2013 y 2017 y su relación con la producción nacional. Tomado de: asocana.org.

De acuerdo a las perspectivas agrícolas mundiales para el periodo comprendido entre los años 2020 y 2029, se espera que la producción mundial aumente con una tasa de crecimiento promedio de 1.4% al año frente a los 0.8% del periodo entre los años 2010 y 2019 (OCDE-FAO, 2020), esto como respuesta al alza de la demanda mundial de azúcar, lo que disminuye el precio de la misma.

Para este aumento en la producción mundial, se espera que las mayores contribuciones provengan en un 49% de Brasil, 15% de la India y 6% de Tailandia (OCDE-FAO, 2020), lo que demuestra que los dos principales productores se mantienen en el ranking presentado en la figura 2 y que el país del sudeste asiático sobrepasará a China como el cuarto productor mundial de azúcar. Esto, sin tener en cuenta que la Unión Europea, conformada por 27 países, es el tercer mayor productor mundial.

Figura 14.

Producción mundial de cultivos de azúcar.



Nota: En la figura se muestra la producción mundial de azúcar y biocombustible en megatoneladas a partir de remolacha y de caña de azúcar para el periodo 2017-19 y su crecimiento proyectado para el año 2029. Tomado de: <http://www.fao.org/>

3.3. Variedades de caña sembradas en el valle del cauca

Para seleccionar la variedad de caña a cultivar, se debe tener en cuenta sus características de resistencia a plagas y enfermedades, si su uso será para la producción de azúcar o panela y también, es necesario identificar la zona agroecológica de la región, siendo esta condición la más

importante para la selección de la variedad. Esta última se establece a partir de las condiciones de humedad y el tipo de suelo existente a partir de grupos especificados por diferentes estudios (Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-, 2001).

Las zonas agroecológicas se identifican con un número del 1 al 10, que expresa el grupo de suelo al que pertenece el suelo, seguido de la letra C y un número del 1 al 5 que muestra el nivel de humedad que presenta dicha zona (Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-, 2001). Por ejemplo, una zona 1C1, hace referencia a un grupo 1 de suelo y una condición de humedad normal.

A continuación, se presentan los diferentes grupos de tipos de suelos y las condiciones de humedad para la selección de la variedad de caña.

Tabla 1:

Grupos de suelos y sus características.

Grupo de suelo	Características
1	Suelos profundos, bien drenados y alta fertilidad también conocidos como molisoles secos
2	Suelos moderadamente profundos, bien drenados y de alta fertilidad, conocidos como molisoles e inceptisoles secos
3	Molisoles secos, superficiales y de mediana a baja fertilidad
4	Molisoles secos, arenosos, superficiales
5	Molisoles húmedos, profundos, pero con horizontes inferiores masivos
6	Suelos arcillosos, imperfectamente drenados y de alta fertilidad
7	Suelo arcilloso, moderadamente profundo y pobremente drenado
8	Suelos moderadamente profundos, con grietas, imperfectamente drenados y de fertilidad mediana a alta
9	Suelos superficiales, con grietas, pobremente drenados y de baja fertilidad
10	Suelo superficial limitado por horizontes compactados subsuperficiales

Nota: En la tabla se pueden observar los diferentes grupos de los suelos y sus respectivas características para seleccionar la zona agroecológica. Tomado de: https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_29/st_29.pdf.

Tabla 2.*Grupos de humedad y sus características.*

Grupo de humedad	Nombre	Características
C0	Déficit de humedad	Permeabilidad del suelo media a alta con presencia de sales. Se debe evitar los niveles freáticos (puntos en el que la presión del agua y la presión atmosférica son iguales) por los riesgos de salinización.
C1	Humedad normal	Áreas con humedad inferior a 200 mm/año y permeabilidad del suelo media alta. Es conveniente la nivelación y el aporque (técnica en la que se acumula tierra en el tallo de la planta para facilitar el riego e impedir el exceso de humedad.
C2	Humedad baja	Zonas con humedad entre 200 y 400 mm/año y permeabilidad media a alta y áreas con zonas de humedad normal con permeabilidad baja. Es necesario contar con campos nivelados y adecuados sistemas de drenaje y aporque
C3	Humedad media	Áreas con humedad entre 400 y 600 mm/año y suelos de permeabilidad media a alta con áreas de humedad baja y permeabilidad baja. Importante la nivelación precisa, canales colectores profundos, drenajes entubados. Es conveniente fertilizaciones nitrogenadas adicionales.
C4	Humedad alta	Áreas con humedad entre 400 a 600 mm/año con predominancia de suelos de permeabilidad baja y nula inclinación. Se debe asegurar una correcta nivelación, surcos cortos, sistemas de drenajes entubados, canales colectores abiertos y profundos. Es necesario aporque alto, siembra de variedades que toleren la humedad y aplicación adicional de nitrógeno.
C5	Humedad muy alta	Humedad superior a los 600 mm/año. Predominan los suelos arcillosos con baja a media permeabilidad y relieve plano. Y requiere adecuaciones similares a las del grupo C4.

Nota: En la tabla se pueden observar los grupos de humedad con sus respectivas características para seleccionar la zona agroecológica. Tomado de: https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_29/st_29.pdf.

Una vez conocido lo anterior, para este proyecto se seleccionaron las zonas agroecológicas más abundantes en el Valle geográfico del río Cauca para el cultivo de caña a partir del informe presentado por Cenicaña (2001), en este informe se escogieron las zonas 6C1 con 20.382 hectáreas

sembradas de caña (10.1% del total sembrado en el departamento), seguido de 2C0 con 18.951 ha (6.4%), 6C0 con 17.469 ha (8.6%) y 9C3 con 14.622 ha (7.2%) y 2C1 con 13.035 ha correspondiente al 6.5%. Las demás zonas agroecológicas, poseen una cantidad de hectáreas sembradas pequeñas que no superan el 4% del total de caña sembrada cada una.

En las zonas agroecológicas con más hectáreas sembradas de caña de azúcar, se identificaron ciertas variedades de caña de azúcar que cuentan con los mejores rendimientos de producción en toneladas por hectárea sembrada y con las mayores concentraciones de sacarosa. Las que más coincidieron en estas cinco zonas, fueron las variedades CC 84-56, CC 83-25, CC 84-75, CC 85-63, CC 85-68, CC 85-92, CC 94-5827 y Mex 64-1487. La sigla CC hace referencia a variedades desarrolladas por Cenicaña Colombia y Mex a variedades mexicanas. Sin desconocer que también existen plantaciones de variedades puertorriqueñas (PR), dominicanas (RD) y venezolanas (V), llegando a existir más de 30 variedades de caña (Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-, 2003).

Tabla 3.

Principales variedades de caña de azúcar cultivadas en el Valle del Cauca.

Variedad	Características morfológicas	Aspectos sanitarios
CC 83-25	Tallo de longitud mediana y recto, entrenudo cilíndrico de color verde amarillento. Hojas de longitud mediana, anchas y de color verde intenso sin buen deshoje natural.	Resistentes a enfermedades de carbón, roya y mosaico. Susceptible al raquitismo de las socas, posibilidad de padecer escaldadura de la hoja y alta incidencia al síndrome de la hoja amarilla. Susceptible al <i>Diatraea</i>
CC 84-56	Tallos de longitud larga y recto, entrenudo cilíndrico de color verde amarillento. Hoja de longitud mediana, erecta, angosta con mal deshoje natural.	Resiste enfermedades del carbón, roya y mosaico. Susceptible a la escaldadura de la hoja y al síndrome de la hoja amarilla. Poca afectación por <i>Diatraea</i>
CC 84-75	Tallos reclinados hacia el final del periodo vegetativo, entrenudo cilíndrico de color morado cuando está expuesto a la sombra y violeta verdoso cuando se expone al sol. Hoja	Resistente a las enfermedades de carbón, roya, mosaico, raquitismo de socas. Es susceptible a la escaldadura de las hojas y al síndrome de la hoja amarilla.

	larga y angosta de color verde intenso con deshoje muy bueno.	Susceptible al Diatraea y al pulgón amarillo.
CC 85-63	Tallo largo y recto, entrenudo verde amarillento todo el tiempo. Hoja larga y angosta con buen deshoje natural.	Resistente a las enfermedades de carbón, roya y raquitismo de las socas. Susceptible a la escaldadura de la hoja y al Diatraea.
CC 85-68	Tallo corto con leve zigzag, el entrenudo es cilíndrico de color amarillo verdoso. Las hojas son cortas, anchas y forman un arco.	Altamente resistente a las enfermedades de carbón, roya y mosaico. Es susceptible a padecer escaldadura de la hoja, síndrome de hoja amarilla y al pulgón amarillo.
CC 85-92	Tallo largo, curvado y ligeramente reclinado. Entrenudo cilíndrico de color morado. Hojas largas, angostas con la punta doblada con muy buen deshoje.	Alta resistencia al carbón, roya, mosaico, síndrome de hoja amarilla y al pulgón amarillo. Intermedia resistencia al raquitismo de las socas. Susceptible al Diatraea y a la escaldadura de la hoja.
CC 94-5827	Tallo de porte bajo, reclinado con un zigzag importante. Entrenudo cilíndrico de color verde-violeta. Hojas largas y anchas con buen deshoje.	Resiste enfermedades de carbón, roya y mosaico y es susceptible al pulgón amarillo.
Mex 64-1487	Tallo mediano, postrado y curvado. Entrenudo cilíndrico de color morado violáceo. Posee hojas largas y angostas de buen deshoje.	Resiste enfermedades de carbón, roya y mosaico. Susceptible a la escaldadura de las hojas, raquitismo de las socas y al Diatraea.

Nota: En la tabla se muestran las variedades de caña de azúcar sembradas en el Valle del Cauca con los mejores rendimientos de producción en toneladas por hectárea sembrada y con los mayores niveles de sacarosa. Adaptado de: https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_31/st_31.pdf.

3.4. Proceso de siembra, fertilización y riego

3.4.1. Requerimientos climáticos, edáficos y nutricionales

- ***Altitud***

Para el excelente crecimiento y desarrollo del cultivo, son recomendadas alturas entre los 550 y los 1600 msnm. Sin embargo, la caña de azúcar puede crecer a alturas de hasta 2000 msnm alcanzando un menor rendimiento de producción (Lopez Bustamante, 2015).

- ***Temperatura***

Las temperaturas que aumentan el rendimiento de la producción oscilan entre 21 y 30°C, rango en el cual se obtiene la mayor cantidad de miel y el mayor rendimiento en la producción de panela, a una menor temperatura, se aumenta el periodo de crecimiento de la planta y disminuye el rendimiento por hectárea (Lopez Bustamante, 2015). Adicionalmente, si existe una variación de temperatura entre el día y la noche de más de 8°C, se favorece la producción de sacarosa (Aguilar Herrera, 2001).

- ***Luminosidad***

Este es el factor más importante en la acumulación de azúcares en las hojas, la radiación producida por el sol, es directamente proporcional a la actividad fotosintética y a la producción de caña de azúcar (Aguilar Herrera, 2001), por esto, entre mayor cantidad de luz solar llegue al cultivo, mayor será la productividad y rendimiento del mismo. Es recomendable que, para aumentar la productividad y la calidad de la caña, la luz solar que llega al cultivo se mantenga entre las 6 y 9 horas diarias (Lopez Bustamante, 2015).

- ***Precipitación***

Para lograr una optimización en la productividad del cultivo y alta cantidad de toneladas de caña por hectárea, es necesario establecer la siembra en zonas donde las precipitaciones anuales se encuentren entre 1500 y 1700 milímetros. Específicamente, se necesitan entre 8 y 9 mm de agua en épocas de verano y aproximadamente 3 mm en tiempos más fríos (Lopez Bustamante, 2015).

- ***Vientos***

Se recomiendan zonas en donde los vientos no sean demasiado secos y cálidos, ya que estos producen un aumento en el requerimiento de agua por parte de la planta y secan el aire y el suelo (Lopez Bustamante, 2015). Vientos demasiado fuertes pueden causar daños en el cultivo, afectando su sistema radicular, parte fundamental de la caña que permite la asimilación de los nutrientes y le da estabilidad a la planta (Alfaro & Ocampo, 2015), y el sistema foliar, que hace referencia a los sistemas dérmico, fundamental y vascular presente en las hojas y el tallo de las plantas (Chuncho, Chuncho, & Aguirre, 2019).

- ***Requerimientos edáficos***

El mejor tipo de suelo para el cultivo y cosecha de caña de azúcar, son los suelos con características franco arcillosos y arcillo limosos con un buen drenaje (Aguilar Herrera, 2001). Estos suelos tienen texturas medias que varían el porcentaje de arena, limo y arcilla y son los más adecuados para cultivos por sus características fisicoquímicas (Consumer, 2005). En cuanto al pH de los suelos, es recomendable que este se mantenga cerca a la neutralidad entre 6.0 y 8.0 (Lopez Bustamante, 2015).

- ***Requerimientos nutricionales***

La caña de azúcar es una planta que extrae una gran cantidad de nutrientes del suelo y requiere una formidable dosis de fertilización, esto es debido a la gran producción de biomasa. La fertilización nitrogenada es la más adecuada para el cultivo y muchas veces se requieren trazas de

fosforo y potasio (Velasco-Velasco, 2018). Por esto, es necesario realizar un estudio de suelos que especifique los requerimientos nutricionales para el óptimo crecimiento de la caña de azúcar.

3.4.2. Adecuación de suelos

La caña de azúcar al ser un cultivo que se va a mantener durante un tiempo considerable, requiere de una excelente adecuación del suelo que permitan crear las mejores condiciones que faciliten un ambiente óptimo de germinación (Garcés Eder S.A.S., 2019) y crecimiento de la planta para producir los mejores rendimientos de caña por hectárea sembrada.

Según la guía técnica “*Manejo integrado del cultivo de caña de azúcar*” realizado por la Universidad Nacional Agraria La Molina en Perú en el 2011 y la “*Guía para labores del cultivo de caña de azúcar en la empresa Garcés Eder S.A.S.*” del 2019, la adecuación y preparación del suelo requiere de las siguientes actividades:

- ***Gradeo***

Con este proceso se eliminan las malas hierbas que consumen la humedad mediante maquinaria pesada. Se consigue una porosidad en el suelo que beneficia la aireación en el mismo y se nivela el terreno (Dolores & Aldana Diestra, 2011).

- ***Subsolación***

Se abre y se descompacta el subsuelo hasta una profundidad de aproximadamente 60 centímetros con el fin de asegurar un adecuado flujo de aire y agua a través del suelo, con esto, se consigue un mejor crecimiento de las raíces de la caña (Dolores & Aldana Diestra, 2011).

- ***Rastroarada***

Busca eliminar grandes superficies de tierra compacta que quedaron después de la subsolación y permite mezclar el suelo a una profundidad entre 30 y 40 cm para mejorar el contacto entre la semilla y la tierra (Garcés Eder S.A.S., 2019).

- **Surcado**

Una vez el suelo ha sido suelto y descompactado, se deben realizar los agujeros donde se va a sembrar la semilla. Es necesario realizar los surcos de manera uniforme para facilitar las labores de mecanizado a la hora de la cosecha (Dolores & Aldana Diestra, 2011).

3.4.3. Siembra

El proceso de siembra hace referencia a la actividad de situar las semillas de la caña de azúcar en los surcos abiertos en el suelo por la maquinaria para su posterior germinación y crecimiento (Centro guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar - CENGICAÑA-, 2017). Cabe resaltar, que la caña de azúcar no produce una semilla como muchas otras plantas, la expansión del cultivo se realiza mediante trozos de caña que son conocidos como semilla de procedencia vegetativa o esquejes (Lopez Bustamante, 2015). Para este proceso, se debe seleccionar la variedad de caña de acuerdo a las características agrícolas y de resistencia a plagas y enfermedades que presente la zona de cultivo.

Dependiendo de la tecnología utilizada y la topografía de la zona, existen dos alternativas para los sistemas de siembra, a chorrillo, si el terreno es plano o posee una pendiente poco pronunciada y, siembra mateada, si el cultivo se realiza en laderas (Lopez Bustamante, 2015).

Para el sistema de siembra en chorrillo, los esquejes se colocan en los surcos uno seguido de otro. Dependiendo de la calidad de la semilla, puede ser sencilla o doble. La primera opción, se usa cuando son semillas de alta calidad y se coloca una hilera de semillas en los surcos (Aguilar Herrera, 2001). En la segunda opción, las semillas son de una calidad menor, y consiste en ubicar dos filas continuas de esquejes para posteriormente, cubrir con una capa de tierra (Lopez Bustamante, 2015).

Continuando con los métodos de cultivo, la siembra mateada, consiste en sembrar la caña en sectores aislados a una distancia de 65 centímetros en promedio y la caña se coloca con una inclinación entre 45 y 55° (Lopez Bustamante, 2015). Este tipo de siembra, es más utilizado por pequeños cultivadores que no tienen la capacidad económica de explotar la zona con fines de una gran producción (Manrique Estupiñan, 2010).

3.4.4. Fertilización

Dependiendo de la edad de la caña, esta necesita diferentes requerimientos nutricionales que deben ser absorbidos por el sistema de raíces para el correcto crecimiento del cultivo ya que la caña absorbe, todos los años, una gran cantidad de nutrientes del suelo que deben ser reincorporados nuevamente (Aguilar Herrera, 2001)

Los macronutrientes esenciales para el óptimo crecimiento de caña de azúcar, son el **nitrógeno**, cuya fuente puede provenir de la urea, sulfato de amonio y fosfato di-amónico, **fósforo**, que se puede obtener de rocas fosfóricas, fosfato di-amónico y superfosfato triple y el **potasio**, que tiene como fuente el cloruro de potasio, el sulfato de potasio y las vinazas (Garcés Eder S.A.S., 2019).

Adicionalmente, es posible realizar la fertilización del cultivo a partir de la cachaza generada en la molienda, así como procesos de compostaje y lombricomposta (Aguilar Herrera, 2001). También es posible usando fertilizantes orgánicos provenientes de las grandes cantidades de biomasa que genera el mismo cultivo, si se es utilizado el tipo de cosecha verde de la caña, con esta práctica, se puede disminuir el consumo de fertilizantes químicos aplicados en los suelos, por lo que se mejora la calidad de estos de una manera natural y sostenible.

La biomasa producida por el cultivo de caña, se puede usar como abono orgánico ya que posee contenidos de nitrógeno superiores a 1kg por tonelada de residuo, además cuenta con trazas de fosforo, potasio y calcio, gracias a esto aumenta la calidad del suelo mejorando las características fisicoquímicas, estructura, pH y promueve la actividad microbiológica del mismo (Secretaría de agricultura y desarrollo rural -SAGARPA-, 2016).

3.4.5. Riego

Según estudios de la empresa noruega de fertilizantes Yara Internacional (2020), la demanda de agua para cultivos de caña de azúcar y caña panelera, oscila entre los 1.500 y los 2.500 milímetros de agua por día por hectárea dependiendo de la zona y el tipo de cultivo llegando a necesitar valores máximos durante el periodo de crecimiento. Para el caso colombiano y específicamente en el valle geográfico del Rio Cauca entre los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y Cauca, los requerimientos hídricos varían entre los 10.000 y los

14.000 metros cúbicos por hectárea para un ciclo de cultivo de 13 meses (Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-, 2018).

Para cumplir con estos requerimientos, además de las precipitaciones anuales en la región, se deben instalar diversos sistemas de riego para garantizar la óptima gestación de la semilla de caña y a lo largo de todo el ciclo de crecimiento de la planta hasta la cosecha.

Los dos sistemas de riego más utilizados, son el riego por gravedad o riego de superficie y el riego por aspersión.

En el riego por gravedad, la distribución del recurso hídrico se da por medio de canales o surcos que están en el área de cultivo, es de instalación simple y de fácil mantenimiento, sin embargo, puede generar mayores consumos de agua y tener menor eficiencia que los riegos por aspersión (Agroware, 2016).

Figura 17.

Sistema de riego por gravedad.



Nota: En la imagen se observa un sistema de riego por gravedad que utiliza tuberías con ventanas que mejoran la eficiencia de riego. Tomado de red.uao.edu.co

En el riego por aspersión, se aplica el recurso hídrico en una forma bastante parecida a como lo hace la lluvia natural. Este método, permite una mejor eficiencia de riego que genera menores desperdicios de agua y los sistemas pueden ser instalados en cualquier topografía (Agroware, 2016). Sin embargo, es necesaria una mayor inversión debido a que se posee elevados costos de mantenimiento y mayor uso de maquinaria (Garcés Eder S.A.S., 2019).

Figura 19.

Sistema de riego por aspersión.



Nota: En la imagen se observa un sistema de riego de caña de azúcar por aspersión.

Tomado de: cenicana.org

De igual forma, si se tiene en cuenta que la cosecha cruda de caña genera una gran cantidad de residuos, se podría evaluar la posibilidad de disminuir los sistemas de riego no naturales o regular la cantidad de agua utilizada, esto debido a que los residuos retienen humedad funcionando como una esponja y evitan los encharcamientos (Secretaría de agricultura y desarrollo rural -SAGARPA-, 2016). A partir del agua aportada por la biomasa húmeda, se han logrado mayores rendimientos con menor utilización de recursos hídricos.

Así mismo, la gran cantidad de residuos generados por la cosecha cruda, deben ser triturados para facilitar las nuevas labores de cultivo, lo que demanda el adecuamiento de sistemas de riego acordes a la distancia de los surcos. La trituración de estos residuos y su uso posterior en el suelo, establecen una excelente elección para su manejo en épocas de bastante sequía (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006).

3.5. Operaciones de cosecha

Después del paso de entre 12 a 16 meses aproximadamente desde su siembra y una vez culminado el proceso de maduración de la caña, en el cual ocurre el proceso de acumulación de

sacarosa, se debe realizar la cosecha de la planta a partir del corte la misma. Las operaciones de cosecha de caña de azúcar, pueden realizarse de forma manual o mecanizada según sea la capacidad de producción del cultivador y adicionalmente, ambas formas pueden llevarse a cabo de forma cruda o después de realizar la quema del cañaduzal.

Como primera medida, se debe realizar una labor de precosecha en el cual se determina el grado de madurez de la caña de azúcar a partir de muestreos en la zona de cultivo para posteriormente aplicar madurantes que detienen el crecimiento de la planta y aumentan la concentración de azúcares (Garcés Eder S.A.S., 2019).

El tiempo apropiado para la cosecha se determina un brixómetro que se encarga de realizar el análisis del jugo de caña, este análisis se realiza en tres partes diferentes de la caña: la punta, el medio y la base. La caña está en el mejor punto para cosechar cuando la diferencia de grados brix entre estas tres partes antes mencionadas es mínima y alcanza un valor igual o superior a 18 grados brix (Duarte Álvarez & Gonzales Villalba, 2019).

Una vez culminada la maduración, se realiza el corte de la caña de azúcar, para esto, se practican dos métodos principales de cosecha; el corte manual y la cosecha mecánica, ambos métodos se pueden realizar por cosecha cruda o quema controlada, como se había mencionado anteriormente. Pero primero, es necesario explicar la diferencia entre la cosecha con quema y la cosecha cruda o verde.

- ***Quema controlada***

Es un método de cosecha que se realiza previa al corte, con esta se busca eliminar residuos ocasionados como el follaje seco y animales que puedan afectar el proceso de corte, además de facilitar el acceso a los cortadores manuales o mecánicos (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013). Para realizar la quema, se utilizan quemadores manuales o tractores con armados con lanza llamas que permiten descartar residuos de la caña que no aumentan el contenido de sacarosa y que hacen más difícil el corte tanto manual como mecánico (Garcés Eder S.A.S., 2019).

- ***Cosecha cruda***

Es un proceso relativamente sencillo en el que las cosechadoras mecanizadas o el agricultor con su machete, entran al cultivo y se procede directamente a realizar el corte para posteriormente juntar la caña y realizar el alza en carretillas (Benítez Gómez, 2016).

Para este tipo de proceso, los rendimientos son de hasta 2.5 toneladas por jornada por cortador si el tipo de cosecha es manual. Para el caso de la cosecha mecánica, los rendimientos llegan a ser de hasta 40 toneladas por hora (Ortiz, Salgado, & Rosas, 2012). Esta alternativa de cosecha, requiere de personal altamente capacitado con el fin de reducir accidentes laborales, disminuir costos y maximizar los rendimientos.

Adicionalmente, la cosecha cruda permite entregar caña mas fresca a los ingenios azucareros, mejora el proceso de molienda, genera menores costos, protege al medio ambiente y genera una cantidad de residuos sólidos que por sus características fisicoquímicas pueden ser aprovechables para la producción fertilizantes y cogeneración de energía.

- ***Cosecha manual***

Es el sistema tradicional y consiste en cortar el tallo de la caña de azúcar con la ayuda de herramientas especializadas manuales como machetes. El tipo de corte es basal y posterior a este, se amontona la caña en carretas para luego ser transportadas al ingenio. El uso de esta técnica, se ha venido disminuyendo en grandes cañicultores debido a la alta demanda de mano de obra y a la necesidad de depender de mayores para una cosecha completa (Benítez Gómez, 2016).

La principal ventaja del corte manual de caña, radica en que el corte es a ras del suelo en donde está la mayor cantidad de sacarosa y además, se facilita la selección de la materia prima eliminando tallos secos, dañados y las malezas.

El corte se realiza mediante una herramienta específica para este trabajo denominada machete australiano, con este instrumento se presentan menores riesgos de accidentalidad para los corteros ya que el área de la hoja es menor al de los machetes tradicionales. Adicionalmente, este machete permite un corte a ras del suelo y por su poco peso, es adecuado para cortar más de un tallo al mismo tiempo.

Se estima que el corte manual de caña de azúcar aporta el 35% de empleos directos del total ofrecidos por la industria azucarera.

- ***Cosecha mecanizada***

Es el tipo de cosecha más común ya que ofrece menores costos de operación y aumenta el rendimiento de la cosecha (Garcés Eder S.A.S., 2019), para el corte se utiliza maquinaria que corta la caña al ras del suelo con platos dotados de cuchillas que giran a altas revoluciones (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013). Los cosechadores de última generación, trabajan en condiciones de suelos nivelados y tienen todo el proceso tecnificado por lo que es necesario que exista personal altamente calificado que permita disminuir costos operativos y aumentar la producción (Benítez Gómez, 2016).

Posterior a la cosecha, la caña cortada pasa por un proceso de limpieza para eliminar impurezas y residuos, y es enviada a los ingenios azucareros para la producción de azúcar, bioetanol, panela, etc.

Con este capítulo, fue posible evidenciar la importancia del cultivo de caña de azúcar desde sus primeros cultivos y su posterior distribución por todo el mundo, llegando al continente americano gracias a los conquistadores españoles. Esta importancia se mostró no solo a nivel internacional sino también en Colombia, demostrando la contribución de la cadena de valor de la caña de azúcar en el desarrollo económico de un país.

De igual forma, fue importante mencionar que la caña posee una gran cantidad de variedades por lo que fue necesario discriminar las que principalmente son cultivadas en el departamento vallecaucano para posteriormente, explicar todo el proceso de cultivo, adecuación de suelos, fertilización y riego y como varían de una alternativa de cosecha a otra.

4. CAPITULO II: IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR

Las quemas agrícolas son prácticas que se han venido realizando desde hace miles de años por nuestros ancestros que cultivaban las tierras. Esta práctica se intensificó con la conquista española aumentando las consecuencias ambientales negativas que fueron incrementando paulatinamente con el crecimiento de las hectáreas sembradas de caña de azúcar.

Estos impactos negativos que ocasiona la quema de caña de azúcar han generado grandes preocupaciones por parte de los gobiernos, debido a esto se han implementado políticas ambientales que regulan estas prácticas sin llegar a eliminarlas, por lo que las quemas continúan haciéndose, ocasionando dudas en el gobierno y la legislación que se ha propuesto.

Debido a esto, es necesario realizar una evaluación de los impactos ocasionados por la quema de caña de azúcar y como esta puede afectar bien sea de forma positiva o negativa los ámbitos ambientales, sociales y económicos.

4.1. Descripción de la cosecha de caña con quema - proceso tradicional

En la mayoría de los países productores de caña de azúcar, la cosecha se realiza a partir de la quema previa de las plantaciones con la que se facilitan las labores de corte sea de forma manual o mecanizada. La quema es la aplicación controlada y previamente planeada del fuego en el cultivo (Alvarado Rodríguez, 2007).

Estas quemas agrícolas, se realizan por muchos motivos que han sido justificados con el pasar del tiempo, entre estos motivos y según Chaves y Bermúdez (2006), se destacan los siguientes:

Facilita el corte de los tallos, debido a la reducción del material vegetal residual; agiliza la cosecha, puesto que se requiere menor esfuerzo físico o de la maquinaria; eliminar la materia extraña que puede dificultar la cosecha; mejora la calidad física de la materia prima al tener tallos sin material vegetal; reduce los accidentes laborales al mejorar la visibilidad de los cortadores si se trata de cosecha manual; todo lo anterior, traducido en una reducción considerable en los costos de producción.

Así mismo, como se muestran una serie de ventajas sobre la cosecha de caña de azúcar, este tipo de prácticas poco sostenibles, también presentan una gran cantidad de desventajas que pueden llegar a afectar ámbitos ambientales, económicos y sociales. Esto ha llevado a que varios países cultivadores de caña de azúcar se vean obligados a pensar en otras alternativas de cosecha o llegar a legislar las quemas para reducirlas como en el caso colombiano, en el que las quemas continúan ocurriendo, con la diferencia que se han reducido las horas diarias disponibles para realizar esta práctica (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca -CVC-, 2020). Sin embargo, las quemas se siguen presentando por lo que las afectaciones ambientales y sociales se mantienen en la región.

Entre las principales desventajas, se destacan efectos negativos en la biodiversidad y el ecosistema, emisión de gases de efecto invernadero, disminución en la calidad del suelo, generación de trastornos de salud, afecta el turismo y los paisajes, entre otros.

4.2. Impacto ambiental, económico y social de la quema de caña

4.2.1. Impacto ambiental

En temas ambientales, el principal perjudicado por la quema de caña es el aire, seguido de la calidad de los suelos, sobreexplotación del recurso hídrico y problemas causados directamente por los campos de cultivo asociados a insectos, malezas y enfermedades.

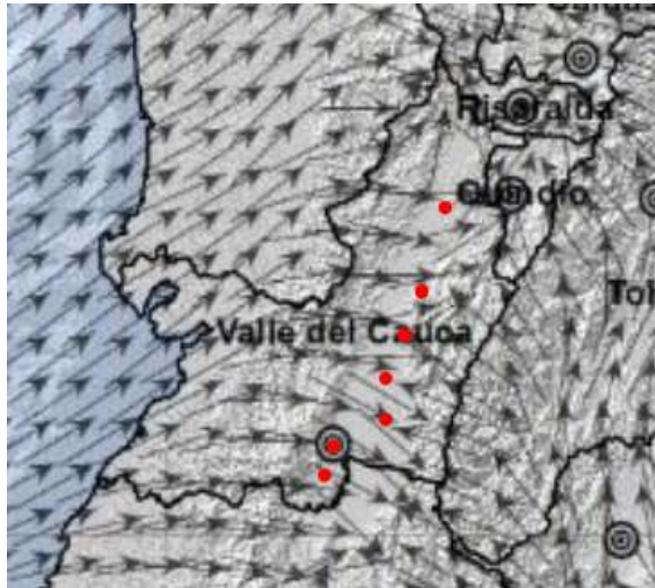
- ***Calidad del aire***

Concretamente, la calidad del aire se ve afectada por las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global, material particulado y cenizas, que quedan suspendidos en el aire cuando los cultivos de caña son quemados para su cosecha entre los 12 y 18 meses después de su siembra (Instituto nacional de tecnología agropecuaria -INTA-, 2013). Sin embargo, gracias a las condiciones climáticas de la región vallecaucana, la caña de azúcar se puede cultivar y cosechar durante todos los meses del año (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -ASOCAÑA-, 2021) por lo que las quemas se ven constantemente en la región. Debido a la dirección de los vientos de la región, estos contaminantes terminan en poblaciones

cercanas a los cañaduzales como Palmira, Jamundí, Candelaria, Zarzal y en menor medida llega a la capital del departamento Santiago de Cali.

Figura 22.

Dirección de los vientos en el departamento del Valle.

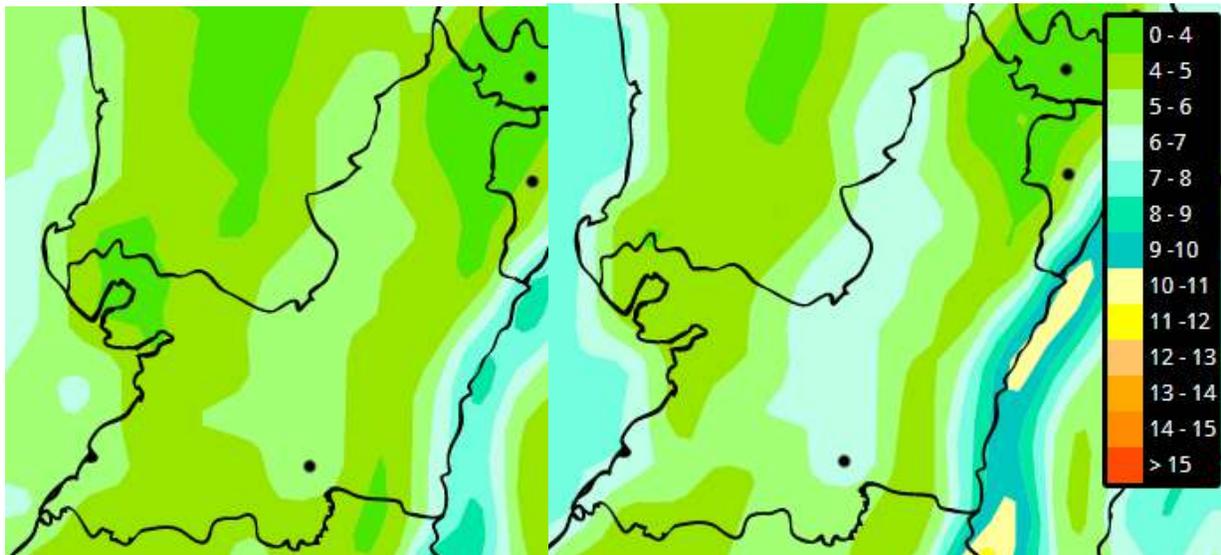


Nota: En la imagen se observa la dirección de los vientos en el departamento del Valle y los puntos rojos hacen referencia a los principales centros urbanos afectados por la quema de caña, de arriba a abajo: Zarzal, Tuluá, Buga, Guacarí, Palmira, Cali y Jamundí. Adaptado de: atlas.ideam.gov.co

Así mismo, la velocidad promedio anual de los vientos permite que las emisiones contaminantes se distribuyan por la región hasta llegar a los centros urbanos del departamento, alcanzando incluso zonas en los departamentos adyacentes como Cauca y Tolima debido a la dirección de los vientos. Según datos del IDEAM, para una altura de 10 metros, es decir sobre la superficie, los vientos alcanzaron una velocidad promedio de hasta 4 m/s y para una altura de 100 metros, velocidades promedio de hasta 6 m/s.

Figura 25.

Velocidad promedio anual de los vientos en el Valle del Cauca.

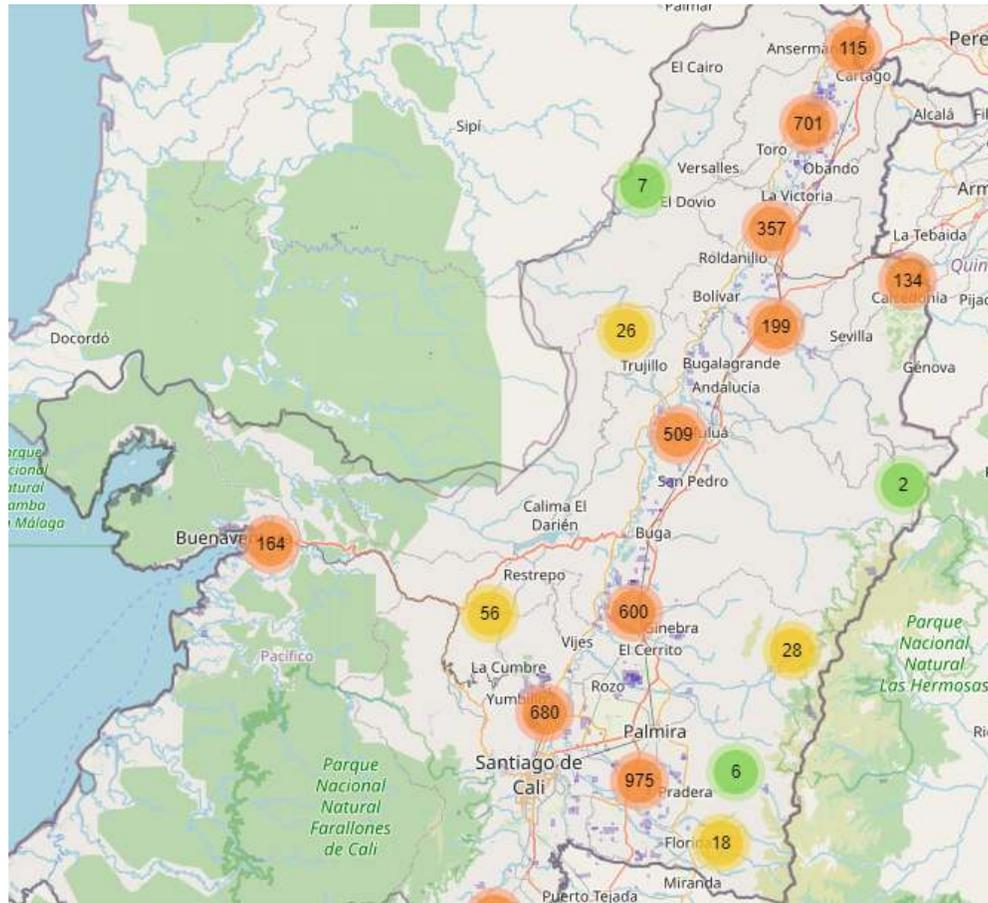


Nota: En la imagen se observa la velocidad promedio anual de los vientos en el Valle del Cauca. En la imagen izquierda se observa la velocidad a 10 metros del suelo y en la de la derecha los vientos a 100 metros de altura. El punto negro en ambas imágenes, hace referencia a la capital del departamento, Cali. Tomado de: <http://atlas.ideam.gov.co/>

De igual forma, el IDEAM, con imágenes satelitales aportadas por el instrumento MODIS (espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada), han reportado aproximadamente 4.500 puntos de calor asociados a incendios y quemas entre junio de 2016 a julio de 2021, que coinciden con las zonas en las que son sembradas las diferentes variedades de caña de azúcar en el departamento del Valle.

Figura 28.

Puntos de calor reportados por el IDEAM y MODIS en el Valle del Cauca.



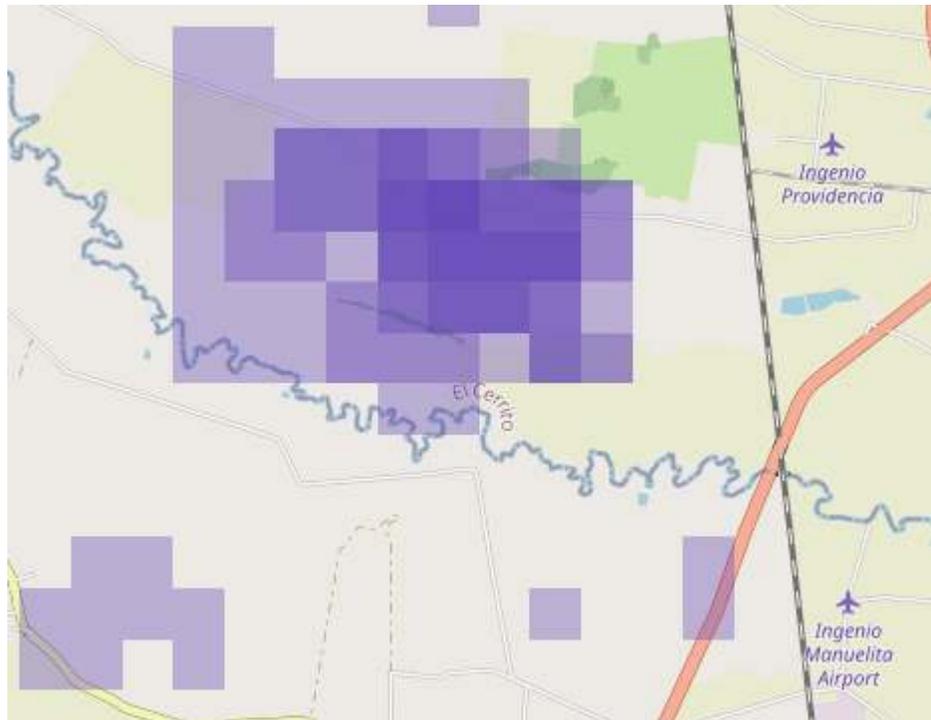
Nota: En la imagen se observan los puntos de calor reportados por el IDEAM y el instrumento MODIS en el departamento del Valle del Cauca para un intervalo de tiempo entre junio del 2016 y julio de 2021. Los círculos representan los puntos de calor y las manchas de color violeta hacen referencia al área quemada. Tomado de: <http://puntosdecalor.ideam.gov.co/>

Adicionalmente, el IDEAM y MODIS, reportan un gran número de áreas quemadas en esta misma región que en su mayoría coinciden de igual forma con las zonas en las que se cultiva caña de azúcar en todo el valle geográfico del río Cauca desde Cartago al norte del departamento, hasta Candelaria, Florida y Jamundí en el sur. Esta herramienta, muestra datos desde el mes de enero del año 2010.

Para confirmar lo anterior, las imágenes satelitales permiten ubicarse en los ingenios azucareros más grandes de la región, el Ingenio Providencia y el Ingenio Manuelita, posicionados entre Rozo, El Cerrito, Amaime y Palmira, y los Ingenios Mayagüez y Riopaila Castilla ubicados entre los municipios de Candelaria, Pradera y Florida, afirmando que coinciden las áreas quemadas y los puntos de calor con las plantaciones de caña de azúcar.

Figura 31.

Áreas quemadas cercanas a los ingenios Providencia y Manuelita.



Nota: La imagen muestra las áreas quemadas que coinciden con la ubicación de los ingenios Providencia y Manuelita. Datos tomados desde enero de 2010 a abril de 2021. Tomado de: <http://puntosdecalor.ideam.gov.co/>

En la Figura 11, el área quemada es de aproximadamente 26 km² lo que es equivalente a 2.592,58 hectáreas de cultivo. Una superficie supremamente grande si tenemos en cuenta que el área urbana del municipio de El Cerrito es aproximadamente 18.68 km² y Palmira 19.34 km².

Figura 34.

Áreas quemadas cercanas a los ingenios Mayagüez y Riopaila Castilla.



Nota: La imagen muestra las áreas quemadas que coinciden con la ubicación de los ingenios Mayagüez y Riopaila Castilla. Datos tomados desde enero de 2010 a abril de 2021. Tomado de: <http://puntosdecalor.ideam.gov.co/>

En esta Figura, se aprecia un área quemada de aproximadamente 10 kilómetros cuadrados cercana a los ingenios Mayagüez y Castilla, que son cerca de 1.000 hectáreas sembradas. Solo teniendo en cuenta áreas cercanas a estos cuatro ingenios azucareros, se tienen aproximadamente 3.592.58 hectáreas que se incrementan de forma considerable si tenemos en cuenta cada región de la zona.

De acuerdo a lo anterior, las principales emisiones causadas por la quema de caña son los óxidos de carbono (dióxido y monóxido), óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno (NOX), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y material particulado PM10 y PM2.5, este último, también conocido como el carbono negro (Jauregui Londoño & Osorio Tapias, 2016). Así mismo,

las cenizas que son producidas, tienen una alta concentración de potasio que en presencia de agua se vuelve una sustancia altamente corrosiva sobre edificaciones y superficies metálicas (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013).

Según la Comisión para la Cooperación Ambiental (2014), la quema de biomasa en el que se incluye madera, hojas, arboles, pastizales y residuos agrícolas, contribuyen con las emisiones a escala mundial con el 40% de dióxido de carbono, 32% de monóxido de carbono, 20% de material particulado y 50% de los HAP, sustancias que tienen una incidencia alta en la salud humana.

El dióxido de carbono es un gas inerte en condiciones normales que se produce por procesos de combustión (Medina Valtierra, 2010). Es el gas de efecto invernadero (GEI) que más contribuye al calentamiento global debido a las grandes cantidades emitidas por diferentes actividades naturales y antropogénicas como lo es la práctica de caña de azúcar (Benavides & León, 2007). Adicionalmente, el cultivo de la caña de azúcar obedece a prácticas agrícolas intensivas y al tratarse de un monocultivo, se cortan considerables hectáreas de árboles que actúan como “*filtros naturales*” que transforman el dióxido de carbono en oxígeno a partir de la fotosíntesis.

El monóxido de carbono, afecta esencialmente la salud humana al disminuir considerablemente la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, sin embargo, ambientalmente contribuye a la formación de gases de efecto invernadero a partir de una lenta reacción de oxidación que ocurre en la atmósfera, en el que se forma dióxido de carbono, previamente mencionado y ozono troposférico (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020).

Los óxidos de azufre (SOX) son un grupo de gases compuestos por el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃). El dióxido de azufre, es un gas incoloro con un olor penetrante que se comienza a percibir a bajas concentraciones, en la atmosfera el SO₂ reacciona con el con el vapor de agua existente en el aire para formar el SO₃, siendo esta última molécula, el precursor de la lluvia acida que se forma a partir de reacciones fotoquímicas o catalíticas que producen ácido sulfúrico (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales -IDEAM-, 2020). Al combinarse la lluvia con el ácido formado, esta alcanza valores de pH entre 1 y 5 y las precipitaciones caen en zonas cercanas, afectando la salud humana, las edificaciones, la vegetación, la fauna y los recursos hídricos.

Los óxidos de nitrógeno al igual que los de azufre, son gases precursores de la lluvia acida al formar ácido nítrico en la atmosfera. Los principales NOX, son el óxido nítrico (NO) y el dióxido

de nitrógeno (NO₂). Adicionalmente, reacciona con la luz solar para formar ozono troposférico por medio de procesos fotoquímicos complejos (Comission for environmental cooperation-CEC-, 2009).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) o hidrocarburos poli-aromáticos, son un grupo de mas de 100 compuestos químicos formados por la combustión incompleta de combustibles, así como sustancias orgánicas como la madera, plantas y basura (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades -ATSDR-, 2021), los más conocidos son el benceno, el naftaleno, el antraceno, el fenantreno y el bezo[a]pireno. Se trata de compuestos orgánicos persistentes por lo que se mantienen en el ambiente por mucho tiempo afectando el aire, los suelos y el agua, y se tiene evidencia de que muchos de estos compuestos son cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos (Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia -Asocaña-, 2013).

En lo referente al material particulado (PM), es un polvo fino compuesto de una mezcla de solidos de tamaño muy pequeño, como partículas de sílice, elementos químicos producidos en la combustión, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales en suspensión, entre otros, que se encuentran suspendidos en el aire y son fáciles de respirar (Ramirez, 2021). Existen tres tipos de material particulado: PM 10, PM 2.5 y PM 1, el número hace referencia al diámetro de la partícula en micrómetros. Entre los componentes del material particulado, existe el carbono negro, un contaminante climático de vida corta que tiene un potencial de calentamiento global entre 460 y 1.500 veces más que el dióxido de carbono además de ser tan fino, que es capaz de entrar al torrente sanguíneo aumentando el riesgo de padecer enfermedades cardiacas, pulmonares y cáncer (Organización de las Naciones Unidas -ONU-, 2020).

Adicionalmente, la quema de caña de azúcar puede llegar a ocasionar la emisión de dioxinas, que son compuestos organoclorados pertenecientes a los contaminantes ambientales persistentes. Son originadas a partir de la combustión de residuos agrícolas, concentración de cloro y la presencia de ciertos plaguicidas clorados que son asimilados por estos residuos (Comisión para la cooperación ambiental -CCA-, 2014).

Estas dioxinas, al ser compuestos persistentes, permanecen en el medio ambiente durante largo tiempo y pueden llegar a recorrer amplias distancias por lo que llegan a acumularse en el tejido adiposo de animales y seres humanos. Puede llegar a causar baja concentración de esperma en los hombres, cambios en el nivel hormonal, efectos neurológicos, bajos niveles de testosterona,

diabetes, daños al sistema inmunitario y diferentes tipos de cáncer (Comisión para la cooperación ambiental -CCA-, 2014).

Debido a la gran cantidad y a la peligrosidad de las emisiones contaminantes generadas por la quema de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca, desde el año de 1991, diferentes asociaciones y estudios universitarios, sugirieron la instalación de una red de estaciones meteorológicas en la región con el fin de controlar los niveles de emisiones generadas por esta práctica (Dávalos , 2007).

Al día de hoy y según la información suministrada por el Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire -SISAIRE- del IDEAM, el departamento del Valle, cuenta con 26 estaciones de monitoreo ambiental ubicadas en los municipios de Buga, Cali, Candelaria, Jamundí, Palmira, Tuluá y Yumbo, capaces de realizar mediciones de PM 10, PM 2.5, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono troposférico y monóxido de carbono.

Pese a los controles realizados por los sistemas de vigilancia de calidad del aire -SVCA- esparcidos por el departamento vallecaucano y los datos suministrados por SISAIRE, la Corporación Autónoma Regional del Valle -CVC-, solo reporta 10 estaciones de monitoreo de calidad del aire en funcionamiento cercanos a los municipios antes mencionados y los cultivos de caña de azúcar.

Figura 37.

Estaciones de monitoreo de calidad del aire en el departamento del Valle.



Nota: En la imagen se observan las estaciones de calidad del aire activas en el departamento del Valle en las zonas de cultivo de caña de azúcar cercanas a los principales centros urbanos. Tomado de: geo.cvc.gov.co

Según un artículo publicado por el diario caleño, El País (2017), uno de los centros urbanos más afectados por esta práctica es el municipio de Palmira, con una población de 312.000 habitantes y ubicado a 30 kilómetros al este de la ciudad de Cali. Según los datos de SISAIRE proporcionados por la estación Móvil Palmira que mide dióxido de azufre y material particulado PM10, la estación reportó para los últimos años concentraciones máximas de 4.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.0018 ppm) de SO_2 y de 40.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10. La estación fija de Palmira, arrojó concentraciones máximas de 42.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5 y 48.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.0260 ppm) de NO_2 .

Según estos datos y a los rangos de índice de calidad del aire, la concentración de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y material particulado PM 10 en el municipio de Palmira, suponen un riesgo bajo para la salud humana. Caso contrario si tenemos en cuenta el material particulado PM 2.5.

Para el PM 2.5 se calculó el índice de calidad del aire ICA dejando un resultado de 114.28 puntos, rango comprendido entre 101 y 150, que según la Resolución 2254 del 2017, lo cataloga como dañina a los grupos sensibles, es decir, personas con enfermedad cardiaca o pulmonar, adultos mayores y niños, lo que corrobora la investigación realizada por Dávalos (2007) en la que se concluye que este grupo de personas se ven más afectados en su salud por la calidad del aire del municipio.

El ICA para el PM 2.5 se calculó a partir de la siguiente formula:

$$ICA_p = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} x (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Tomado de: minambiente.gov.co

En donde, ICA_p es el índice de calidad del aire para el contaminante, C_p es la concentración media del contaminante, PC_{alto} el punto de corte mayor o igual a C_p , PC_{bajo} el punto de corte menor o igual a C_p , I_{alto} valor del ICA correspondiente al PC_{alto} e I_{bajo} valor del ICA correspondiente al PC_{bajo} .

$$ICA_p = \frac{150 - 101}{55 - 38} x (42.61 - 38) + 101$$

$$ICA_p = 114.28$$

Los puntos de corte para el cálculo del índice de calidad del aire, se tomaron del Artículo 20. Puntos de corte del ICA de la Resolución 2254 del 2017.

Para el mes de febrero del año 2020, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente -DAGMA-, reportó que las SVCA de la ciudad de Santiago de Cali, registro niveles de material particulado PM 2.5, cuya concentración sobrepasó el límite normativo, alcanzando niveles que lo hacen dañino para grupos sensibles (Caracol Radio, 2020), lo que concuerda con el resultado del índice de calidad del aire -ICA- calculado para el municipio de Palmira teniendo en cuenta la cercanía de estos dos centros poblacionales.

- ***Calidad de suelos y uso de recurso hídrico***

En cuanto al tema del agua, esta se ve afectada específicamente durante el cultivo, ya que el agua de riego proviene generalmente de ríos, quebradas y aguas subterráneas sobreexplotando el recurso (Urbano Silva, 2014). Así mismo, puede llegar a afectar negativamente fuentes de agua

cercanas debido a las altas concentraciones de fertilizantes químicos utilizados lo que puede llegar a causar eutrofización de estas.

Con respecto al suelo, debido a que la quema sobrepasa los 500°C, la carga microbiológica del suelo es eliminada, por lo que el suelo va perdiendo su fertilidad con cada quema (Vilaboa Arroniz & Barroso, 2013). Así mismo, debido a las altas temperaturas el suelo pierde nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo perdiendo la capacidad de renovarlos y erosionando el suelo.

- ***Malezas, plagas y enfermedades***

Según documentos de Cenicaña, la maleza es considerada como “*toda planta que crece fuera de su sitio e invade otro cultivo en el cual causa más perjuicio que beneficio*” (Gómez, 1995). Estas, son capaces de crecer y desarrollarse en una gran variedad de condiciones por lo que la presencia de malezas en los cultivos de caña, puede causar pérdidas de hasta un 60% en el rendimiento (Aguilar Herrera, 2001). De lo anterior, la importancia de un correcto control de estas, que debe ser priorizado para las primeras etapas del crecimiento de la caña.

Las especies de maleza más frecuentes en el cultivo de caña de azúcar, son gramíneas de hoja ancha y ciperáceas de hoja estrecha (Garcés Eder S.A.S., 2019). Para el control y eliminación de estas malezas, se utilizan tres alternativas. La primera, un control cultural, en el que el cultivo de caña tiene más capacidad de competir por los nutrientes gracias a las operaciones precosecha que realiza el cultivador. La segunda, un control manual y mecánico con palas, azadones, machetes, equipos de tracción animal o implementos mecanizados y la tercera alternativa, un control químico a partir del uso de herbicidas selectivos que atacan solo a las malezas (Aguilar Herrera, 2001).

El cultivo de la caña de azúcar no es ajeno al ataque de diversas plagas y enfermedades que pueden afectar negativamente el rendimiento y el desarrollo normal de la planta. En muchas ocasiones, las plagas y enfermedades son el síntoma y no la causa de los problemas del cultivo de caña debido a que estos organismos están asociados a las malezas (Secretaría de agricultura y desarrollo rural -SAGARPA-, 2015).

Las plagas o insectos más comunes encontrados en los cultivos de caña de azúcar en el Valle del Cauca, son los barrenadores del tallo, salivazo de la caña de azúcar y las termitas subterráneas. En los primeros dos casos, se utiliza un control biológico con larvas y

microorganismos y para las termitas, se utilizan insecticidas y prácticas de roturación del suelo (Bustillo Pardey, 2011)

En cuanto a las enfermedades, las de mayor afectación en los cultivos, se encuentra el virus mosaico del tupo Potyvirus, fitoplasmas de hoja amarilla, bacterias escaldadura foliar, raquitismo de la soca, hongo carbón y roya común (Lopez Bustamante, 2015). Para la eliminación y control de estas enfermedades, se recomienda la adaptación de especies resistentes, así como la eliminación de plantas enfermas, uso de semillas tratadas, termoterapia y la utilización de fertilizantes nitrogenados (Garcés Eder S.A.S., 2019).

Todas estas malezas, plagas y enfermedades pueden terminar en plantaciones de otras especies o llegar a los centros poblacionales donde los habitantes se pueden ver afectados.

4.2.2. Impacto económico

La producción industrial de caña de azúcar se realiza en 12 ingenios con una capacidad de molienda cercana a las 70.000 toneladas por día. Al mismo tiempo que 4 ingenios azucareros vallunos tienen capacidad para producir bioetanol con una capacidad de 1.250.000 litros cada día (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Tabla 4.*Principales ingenios azucareros del Valle del Cauca.*

Ingenio	Ventas	Activos	Capacidad instalada de molienda (t/día)	Capacidad producción bioetanol (L/día)
Riopaila Castilla	937.468	1.207.167	17.600	400.000
Manuelita	651.726	1.327.396	11.500	250.000
Providencia	759.650	1.138.841	10.000	300.000
Mayagüez	647.620	1.466.672	10.000	300.000
Pichichi	238.989	504.531	4.400	-
Carmelita	166.889	214.795	2.500	-
San Carlos	154.978	599.264	2.000	-
María Luisa	50.544	284.633	800	-

Nota: En la tabla se muestran los principales ingenios azucareros del departamento del Valle del Cauca, teniendo en cuenta las ventas alcanzadas, los activos, la capacidad instalada de molienda en toneladas por día y la capacidad de producción de bioetanol en litros por día. Adaptado de: sioc.minagricultura.gov.co

No solo estos ingenios azucareros, sino que también los pequeños productores de caña han destinado su producción de la siguiente manera; 15 plantas: 14 productoras de azúcar, 13 cogeneradoras de energía y 7 destiladoras de bioetanol; producción de fertilizantes orgánico-minerales, producción de 196 mil toneladas de miel fina; 467 millones de litros de bioetanol para el programa nacional de oxigenación de combustibles, 2.3 millones de toneladas de azúcar; 6.5 millones de toneladas de bagazo para la producción de papel y energía eléctrica y; generando empleos para cerca de 286 mil trabajadores como se había mencionado anteriormente ((Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -Asocaña-, 2019)

De acuerdo con el informe anual de Aspectos Generales del Sector Agroindustrial de la Caña para el periodo 2018 – 2019 y a lo mencionado anteriormente, la producción de azúcar aumento en un 4,5%, el bioetanol o alcohol carburante en un 15,9% y la generación eléctrica en un 9,4% mientras que la producción de miel fina disminuyó en un 5,8%, todas estas variaciones referentes al año anterior a este informe.

En adición, debido a que la quema de caña de azúcar para su cosecha disminuye la cantidad de desechos agrícolas y animales peligrosos que quedan en los campos de cultivo, se facilita el corte de los tallos, agiliza la cosecha del cultivo, incrementa el rendimiento de los cortadores,

mejora la calidad física de la materia prima, reduce los accidentes de trabajo, todo esto se puede traducir en una reducción en los costos de producción agrícola (Chaves Solera & Bermúdez Loría, 2006).

Pese a lo anterior, los impactos ambientales causados por la quema de caña de azúcar, pueden desencadenar en problemas de índole económica, esto debido a que por ejemplo, los suelos pierden su fertilidad natural y se destruye la actividad microbiológica del suelo al superar temperaturas de 500°C durante las quemas, lo que favorece la erosión de los suelos.

Adicionalmente, es evidente que ver columnas de humo provoca un efecto visual bastante negativo y aún más en una zona del país tan concurrida e importante como es el Valle del Cauca, en donde una gran cantidad hectáreas de cultivo están ubicadas cerca de la principal carretera del país, la Vía Panamericana. Esto produce un resultado contraproducente en el turismo de la región azucarera.

Finalmente, aumentarían los costos de adecuación de la materia prima en los ingenios azucareros debido al deterioro de la materia prima, ya que la quema produce el desencadenamiento de un proceso microbiológico por bacterias del tipo *Leuconostoc mesenteroides*, en el que ocurre una inversión de azúcares y la sacarosa disminuye su concentración. Además, este proceso de quema ocasiona una gran cantidad de cenizas que se adhieren a la caña que llegan a superar las fases de lavado y filtración (Chaves Solera & Bermúdez Loría, 2006). Por esto, la caña quemada debe pasar por ágiles y estrictos controles microbiológicos y de calidad que suponen un mayor costo productivo.

4.2.3. Impacto social

Según un informe realizado en el año 2020 por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar, Procaña, la cadena de valor de la caña de azúcar que va desde la cosecha hasta la distribución y venta de los productos, generó 37.400 empleos directos y 242.000 empleos indirectos tanto en el sector agrícola, como en el sector industrial.

Así mismo, específicamente en el sector agrícola se generaron 7.400 empleos directos y 42.000 empleos indirectos gracias al trabajo de los ingenios azucareros y los cultivadores independientes

de las diferentes zonas del país, en donde el 34.7% de las fincas cultivadas tienen una extensión igual o superior a 40 hectáreas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Pese a lo anterior y al igual que en el impacto económico, las afectaciones ambientales causadas por la combustión de la caña de azúcar afectan directamente el ámbito social específicamente en temas de salud pública. Esta quema, afecta la salud de las poblaciones cercanas debido a las cenizas y a las emisiones que se producen y pueden llegar a causar o agravar enfermedades cardiovasculares, bronquitis, asma, faringitis, otitis media, neumonía, entre otros padecimientos y como se ha mencionado, algunos productos de la quema como los HAP pueden llegar a ser compuestos cancerígenos (Urbano Silva, 2014).

Un ejemplo de lo anterior ocurre en Estados Unidos, país en el que durante la época de quema de caña de azúcar la cantidad de consultas e ingresos hospitalarios por complicaciones respiratorias aumentan hasta en un 50% en las poblaciones del sur de Luisiana (Comisión para la cooperación ambiental -CCA-, 2014).

De igual forma que en el país norteamericano, Colombia y su zona cañera ubicada en el Valle del Cauca en el suroccidente del país no es la excepción a la hora de relacionar las quemas de caña con visitas hospitalarias realizadas por afecciones respiratorias. Para el año de 2016, en el país 17.594 personas fallecieron por enfermedades respiratorias atribuidas a la contaminación ambiental de las cuales 15.681 decesos se debieron a la mala calidad del aire (Fernández & Suárez, 2019).

Según Dávalos (2007), la estrecha relación entre la contaminación atmosférica y la tasa de mortalidad ha llevado a que se realicen diferentes estudios sobre todo para emisiones generadas por fuentes móviles y fijas, pero se realizan muy pocas investigaciones sobre las quemas agrícolas. Por lo anterior, se realizó un estudio en el municipio de Palmira (región con mayor cantidad de hectáreas de caña sembradas) en el que se determinó que las consultas médicas por infecciones respiratorias agudas eran causadas por la inhalación de emisiones causadas por la quema de caña.

En el estudio previamente mencionado, también se determinó que el material particulado PM 10 originado por la quema de caña de azúcar, correspondía a un 50% del PM 10 total en el municipio, un porcentaje muy por encima del 24% emitido por fuentes fijas y del 26% aportado por fuentes móviles (Dávalos , 2007).

Toda esta información mencionada anteriormente, se puede ver reflejada en las evidencias recogidas por Rodero (2017) en su artículo del diario El País de Cali, en estos testimonios, se cuenta

la historia de Luz Elena Molina, que desde hace más de 30 años es habitante de la Buitrera, un corregimiento cercano a Palmira, y que debido a toda una vida inhalando humo y cenizas los problemas respiratorios aparecieron y estuvo tres años conectada a una máquina de aire. A este testimonio se le suma el de Elías Possú, habitante de Guachené, municipio al norte del Cauca que expresa que su padre tiene gripa muy seguido desde que iniciaron las quemas de caña.

En adición a lo anterior, Jauregui y Osorio (2016) en su tesis de grado, realizan un estudio socio-jurídico de la problemática ambiental que genera la caña de azúcar en la Hacienda el Castillo, ubicada en la vía entre Cali y el municipio de Jamundí. En este proyecto de investigación, se demostró que los habitantes de la región no ven con buenos ojos las quemas de caña de azúcar, asegurando que más de la mitad de los habitantes tienen molestias de salud al vivir cerca de los cultivos de caña además de considerar que esta práctica deteriora el medio ambiente.

Así mismo, las enfermedades respiratorias que se han mencionado anteriormente y que muchas veces son originadas por la mala calidad del aire que ocasiona la quema de caña de azúcar, pueden llegar a incrementar el riesgo de que una persona se enferme gravemente por causa del COVID-19, enfermedad que tiene al planeta tierra inmerso en una pandemia desde marzo del año 2020.

Siguiendo con la línea de la pandemia, según Cáceres (2020), la cantidad de casos graves asociados a la COVID-19, es mayor en lugares que se caracterizan por tener una mala calidad del aire, siendo esto, el principio de varios problemas respiratorios que llegan a verse agravados si la persona se contagia con el virus. En otro estudio reportado, se asoció la tasa de letalidad del virus con las concentraciones de dióxido de nitrógeno y material particulado PM 2.5 (Redacción médica, 2020).

4.3. Legislación vigente

Artículo 80 de la Constitución Nacional: Protección de los recursos naturales

“El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará

con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas” (Colombia, Constitución 1991 Art. 80).

Decreto 4296 del 2004, por el cual se modifica el Artículo 30 del Decreto 948 de 1995. Quemadas abiertas en áreas rurales.

“Queda prohibida la práctica de quemadas abiertas rurales, salvo las quemadas controladas en actividades agrícolas y mineras a que se refiere el inciso siguiente. Las quemadas abiertas en áreas rurales que se hagan para la preparación del suelo en actividades agrícolas, el descapote del terreno en actividades mineras, la recolección de cosechas...” (Decreto 4296, 2004)

Resolución 532 del 26 de abril de 2005: Por el cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones para las quemadas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras.

Resolución 91 de 2006: Por medio de la cual se establece y adopta el protocolo para la práctica de quemadas abiertas controladas en áreas rurales para la recolección de cosechas de caña de azúcar, en jurisdicción del departamento del Valle del Cauca.

Resolución 0383 de 2017: Por la cual se renueva el permiso colectivo de emisiones atmosféricas para práctica de quemadas abiertas controladas, en áreas rurales para la recolección de cosechas de caña de azúcar en jurisdicción del departamento del Valle del Cauca, otorgado a los ingenios agremiados a la asociación de cultivadores de caña de azúcar Asocaña.

Resolución 2254 de 2017: Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

Con este capítulo fue posible evidenciar los impactos ocasionados por la quema de caña de azúcar, a nivel ambiental, describiendo las emisiones enviadas a la atmósfera por causa de esta práctica, los daños en los suelos y efectos en el recurso hídrico y como estos se convierten en impactos económicos y ambientales, generando gastos mayores en adecuación de la materia prima al ingreso en los ingenios, adecuación de suelos con la utilización de más fertilizantes químicos, uso de mayor cantidad de agua, problemas de salud, entre otros, respondiendo al primer objetivo propuesto para este proyecto.

Sin embargo, la quema de caña de azúcar también posee ciertas ventajas entre las que destacan la facilidad del corte y la disminución de accidentes laborales ocasionados por la falta de visibilidad.

Debido a lo mencionado anteriormente, es necesario conocer la legislación colombiana que regula el tema de quemas agrícolas referentes a horarios, normatividad, protocolos, etc., y tener en cuenta las normas referentes a la calidad del aire que puede llegar a afectar las diferentes poblaciones cercanas a las quemas de caña de azúcar.

5. CAPITULO III. EVALUACIÓN DE LA COSECHA CRUDA DE CAÑA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LA COSECHA CON QUEMA

La quema de caña de azúcar para su cosecha es una práctica que ha predominado por muchos años, sin embargo, este proceso genera impactos negativos en el medio ambiente que terminan afectando el aspecto económico y ambiental de la región y la población cercana. Por esto, surge la idea de la implementación de nuevas tecnologías que mitiguen el impacto ambiental, es aquí cuando surge la cosecha curda como alternativa para evitar problemas ambientales, económicos, tecnológicos y sociales que son causados por la quema.

La implementación de sistemas de cosecha de caña de azúcar verde aumenta el potencial de incrementar los rendimientos de sacarosa en la caña de azúcar, afirman la calidad de los suelos para cultivos posteriores y aseguran el cuidado del medio ambiente.

Eliminar la quema de cultivos de caña de azúcar implica inevitablemente la cosecha de caña de azúcar cruda, que puede hacerse de forma manual o mecánica, brindando oportunidades para el desarrollo e implementación de tecnologías que permitan mecanizar la cosecha de caña y permitan realizar un aprovechamiento de la biomasa residual.

5.1. Descripción de la cosecha cruda de caña

La cosecha cruda de la caña de azúcar, representa una alternativa importante si se desea mitigar el impacto ambiental negativo atribuido a las emisiones causadas por la forma tradicional de cosecha, la quema de caña. Esta práctica sostenible, puede realizarse en los terrenos que tengan las características topográficas óptimas, reduce el tiempo de corte y la mano de obra necesitada (Dancé & Sáenz, 2018).

La transición de la quema de caña de azúcar hacia la cosecha cruda de caña, debe estar acompañada de un aumento en el uso de máquinas cosechadoras y un optimizado diseño de los suelos de cultivo para no dañar las semillas de caña ni los suelos y poder mejorar los procesos de fertilización, las operaciones de riego y el rendimiento de producción.

Como se mencionaba anteriormente, la cosecha cruda de caña trae consigo el aumento del uso de cosechadoras mecánicas, esto debido a que si bien la cosecha también se puede realizar de forma manual, esta aumentaría los tiempos de corte lo que paulatinamente, aumentaría los costos

de producción. Específicamente, la cosecha cruda manual tiene un rendimiento promedio de corte de hasta 2.5 toneladas por hombre por día, un rendimiento muy bajo comparado con la cosecha manual de caña quemada (7 ton/hombre/día). De lo anterior, la importancia de aumentar la cosecha mecanizada que aumentaría este rendimiento hasta 25 toneladas por hora (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006).

Para la optimización de la cosecha mecanizada, se deben tener en cuenta una serie de criterios para el diseño de los campos de cultivo, entre ellos están el correcto trazado y espaciamiento entre surcos, red de drenajes, redes de riego, vías de acceso, aporque de los campos. Con estos criterios, se mejora la eficiencia en los trabajos de cosecha debido a la facilidad de la maquinaria de moverse entre los cultivos, reduciendo hasta en un 32% los tiempos de cosecha, además se disminuye la cantidad de material orgánico residual que termina en los ingenios azucareros (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006). Lo anterior, se traduce en menores costos de mecanización y producción.

Según la investigación de Cenicaña (2006), para lograr los mejores resultados utilizando la cosecha cruda de caña mecanizada, los surcos deben estar distanciados por 1.75 metros, la presión causada por el peso de las cosechadoras debe ser menor a 100 kPa, la carga por eje debe ser menor a 5 toneladas, evitar alturas de los vagones de carga superiores a los 3.3 metros y se debe mantener una velocidad constante entre 40 y 45 kilómetros por hora.

Adicionalmente, se debe priorizar la nivelación de los suelos para lograr un corte uniforme con un mínimo desperdicio, utilización de madurantes para alcanzar la edad de corte con mayor concentración de sacarosa. Así mismo, es necesario tener en cuenta las variedades de caña con las que se generen menores cantidades de residuos para facilitar el corte mecánico (Benítez Gómez, 2016).

En cuanto al tema de la fertilización, ya se ha mencionado que la quema produce un agotamiento de nutrientes del suelo lo que afecta negativamente la fertilidad de los suelos disminuyendo su potencial de productividad a medida que pasa el tiempo. Con la utilización de los residuos agrícolas del cultivo de caña, los suelos recuperan los nutrientes consumidos por la caña y permite mantener las concentraciones de nitrógeno, fosforo, potasio, microorganismos, etc., óptimos para el crecimiento de futuros cultivos (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006).

Una vez terminada la cosecha, quedan residuos que pueden variar entre las 50 y 100 toneladas por hectárea sembrada (Secretaría de agricultura y desarrollo rural -SAGARPA-, 2016), dependiendo de la variedad de caña cultivada y las condiciones del suelo. Por esto, se hace imprescindible realizar un manejo adecuado de estos residuos para que se pueda beneficiar el cultivo del siguiente lote de caña de azúcar. Además, se puede llegar a evaluar la capacidad de la biomasa residual para la cogeneración energética.

5.2. Impactos ambientales, económicos y sociales de la cosecha cruda de caña

5.2.1. Impacto ambiental

La principal diferencia de la cosecha cruda de caña con la cosecha de caña quemada, es la eliminación de emisiones de gases de efecto invernadero, gases tóxicos para la salud humana y material particulado que pueden llegar a afectar poblaciones cercanas y contribuir en el aumento de la temperatura en el planeta tierra.

De igual forma, mejora la calidad de los suelos de cultivo al evitar la erosión de los mismos y a que se acumula gran cantidad de nutrientes en los residuos que quedan posterior a la cosecha (Ortiz H. , Salgado, Castelán, & Córdova, 2012) lo que permite contribuir al mejoramiento de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo. Estos residuos también establecen las principales operaciones de transferencia de materia y energía envueltas en los procesos realizados entre el suelo y las plantas (Benítez Gómez, 2016).

Sin embargo, la mecanización de la cosecha, hace que se utilicen cosechadores que funcionan con motores de combustión interna y que utilizan diésel como combustible. Una máquina de estas consume aproximadamente 0.42 galones de combustible por tonelada de caña (Mejía & Saldarriaga) y que una cosechadora es capaz de cortar 300 toneladas por día, se estarían quemando 126 galones de combustible por día trabajado y si tenemos en cuenta que una cosechadora trabaja aproximadamente 3000 horas por año (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006), lo equivalente a 125 días, estaríamos hablando de 15.750 galones de diésel consumidor por una cosechadora en un año.

Estos galones de combustible quemados son equivalentes a 154.835 kilogramos de dióxido de carbono enviados a la atmósfera al año por una sola cosechadora. Si tenemos en cuenta que se

necesitan aproximadamente 250 cosechadoras para cortar 200.000 hectáreas de caña, la huella de carbono asciende a 38.708.750 kilogramos de CO₂. Eso, sin contar el uso de los trenes cañeros y las emisiones asociadas a los grandes ingenios azucareros.

5.2.2. Impacto económico y social

Teniendo en cuenta que la cosecha manual de caña de azúcar cruda es un trabajo complicado que ocasiona pobres rendimientos en el corte, transporte y procesado, se debe evaluar la posibilidad de mecanizar los procesos de cosecha por lo que es necesaria la transición a la mecanización sin descuidar la mano de obra que ha trabajado durante años en esta labor.

Esta transición hacia la cosecha cruda de caña, trae consigo la implementación de nuevas tecnologías como el uso de cosechadoras mecánicas por lo que una inversión inicial es totalmente necesaria. Teniendo en cuenta el nivel de industrialización y las características de humedad y de suelos de la región, la inversión en equipos de cosecha puede oscilar entre los 30 y los 150 millones de dólares (Benítez Gómez, 2016).

Según el artículo de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (2012), "*Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México*", la cosecha mecanizada, presenta una serie de ventajas sobre la cosecha manual permitiendo la entrega de caña más fresca al ingenio, reduce el tiempo de corte y el traslado a la planta procesadora, se minimiza la pérdida de sacarosa, permite la cosecha durante las 24 horas del día, reduce el costo por tonelada cosechada hasta en un 20%, reduce el costo de personal, facilita el control de la operación, mejora el transporte y facilita el proceso de extracción de azúcar.

Gracias a la mecanización, se incentiva el crecimiento económico de la región gracias a los mayores rendimientos por hectárea sembrada y una ampliación del área cultivada por la suma de nuevas tierras o por la posibilidad de realizar varias siembras en menos tiempo y en la misma área sembrada (Mejía & Saldarriaga).

Sin embargo, la cosecha mecanizada de la caña cruda, tiene una serie de limitaciones por lo que se deben definir las áreas potenciales para realizar esta práctica. En estas áreas se debe asegurar el mejor desempeño de las maquinas cosechadoras, lo que puede implicar mayores costos de adecuación. Las principales limitaciones hacen referencia a la pendiente del cultivo, gravas superficiales y drenaje del suelo.

- ***Limitaciones por pendiente***

Afortunadamente, en el departamento del Valle del Cauca, las pendientes son menores al 3% por lo que no existe limitación alguna para las maniobras de las maquinas cosechadoras a diferencia de otras regiones del país donde las pendientes llegan a ser hasta del 7% lo que puede llegar a ser peligroso para el manejo de maquinaria pesada (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006).

- ***Limitaciones por gravas superficiales***

La cantidad de piedras que quedan en los suelos de cultivo afectan el desempeño de las cosechadoras dañando los discos y cuchillas, los sistemas de transporte internos y los molinos de los ingenios (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006). Esto lleva a la ardua tarea de adecuación de suelos y operaciones de mantenimiento cada menos tiempo.

- ***Limitaciones por drenaje del suelo***

Los suelos ubicados en el territorio vallecaucano se caracterizan por ser finos, esto causa encharcamientos y excesos de humedad al tener menos capacidad de absorber el agua, lo que hace más difícil la labor de las cosechadoras mecánicas (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-, 2006).

Según estas limitaciones y la información suministrada por los sistemas de información geográfica (SIG) mostrados en el informe de Cenicaña (2006), el valle geográfico del rio Cauca, el área potencial para realizar la cosecha cruda mecanizada es de 115.000 ha, 5.000 ha para cosecha manual y 80.000 ha para el uso de cosecha mixta que varía según las condiciones climáticas.

Figura 40.

Área potencial para realizar cosecha mecánica de caña cruda en el Valle Geográfico del río Cauca.



Nota: En la imagen se observa el área potencial para realizar cosecha mecanizada, cosecha mixta y cosecha manual de caña de azúcar cruda en el valle geográfico del río Cauca. Tomado de: cenicana.org.

Pese a los mayores rendimientos de producción por hectárea sembrada ocasionados por la cosecha mecanizada de caña de azúcar cruda, que se traduce en una mayor actividad económica y mayores ganancias, los cortadores encargados de realizar la cosecha manual, son los principales afectados debido a que una cosechadora, es capaz de realizar el mismo trabajo de 80 personas en el mismo tiempo (Mejía & Saldarriaga).

La cosecha manual, la realizan cortadores con un machete australiano y se alcanzan rendimientos de hasta 7.5 toneladas por día dependiendo la variedad de la caña, rendimiento muy inferior a las 300 toneladas por día ofrecidos por una cosechadora mecánica. Solo el tema de la cosecha de caña genera 15.000 empleos directos y 90.000 empleos indirectos.

De acuerdo a lo anterior, las 250 cosechadoras utilizadas para cubrir las hectáreas sembradas en el valle geográfico del río Cauca, reemplazarían el trabajo de cerca de 20.000 personas, dejando sin sustento a este número de familias. Sin embargo, sería necesario evaluar la

posibilidad de realizar capacitaciones a este personal para que se puedan desempeñar en otros trabajos de la cadena de valor de la caña de azúcar que permitan a la mayor cantidad de personas mantener su empleo, aumentar sus ingresos al estar mejor calificados y poder mejorar su calidad de vida.

5.3. Comparación entre la cosecha de caña cruda y caña quemada

Diferentes estudios comparando ambas formas de cosecha han llegado a la conclusión de que la cosecha de caña cruda trae consigo una leve disminución en la cantidad de sacarosa contenida en el jugo de la caña, esto ocurre debido a la cantidad de materia extraña que llega a ser un 2.62% mayor que si se realiza la cosecha quemando la caña. Sin embargo, el proceso de quema daña la caña, ocasionando una descomposición térmica de la sacarosa, lo que disminuye la pureza de la misma ocasionando menor valor de grados brix y grados determinados por métodos polarimétricos.

Para que el proceso de cosecha cruda de la caña aumente su rendimiento, se debe asegurar la selección de las variedades de caña que ofrezcan los mejores resultados al realizar esta técnica. Así mismo, se debe minimizar la cantidad de materia extraña producida, esto se puede realizar de forma manual, asegurando que se tenga personal capacitado para realizar el corte, o de forma mecánica, las cuchillas cortadoras de las cosechadoras deben operar en el rango entre 850 y 1000 revoluciones por minuto (Benítez Gómez, 2016). De igual manera, con el fin de reducir la cantidad de materia extraña y aumentar la cantidad y pureza de la sacarosa, los ingenios pueden optimizar sus procesos de adecuación de materia prima, haciendo más eficientes las operaciones de trituración y molienda.

Pese a lo anterior, la diferencia en la concentración de sacarosa es mínima evaluando ambos métodos de cosecha, encontrando los grados Brix medidos, dentro del rango normal entre 15 y 20 grados brix, lo equivalente a un porcentaje de sacarosa entre el 70 y el 88% (Cobeña & Loor, 2016).

Tabla 5.*Composición normal jugo de caña.*

Componente	Rango
Porcentaje de humedad	69 – 72
Grados Brix	15 – 20
Sacarosa (%Pol)	13 – 18
Porcentaje azúcares reductores	0.2 – 1.0

Nota: En la tabla se evidencia la composición normal del jugo de caña. Tomado de: <http://repositorio.espam.edu.ec/>

Los estudios comparando las dos alternativas para la cosecha de caña de azúcar arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 6.*Comparación de características de la caña de azúcar cruda y quemada.*

Característica	Caña cruda	Caña quemada
Grados brix jugo	18	15.9
Grados Pol jugo	15.9	13.01
Grados Pol caña	13.96	11.20
Porcentaje pureza	88.34	81.99
Porcentaje humedad	71.88	72.7
Porcentaje azúcares reductores	0.84	1

Nota: En la tabla se muestran las diferencias entre las características de la caña de azúcar en condiciones de cosecha cruda y cosecha quemada. Adaptado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/>

De acuerdo a la tabla anterior, es evidente el aumento en la cantidad de sacarosa si es utilizada la cosecha de caña cruda de manera optimizada eliminando la mayor cantidad de materia extraña. El contenido de sacarosa medido mediante métodos polarimétricos (grados Pol) y mediante refractómetro (grados Brix), es superior en a los medidos en el jugo de caña quemada.

De igual forma, el porcentaje de pureza para la caña cruda fue de un 88.34%, mayor al 81.99% presentado en la caña quemada, influyendo directamente en el contenido de sólidos totales, es decir, mayor concentración de sacarosa. Finalmente, se tiene un menor porcentaje de azúcares

reductores, lo que significa que la mayor cantidad de fructosa y glucosa presentes en la caña de azúcar han sido transformados en sacarosa.

5.4. Matriz DOFA cosecha de caña de azúcar cruda

Tabla 7.

Matriz DOFA cosecha cruda de caña de azúcar.

<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de emisiones contaminantes que pueden afectar el medio ambiente y la salud humana. • Aumento de la calidad de los suelos de cultivo al mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas y promover la actividad microbiológica. • Reducción de costos de operación si se realiza corte mecanizado. • No hay afectación en la salud de los empleados. • Mejora genética de las variedades de caña sembradas. • Protección para animales que puedan estar en la zona. • Aumento en la producción de azúcar por cada tonelada de caña cosechada. 	<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión inicial en maquinaria y capacitación a personal calificado para el manejo de las cosechadoras. • Reducción de empleos al mecanizar la cosecha. • Aumento de materia extraña en la cosecha. • Falta de visibilidad de los operarios de la maquinaria y de los cortadores manuales. • Adecuación de suelos previa a la cosecha mecanizada. • Pérdida de hasta un 11% de caña
<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de residuos sólidos (biomasa) para la cogeneración de energía, producción de biofertilizantes y mejoradores de suelos. • Generación de empleos si los trabajadores son capacitados para realizar labores en diferentes sectores 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Políticas que no restringen la quema de caña de azúcar. • Grandes cultivadores que tienen monopolizado el sector, alegan mayores rendimientos al eliminar el material vegetal indeseable.

de la cadena de valor de la caña de azúcar.	<ul style="list-style-type: none"> • Los pequeños productores no poseen los recursos necesarios para realizar la inversión en maquinaria.
---	--

Nota: En la tabla se evidencia la matriz DOFA, evaluando cada aspecto de la cosecha cruda de caña de azúcar y como estos pueden llegar a ser amenazas y oportunidades teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades.

A partir del desarrollo de este capítulo fue posible evidenciar los beneficios que trae la implementación de tecnologías sostenibles para la cosecha de caña de azúcar. Asegurando que con la cosecha cruda de caña, se eliminan las emisiones de gases de efecto invernadero y material particulado que afecta la salud de las personas.

Adicionalmente, la implementación de la cosecha cruda permite la creación de nuevas fuentes de trabajo para la que es necesaria la capacitación y tecnificación de la mano de obra perteneciente a la cadena de valor de la caña de azúcar, por lo que los salarios pueden aumentar considerablemente mejorando la calidad de vida de estos trabajadores, implicando superiores ingresos para el desarrollo de la región. Así mismo, los beneficios económicos pueden verse evidenciados en el turismo, fomentándolo al eliminar las columnas de humo poco agradables a la vista.

Con este capítulo y con la información suministrada en los capítulos anteriores fue posible dar cumplimiento a los objetivos de este trabajo, estableciendo la cosecha de caña de azúcar cruda como una alternativa de producción sostenible a partir de la formulación del potencial que tiene esta práctica para la reducción de los impactos ambientales generados por la industria cañicultora en el departamento del Valle del Cauca.

Finalmente, es necesario reafirmar que la cosecha cruda de caña de azúcar genera una gran cantidad de residuos agrícolas o biomasa, que deben ser controladas para asegurar la sostenibilidad de esta práctica, a partir del aprovechamiento de estos recursos para diferentes procesos como la generación de energía y la producción de producción de fertilizantes ecológicos que pueden ser usados no solo en el cultivo de caña, sino también en el cultivo de diferentes plantaciones de todo el país.

6. CONCLUSIONES

Se concluye que el cultivo y cosecha de caña de azúcar, así como toda la cadena de valor de esta gramínea hasta llegar a ser transformada en azúcar, panela o alcohol carburante, es de vital importancia no solo en el departamento del Valle del Cauca, sino también para todo el país al generar un desarrollo económico y social que se traduce en un generoso aporte en el PIB de la región y del país.

Por su importancia, se realizó una breve descripción del contexto nacional e internacional del cultivo y producción de la caña de azúcar, se mencionaron los principales países cultivadores y a nivel nacional, los departamentos con mayores hectáreas sembradas. Así mismo, la caña de azúcar tiene una gran cantidad de variedades por lo que se describieron las que más son cultivadas en el departamento del Valle a partir de las zonas agroecológicas de la región. Además, se mostraron todos los requerimientos para el cultivo de la caña y las diferentes operaciones de cosecha.

Pese al beneficio anterior, la cosecha de caña se realiza en su mayoría a partir de la quema de la misma, generando una gran cantidad de efectos negativos económicos, sociales y en mayor medida, efectos que degradan el medio ambiente llegando a causar problemas serios en la calidad del aire y los suelos.

Por esto, se describieron claramente los impactos ambientales, sociales y económicos ocasionados por la quema de los campos de caña de azúcar en el Valle del Cauca, concluyendo que son más los efectos negativos que los positivos causados por esta práctica, entre los que se destacan la emisión de gases de efecto invernadero, como los óxidos de nitrógeno, azufre, carbono, material particulado, cenizas; el aumento en casos de enfermedades respiratorias por la mala calidad del aire, tema que hoy en día es de vital importancia si tenemos en cuenta la enfermedad causada por el coronavirus, que se ve agravada si una persona posee enfermedades de este tipo; finalmente efectos negativos en los costos de adecuación del cultivo, producción y tratamiento de las materias primas al llegar a los ingenios azucareros.

Sin embargo, es necesario mencionar que la quema de caña tiene una serie de beneficios al disminuir la cantidad de materias extrañas agilizando el proceso de corte del tallo, mejorando la calidad física de la materia prima y reduciendo los accidentes laborales por la falta de visibilidad.

Para mitigar los impactos negativos causados por la cosecha de caña de azúcar quemada, se optó por realizar una revisión del sistema de cosecha cruda o en estado verde de caña en el departamento del Valle del Cauca.

Para esta revisión se estableció la práctica de la cosecha verde como una estrategia de producción sostenible a partir de la evaluación los impactos positivos que genera este tipo de procesos al eliminar las emisiones contaminantes ocasionadas por las quemas agrícolas, el aumento en la calidad de los suelos a partir del mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, protección para la fauna y flora cercana y un aumento en las producción de azúcar por tonelada cosechada gracias al incremento en la concentración de sacarosa. En adición a lo anterior, también se vería reflejado un impacto económico y social aún más favorable a partir del valor agregado que ocasiona el avance tecnológico, la tecnificación de los suelos y la mano de obra calificada. Lo que se traduce en la sostenibilidad del cultivo, a partir de los beneficios ambientales, sociales y económicos.

Gracias a esto, también fue posible formular el potencial de la cosecha verde al reducir los impactos ambientales generados por la industria cañera en el departamento vallecaucano.

Adicionalmente, se compararon los dos tipos de cosecha de caña de azúcar concluyendo que la opción de cosecha cruda genera mayores rendimientos de sacarosa por tonelada cosechada si son tenidos en cuenta diferentes aspectos como la mecanización de la cosecha, el tipo de corte, la selección de una variedad adecuada y la optimización de los procesos de molienda en los ingenios.

Finalmente, es necesario mencionar que para promover la cosecha de caña cruda en el departamento del Valle del Cauca, se deben aprobar leyes estrictas que controlen o en el mejor de los casos eliminen las quemas agrícolas. Con esto, será posible tener la opción de desarrollar nuevas tecnologías de cosecha, avanzando notoriamente en la productividad.

7. RECOMENDACIONES

Pese a los estudios que ya se han venido realizando sobre el tema, es recomendable seguir realizando investigaciones que permitan afirmar en un 100% que la cosecha cruda de caña es la mejor opción para la recolección de la materia prima usada para la producción de azúcar, etanol, panela, etc.

Mientras se sigue adoptando el proceso de quema de caña de azúcar, se recomienda la realización de planes de manejo ambiental que permitan mitigar los impactos ambientales generados por el uso de esta práctica poco sostenible.

Como se mencionó en el documento, la cosecha cruda genera una gran cantidad de residuos que pueden ser aprovechados por lo que es importante la implementación de programas de aprovechamiento de residuos sólidos para la cogeneración de energía y producción de biofertilizantes.

Adicionalmente, es recomendable que el Gobierno Nacional, en compañía de las corporaciones regionales, en este caso la Corporación Autónoma Regional del Valle y los grandes ingenios azucareros promuevan la investigación, desarrollo y puesta en marcha de estas prácticas sostenibles que pueden contribuir al desarrollo económico y social del país y contribuir a la mitigación del impacto ambiental causado por las quemas agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -Asocaña-. (2019). Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña 2018 - 2019. Informe anual. Obtenido de <https://www.asocana.org/documentos/2352019-D0CA1EED-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades -ATSDR-. (2021). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PHA). Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/>
- Agroware. (2016). Tipos de riego y sus ventajas: ¿Cual es el adecuado). Obtenido de sistemaagricola.com.mx
- Aguilar Herrera, S. B. (Diciembre de 2001). Bases técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo de caña en el departamento de Casanare. Yopal, Casanare, Colombia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4097/1/Establecimiento%20del%20cultivo%20de%20cana%20de%20azucar.pdf>
- Alfaro , R., & Ocampo, R. (2015). Evaluación del sistema radicular en tres periodos de desarrollo de la caña de azúcar. Costa Rica. Obtenido de <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/GZrKycKPhxxpBLSzwrOFNXWlruJKSAHO#:~:text=El%20sistema%20radicular%20fibroso%20de,cofia%20que%20protege%20al%20meristemo.>
- Alvarado Rodríguez, N. M. (2007). Las quemas en la agricultura (caña de azúcar) su regulación desde el punto de vista agrario y ambiental. San José, Costa Rica. Obtenido de <https://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/07/Quemas-agricolas.pdf>
- Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia -Asocaña-. (2013). Contaminantes aromáticos, grandes enemigos de la ecología. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.asocana.org/documentos/1582013-50221211-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf>
- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia -ASOCAÑA-. (2021). Sector agroindustrial de la caña. Obtenido de

<https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215#:~:text=Ubic%C3%A1ndonos%20como%20el%20cuarto%20generador,Cauca%20el%2019%2C7%25>.

Asociación colombiana de productores y proveedores de caña de azúcar -PROCAÑA-. (s.f.). Historia de la Caña. Colombia. Obtenido de <https://procana.org/site/historia-de-la-cana/>

Aza Jácome, A. (2018). El amargo negocio del azúcar. Obtenido de <https://www.larepublica.co/analisis/alfonso-aza-jacome-2763812/el-amargo-negocio-del-azucar-2806906>

Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Colombia. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

Benítez Gómez, J. M. (2016). Estudio de la cosecha en verde para el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11881/1/Cosecha%20en%20verde%20por%20Josie%20Benitez%20final3.pdf>

Bustillo Pardey, A. E. (2011). Parasitoides, predadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/no_clasificacion/6481.pdf

Cáceres, P. (2020). La contaminación del aire por NO₂ y partículas en suspensión agrava el efecto del COVID-19. Obtenido de <https://www.elagoradiario.com/coronavirus/la-contaminacion-del-aire-agrava-el-efecto-del-covid-19/>

Caracol Radio. (2020). Cali, a un apso de la alerta naranja por contaminación del aire. Cali, Colombia. Obtenido de https://caracol.com.co/emisora/2020/02/17/cali/1581949249_173062.html

Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-. (2006). Manejo del cultivo en condiciones verdes. (J. Torres, Ed.) Cali, Colombia. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_35/st_35.pdf

- Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia -Cenicaña-. (11 de Noviembre de 2014). Fechas históricas de la agroindustria de la caña en Colombia. Colombia. Obtenido de <https://www.cenicana.org/fechas-historicas-de-la-agroindustria-de-la-cana-en-colombia/#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20leg%C3%B3,de%20la%20ciudad%20de%20Cartagena.>
- Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-. (2001). Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Tercera aproximación. Cali, Colombia. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_29/st_29.pdf
- Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-. (2003). Catalogo de Variedades. (Segunda). Cali, Colombia. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_31/st_31.pdf
- Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia -Cenicaña-. (2018). Cultivo de la caña de azúcar: Agua. Cali, Colombia. Obtenido de https://www.cenicana.org/pdf_privado/historieta/uso_agua.pdf
- Centro guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar -CENGICANA-. (2017). Guía de buenas prácticas agrícolas en caña de azúcar. Guatemala. Obtenido de www.cengicana.org
- Chaves Solera, M., & Bermúdez Loría, A. Z. (2006). Motivos y razones para quemar las plantaciones de caña de azúcar en Costa Rica. Costa Rica. Obtenido de <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/AfiQvwFPWbNwWKuwCoErTHqkfBeoZSYw>
- Chuncho, G., Chuncho, C., & Aguirre, Z. (2019). Anatomía y morfología vegetal. Ecuador. Obtenido de <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ANATOMI%CC%81A%20Y%20MORFOLOGI%CC%81A%20VEGETAL.pdf>
- Cobeña, J., & Loor, I. (2016). Caracterización físico-química del jugo de cinco variedades de caña de azúcar en la hacienda El Jardín. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/264/1/TAI105.pdf>

- Comisión para la cooperación ambiental -CCA-. (2014). La quema de residuos agrícolas: Fuente de dioxinas. Montreal, Canadá. Obtenido de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11405-la-quema-de-residuos-agr-colas-es-una-fuente-de-dioxinas-es.pdf>
- Comission for environmental cooperation-CEC-. (2009). El mosaico de América del Norte: Panorama de los problemas ambientales más relevantes. Obtenido de <http://www3.cec.org/islandora/es/item/986-north-american-mosaic-overview-key-environmental-issues-es.pdf>
- Consumer. (2005). Las diferentes texturas del suelo. Obtenido de <https://www.consumer.es/bricolaje/las-diferentes-texturas-del-suelo.html>
- Corporación autónoma regional del Valle del Cauca -CVC-. (2020). A partir de hoy se reducen las quemas de caña en el Valle del Cauca. Cali, Colombia. Obtenido de <https://www.cvc.gov.co/2020255>
- Corporación autónoma regional del Valle del Cauca -CVC-. (2020). A partir de hoy se reducen las quemas de caña en el Valle del Cauca. Colombia. Obtenido de <https://www.cvc.gov.co/2020255>
- Dancé, J., & Sáenz, D. (2018). La cosecha de caña de azúcar: Impacto económico, social y ambiental. Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/contabilidadyeconomia/images/pdf/investigacion/cosecha.pdf>
- Dávalos , E. (2007). La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad? Obtenido de <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.13043/dys.59.4>
- Dolores, H. M., & Aldana Diestra, A. M. (2011). Manejo integrado del cultivo de caña de azúcar. Perú. Obtenido de https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Cania/MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_CANA_DE_AZUCAR.pdf
- Duarte Álvarez, O. J., & Gonzales Villalba, J. D. (2019). Guía técnica del cultivo de caña de azúcar. San Lorenzo, Paraguay. Obtenido de https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_01.pdf
- FAO. (2012). Food and agriculture organization. Obtenido de www.fao.org

- Fernández, C., & Suárez, R. (2019). Más de 17.000 muertes en el país, por mala calidad de aire y agua. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/salud/muertes-causadas-por-la-contaminacion-en-colombia-317364>
- Garcés Eder S.A.S. (2019). Guía para labores del cultivo de caña de azúcar en la empresa Garcés Eder S.A.S. Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11279/T8670F.pdf;jsessionid=33FCB05F913C3AE8912D3AF3407131FE?sequence=12>
- Gómez, J. (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia. Obtenido de www.cenicana.org
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales -IDEAM-. (2020). Agentes precursores de la lluvia ácida. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida>
- Instituto nacional de tecnología agropecuaria -INTA-. (2013). El cultivo de la caña de azúcar en la alimentación del ganado bovino en la provincia de Corrientes. Argentina. Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/el-cultivo-de-la-cana-de-azucar-en-la-alimentacion-del-ganado-bovino-en-la-provincia-de-corrientes>
- Jauregui Londoño, C., & Osorio Tapias, D. M. (2016). Análisis socio-jurídico de la problemática ambiental que genera la quema de caña de azúcar de los monocultivos ubicados cerca a la parcelación de la hacienda El Castillo vía Cali-Jamundí entre los años 2011 - 2015. Cali, Colombia. Obtenido de https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9731/Jauregui%20Londono_Osorio%20Tapias_2016.pdf?sequence=1
- Lopez Bustamante, J. F. (2015). La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela. Caso: Nordeste del departamento de Antioquia. Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3586>
- Manrique Estupiñan, R. (2010). Establecimiento de cultivo y levante de socas. Colombia. Obtenido de <http://www.unipamplona.edu.co>

- Medina Valtierra, J. (2010). La dieta del Dióxido de Carbono (CO₂). Aguascalientes, México. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94415753009.pdf>
- Mejía, V., & Saldarriaga, L. (s.f.). Implicaciones económicas y socio-ambientales de la mecanización de la caña de azúcar en el municipio de la Virginia y el corregimiento Caimalito del municipio de Pereira, Risaralda. Pereira, Colombia. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3922/33371686132M516.pdf;sequence=1>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (30 de Junio de 2020). Cadena de Caña de Azúcar. Colombia. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/CanaAzucar/Documentos/2020-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2020). Monóxido de carbono. España. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/monoxido-carbono.aspx>
- OCDE-FAO. (2020). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ca8861es/CA8861ES.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas -ONU-. (2020). El impacto de las quemas agrícolas: un problema de calidad del aire. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-impacto-de-las-quemas-agricolas-un-problema-de-calidad-del-aire>
- Ortiz, H., Salgado, S., & Rosas, C. (2012). Gestión sustentable de la cosecha de la caña de azúcar cruda. México. Obtenido de <https://siiba.conadesuca.gob.mx/siiba/Consulta/verDoc.aspx?num=249>
- Ortiz, H., Salgado, S., Castelán, M., & Córdova, S. (2012). Perspectivas de la cosecha cruda de la caña de azúcar cruda en México. México. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900020
- Ramirez, L. (2021). ¿Conoces qué es el material particulado o polvo que circula en Bogotá? Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/que-es-el-material-particulado-o-polvo-en-el-aire>

- Redacción médica. (2020). Covid: un estudio relaciona contaminación del aire y gravedad de los casos. Obtenido de <https://www.redaccionmedica.com/secciones/sanidad-hoy/covid-casos-gravedad-relacion-contaminacion-aire-2245>
- Rodero, P. (2017). El humo asfixiante del cañaveral colombiano. Cali, Colombia. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2017/09/09/planeta_futuro/1504956828_166419.html
- Secretaría de agricultura y desarrollo rural -SAGARPA-. (Enero de 2015). Ficha técnica de cultivo de la caña de azúcar. México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Ca_a_de_Azucar.pdf
- Secretaría de agricultura y desarrollo rural -SAGARPA-. (2016). Aprovechamiento de residuos de cosecha de la caña de azúcar. México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114369/Nota_Informativa_Marzo_2016_Aprovechamiento_de_residuos_de_cosecha_de_la_ca_a_de_azucar.pdf
- Urbano Silva, L. (2014). Consecuencia ambiental de la quema extensiva de la caña de azúcar. Obtenido de <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/grafias/article/download/1298/1308#:~:text=El%20monocultivo%20de%20ca%C3%B1a%20y%20su%20quema%20degradan%20paulatina%20mente%20el%20ambiente.&text=Por%20otra%20parte%20la%20quema,se%20conoce%20como%20efecto%20invernadero>
- Velasco-Velasco, J. (2018). Los biofertilizantes y la caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/516>
- Vilaboa Arroniz, I., & Barroso, L. (2013). Contaminación ambiental por quema de caña de azúcar: Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz. Obtenido de <https://siiba.conadesuca.gob.mx/siiba/Consulta/verDoc.aspx?num=358>
- Yara. (2020). Gestión de suelos y agua en caña de azúcar. Obtenido de <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/cana-de-azucar/gestion-de-suelos-y-agua-en-cana-de-azucar/>