



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DR. JACOBO BUCARAM ORTÍZ  
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AGRÓNOMA**

**COMPORTAMIENTO Y EFECTO DEL MATERIAL  
PARTICULADO DURANTE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR  
(*Saccharum officinarum* L.) EN LAS POBLACIONES DE  
MAYOR INFLUENCIA**

**AUTORA  
HERNÁNDEZ AQUINO YARITZA KATIUSKA**

**TUTOR  
ING. GARCÍA ORTEGA YOANSY, M.Sc.**

**GUAYAQUIL- ECUADOR**

**2024**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DR. JACOBO BUCARAM ORTÍZ**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

El sustituto, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “**COMPORTAMIENTO Y EFECTO DEL MATERIAL PARTICULADO DURANTE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LAS POBLACIONES DE MAYOR INFLUENCIA,** realizado por la estudiante **HERNÁNDEZ AQUINO YARITZA KATIUSKA**; con cédula de identidad **N°0954349981** de la carrera **AGRONOMÍA**, Unidad Académica **Guayaquil**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Firma del Tutor  
**ING. YOANSY GARCIA ORTEGA M.Sc.**

Guayaquil, 25 de septiembre de 2024



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DR. JACOBO BUCARAM ORTÍZ**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“COMPORTAMIENTO Y EFECTO DEL MATERIAL PARTICULADO DURANTE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LAS POBLACIONES DE MAYOR INFLUENCIA”**, realizado por la estudiante **HERNÁNDEZ AQUINO YARITZA KATIUSKA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Darlyn Amaya Márquez, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Yoansy García Ortega, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Guayaquil, 25 de septiembre de 2024

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres, mis hermanos por ser mi mayor inspiración y motivación. Este logro es un testimonio de su inmenso amor y dedicación. Valoro mucho las lecciones de vida que me han impartido y por el cariño que siempre me han brindado. Mi gratitud hacia ustedes es imposible de expresar completamente. Esta tesis es un tributo a su legado y a la eterna admiración que siento por ustedes. Gracias por ser los mejores padres del mundo. También va dedicado a mis abuelos que desde el cielo sé que están muy orgullosos de mí, porque logre cumplir uno de mis grandes objetivos que fue convertirme en una profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la vida, me agradezco a mí por ser perseverante y nunca rendirme por soñar en alto por querer ser la mejor por darle una vida digna a mi familia, agradezco a mis padres por ser mi apoyo incondicional por alentarme día a día a ser mejor. Agradezco a la “UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR” por darme la oportunidad de superación y permitirme convertir en Ingeniera.

A mi tutor Ing. Yoansy García, por su gran ayuda y su paciencia. Y a todos los profesores de la Universidad que aportaron conocimientos para desempeñarme en la vida profesional.

## **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo HERNÁNDEZ AQUINO YARITZA KATIUSKA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “COMPORTAMIENTO Y EFECTO DEL MATERIAL PARTICULADO DURANTE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LAS POBLACIONES DE MAYOR INFLUENCIA” para optar el título de INGENIERO AGRÓNOMO, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 25 de septiembre de 2024

**HERNÁNDEZ AQUINO YARITZA KATIUSKA**  
**C.I. 0954349981**

## RESUMEN

La caña de azúcar tiene un gran potencial debido a su alta producción de biomasa y contenido de azúcar. Sin embargo, la práctica de quemar la caña para su cosecha representa un problema ambiental significativo ya que, genera grandes cantidades de partículas y gases tóxicos, que afectan a las comunidades cercanas, por eso este trabajo tiene como finalidad, determinar el grado de contaminación por material particulado ocasionado por la quema de caña y sus consecuencias negativas, proporcionar a los directivos de los ingenios, la suficiente información, para la toma de decisiones hacia la mitigación de las afectaciones que pueden producir en las zonas cercanas. Se empleó una investigación descriptiva, utilizando el equipo portátil analizador de gases de 3M, modelo monitor 3M-EVM-7, que registra y acumula lecturas digitales en puntos de muestreo: se recolectó muestras en áreas alejadas entre 3 km y 5 km o más de forma aleatoria en los ingenios azucareros San Carlos y Valdéz, dando como resultado al identificar las zonas de riesgo mediante una modelación del flujo de MP (2.5 y 10.0 micras), se observó valores altos solo en el ingenio Valdéz después de la quema con un 95%, con 10 micras, mientras que con 2.5 micras, respecto a su fuente de emisión se evidencia que no existen gases altamente tóxicos en la zona que puedan afectar al ingenio y la zona de Milagro, la calidad del aire cumple con las disposiciones nacionales reguladoras de la calidad, el aire también se ve influenciado con la emisión de partículas por parte de la industria Azucarera.

**Palabras claves:** *Biomasa, calidad, contaminación, gases, partículas.*

## ABSTRACT

Sugarcane has great potential due to its high biomass production and sugar content. However, the practice of burning cane for harvest represents a significant environmental problem, since it generates large quantities of particles and toxic gases that affect nearby communities, which is why this work aims to determine the degree of contamination by particulate matter caused by the burning of cane and its negative consequences, to provide mill managers with sufficient information to make decisions towards mitigating the effects that may occur in nearby areas. A descriptive, method was used using the 3M portable gas analyzer model 3M-EVM-7 monitor, which records and accumulates research readings at digital sample points: samples were collected in remote areas between 3 km and 5 km or more. random in San Carlos and Valdéz sugar mills, resulting in identifying risk areas through modeling of the flow of PM (2.5 and 10.0 microns), high values are verified only in Valdéz mill after burning with 95%, with 10 microns, while with 2.5 microns, with respect to its emission source, it is evident that there are no highly toxic gases in the area that could affect the mill and Milagro area, the air quality complies with the national provisions regulating the quality. , the air is also influenced by the emission of particles by the Sugar industry.

**Keywords:** *Biomass, quality, pollution, gases, particles.*

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
Autorización de Autoría Intelectual .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES .....	xiv
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Antecedentes del problema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Planteamiento y formulación del problema .....</b>	<b>16</b>
<b><i>1.2.1 Planteamiento del problema .....</i></b>	<b><i>16</i></b>
<b><i>1.2.2 Formulación del problema .....</i></b>	<b><i>17</i></b>
<b>1.3 Justificación de la investigación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Delimitación de la investigación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Objetivo general .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Estado del arte.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Bases teóricas .....</b>	<b>20</b>
<b><i>2.2.1 Contaminación ambiental .....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>2.2.1.1. Causas de la contaminación ambiental .....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>2.2.2 La contaminación atmosférica .....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>2.2.3 Calidad del aire .....</i></b>	<b><i>21</i></b>
<b><i>2.2.4 Fuentes de la contaminación del aire .....</i></b>	<b><i>21</i></b>
<b><i>2.2.5 Gases efectos invernaderos .....</i></b>	<b><i>22</i></b>
<b><i>2.2.6 Material particulado.....</i></b>	<b><i>22</i></b>
<b><i>2.2.7 Partículas en suspensión.....</i></b>	<b><i>22</i></b>

2.2.7.1. Partícula Fina PM <sub>2.5</sub> .....	23
2.2.7.2. Partícula Gruesa PM <sub>10</sub> .....	23
2.2.8 <i>Efectos del Material Particulado</i> .....	23
2.2.9 <i>Efectos sobre la salud</i> .....	23
2.2.10 <i>Contaminantes emitidos por la industria azucarera</i> .....	24
2.2.11 <i>Cultivo de la caña azúcar</i> .....	24
2.2.12 <i>Clasificación taxonómica</i> .....	25
2.2.13 <i>Método de la cosecha de la caña de azúcar</i> .....	25
2.2.14 <i>Cosecha manual de la caña de azúcar</i> .....	25
2.2.15 <i>Cosecha mecánica de la caña de azúcar</i> .....	26
2.2.16 <i>Composición de azúcar</i> .....	26
2.2.17 <i>Quema de la caña de azúcar</i> .....	26
2.2.18 <i>Normas de concentración permisibles en la atmosfera de contaminantes FAO, UE, EEUU</i> .....	27
2.2.19 <i>Nuevas normas y umbrales para mejorar la calidad del aire urbano (UE)</i> .....	27
2.3 Marco legal.....	29
2.3.1 <i>Código Orgánico del Ambiente</i> .....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1 Tipo de investigación.....	32
3.1.1 <i>Investigación documental</i> .....	32
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i> .....	32
3.2 Metodología .....	32
3.2.1 <i>Variables</i> .....	33
3.2.1.1. Variable independiente.....	33
3.2.1.2. Variable dependiente.....	33
3.2.2 <i>Recopilación de datos</i> .....	33
3.2.3 <i>Diseño experimental</i> .....	34
3.2.4 <i>Recolección de datos</i> .....	34
3.2.4.1. Recursos .....	34
3.2.4.1.1. <i>Materiales y equipo</i> .....	34
3.2.4.1.2. <i>Recursos bibliográficos</i> .....	34
3.2.4.1.3. <i>Recursos humanos</i> .....	34
3.2.4.2. <i>Métodos y técnicas</i> .....	35

3.2.4.2.1. <i>Método deductivo</i> .....	35
3.2.4.2.2. <i>Técnica Analítica</i> .....	35
4. RESULTADOS.....	36
4.1 Establecimiento de una línea base de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales (antes de la quema) del cultivo de la caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ). .....	36
4.2 Comparación del comportamiento y la concentración de partículas de 2.5 y 10 micras antes, durante y después de la cosecha de caña quemada .....	37
4.3 Identificación de las zonas de riesgo mediante modelación del flujo de MP (2.5 y 10.0 micras) en el aire .....	37
4.4 Descripción de las diferentes estrategias de mitigación del impacto que tiene la cosecha de caña quemada sobre el medio ambiente a través de una revisión sistemática de literatura.....	40
4.4.1 <i>Pirólisis</i> .....	40
4.4.2 <i>Productos fabricados a partir de los residuos</i> .....	41
4.4.3 <i>Producción de carbón activo a partir de biomasa</i> .....	41
4.4.4 <i>Monitoreo y selección de condiciones climáticas adecuadas</i> .....	41
4.4.4.1. Velocidad del viento .....	41
4.4.4.2. Dirección del viento .....	41
4.4.4.3. Humedad relativa .....	42
4.4.5 <i>Planificación y zonificación</i> .....	42
4.4.5.1. Quemar en áreas pequeñas .....	42
4.4.5.2. Establecimiento de cortafuegos .....	42
4.4.5.3. Horario de quema .....	42
4.4.6 <i>Monitoreo y evaluación constante</i> .....	42
4.4.6.1. Seguimiento de la calidad del aire .....	42
4.4.6.2. Documentación de experiencias .....	43
5. DISCUSIÓN .....	44
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
6.1 Conclusiones.....	46
6.2 Recomendaciones.....	47
BIBLIOGRAFÍA .....	48
ANEXOS .....	54

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Muestras en estudio. ....	34
Tabla 2. Condiciones normales antes de la quema del cultivo de caña en San Carlos .....	36
Tabla 3. Condiciones normales antes de la quema del cultivo de caña en Valdez. .....	36
Tabla 4. Comportamiento y concentración de partículas en Valdez.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa calórico en campo abierto en Valdez con 2.5 micras.....	38
Figura 2. Mapa calórico en campo abierto en Valdez con 10 micras.....	38
Figura 3. Mapa calórico en el ingenio Valdez con 2.5 micras.....	39
Figura 4. Mapa calórico en el ingenio Valdez con 10 micras.....	40
Figura 5. Ubicación geográfica Ingenio Valdez .....	54
Figura 6. Ubicación geográfica San Carlos .....	54
Figura 7. Analizador de Gases de 3M modelo Monitor 3M-EVM-7.....	55
Figura 8. Niveles máximos permisibles de los contaminantes.....	55
Figura 9. Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales en San Carlos.....	56
Figura 10. Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales en San Carlos con el ing. Vega.....	56
Figura 11. Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales en Valdéz con el ing. Vega.....	57
Figura 12. Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones de quema.....	56
Figura 13. Toma de datos de partículas de 2.5 micras durante la quema en el ingenio Valdez.....	56
Figura 14. Toma de datos de partículas de 10 micras durante la quema en el ingenio Valdez .....	58
Figura 15. Toma de datos de las concentraciones de partículas después de la quema en los ingenios azucareros por parte del ing. Yoansy García.....	59
Figura 16. Finalización de toma de datos.....	59
Figura 17. Visita de cierre con el tutor a cargo, Ing. Yoansy García.....	60

**ÍNDICE DE APÉNDICES**

Apéndice N° 1: Base de datos codificada para el análisis de partículas de 2.5 micras en los ingenios.....	61
Apéndice N° 2: Base de datos codificada para el análisis de partículas de 10 micras en los ingenios.....	62

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del problema

La caña de azúcar es un cultivo de gran importancia en Ecuador, del cual se extrae el azúcar que es un producto que forma parte de la canasta básica de los ecuatorianos y es ingrediente fundamental de muchos alimentos elaborados y semielaborados de consumo masivo. Adicional, puede producirse alcohol como carburante y proporciona el bagazo para cogeneración. Es una fuente importante de mano de obra en forma directa o indirecta a través de los ingenios azucareros, los cultivadores de caña y las industrias o pequeñas empresas que basan su producción en el azúcar y coproductos, en todas las regiones del Ecuador (Torres y Cifuentes, 2004).

La caña de azúcar tiene un gran potencial debido a su alta producción de biomasa y contenido de azúcar. Sin embargo, la práctica de quemar la caña para su cosecha representa un problema ambiental significativo, ya que genera grandes cantidades de partículas y gases tóxicos que afectan a las comunidades cercanas (González, 2016).

Durante el proceso de producción de azúcar y la quema de biomasa durante la cosecha, se destacan como contaminantes el material particulado de 2.5 micras y 10 micras (González, 2016).

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados a nivel mundial. Se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas, excluyendo el agua pura, que están presentes en suspensión en la atmósfera. Estas partículas tienen diversos orígenes, tanto naturales como generados por actividades humanas, y poseen una amplia variedad de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Arciniégas, 2012).

La presencia en la atmósfera de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el hombre, entre ellos, la disminución visual en la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la luz (Chen et al., 2019).

Según Castro (2020), la actividad productiva cañera es de gran importancia social, cultural, política y económica, ya que en la agroindustria es una fuente muy importante de empleos. Esta agroindustria genera alrededor de dos millones de formas de empleos indirectos y directos en Ecuador, con prevalencia en la región costa.

Esta investigación se la realiza para conocer las concentraciones de partículas de 2.5 y 10 micras en la atmósfera que es crucial para comprender la calidad del aire y sus impactos en la salud humana y el medio ambiente. Las partículas finas, PM2.5, pueden penetrar profundamente en los pulmones, causando problemas respiratorios y cardiovasculares. Las partículas más grandes, PM10, también pueden afectar la salud y contribuir a la contaminación del aire. Además, el monitoreo de estas partículas es esencial para evaluar la eficacia de las políticas ambientales y tomar medidas para mitigar los riesgos asociados con la contaminación atmosférica.

En esta investigación se realiza un análisis con el equipo portátil analizador de gases de 3M modelo monitor 3M-EVM-7, que proporciona una comprensión crucial de la dispersión y persistencia de las partículas durante la quema de caña de azúcar, destacando la necesidad de medidas mitigadoras para minimizar los impactos ambientales y de salud asociados con este proceso agrícola. Durante la quema de caña de azúcar en el cantón Milagro, la comparación del comportamiento de partículas de 2.5 y 10 micras en la atmósfera revela patrones distintivos. Las partículas más pequeñas (2.5 micras) tienden a permanecer suspendidas por periodos prolongados. En contraste, las partículas de 10 micras, al ser más grandes, tienden a sedimentarse más rápidamente.

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### ***1.2.1 Planteamiento del problema***

La producción de azúcar es una actividad agroindustrial que provoca en algunos estadios de su procesamiento la contaminación con material particulado, el cual produce afectaciones para la salud. El proceso productivo de la caña de azúcar implica durante la cosecha, la quema, este proceso se realiza para eliminar malezas, alimañas y residuos vegetales que interfieren y afectan la eficiencia de la cosecha. Durante las diferentes etapas del proceso industrial (en planta), se producen emisiones de gases contaminantes y material particulado, por lo tanto, el comportamiento de este durante la quema de caña de azúcar en la costa ecuatoriana representa un problema significativo que requiere una atención significativa y medidas de mitigación para proteger la salud de la población y preservar el medio ambiente.

La liberación de material particulado durante la quema de caña de azúcar puede tener consecuencias negativas en la calidad del aire de la costa ecuatoriana.

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿El proceso de cosecha de caña quemada, puede generar concentraciones perjudiciales de material particulado de 2.5 y 10 micras en la atmósfera y su distribución en el aire puede afectar a las poblaciones cercanas?

### **1.3 Justificación de la investigación**

Este trabajo tiene como finalidad determinar el grado de contaminación por material particulado ocasionado por la quema de caña y sus consecuencias negativas y proporcionar a los directivos de los ingenios la suficiente información para la toma de decisiones hacia la mitigación de las afectaciones que pueden producir, ya sea, reduciendo la quema o alejándolas de las zonas urbanas, cambiar la tecnología o modificar algún aspecto que contribuya a ese objetivo.

### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** Áreas cañeras distribuidas de forma aleatoria, es en los ingenios Valdez y los ingenios San Carlos de la Costa Ecuatoriana, (los lugares de muestreo están georreferenciado).
- **Tiempo:** El tiempo de duración de este proyecto fue en cinco meses.
- **Población:** Esta información sirve como ayuda a los cañeros del Ecuador y en especial a los productores de la región costa.

### **1.5 Objetivo general**

Describir el comportamiento y concentración de las partículas sólidas en suspensión de 2.5 y 10 micras emitidas en el proceso de cosecha de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

### **1.6 Objetivos específicos**

- Establecer una línea base de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales (antes de la quema) del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
- Comparar el comportamiento y la concentración de partículas de 2.5 y 10 micras antes, durante y después de la cosecha de caña quemada.
- Identificar las zonas de riesgo mediante modelación del flujo de MP (2.5 y 10.0 micras) en el aire.
- Describir las diferentes estrategias de mitigación del impacto que tiene la cosecha de caña quemada sobre el medio ambiente a través de una revisión sistemática de literatura.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

En mayo de 2019, la Empresa Agroindustrial Laredo S.A.A. presenta su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) ante el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). En dicho programa se abordaron los problemas asociados con la quema de la caña de azúcar en campo, además de evaluar los parámetros de emisiones de las calderas con datos antes, durante y después del proceso. Se identificaron medidas mitigantes y preventivas, destacándose el cambio del combustible fósil (diesel) por bagazo de caña. Como parte del PAMA, se implementó el "Proyecto manejo de quemas de caña de azúcar".

Según Jurado (2020), durante el análisis de la correlación entre la normativa ambiental y la práctica de quema de caña de azúcar, así como su impacto socioecológico en la región de La Huaca, se concluye que no hay una correlación significativa entre la normativa ambiental y la quema de caña de azúcar durante el período 2015-2018. De las 130 personas encuestadas, el 39% indicó que existían regulaciones ambientales relacionadas con la quema de caña de azúcar. Además, el 83.2% de los encuestados (277 personas) considera que la quema de caña de azúcar tiene efectos adversos en la salud humana, como el desarrollo de enfermedades respiratorias como el asma bronquial.

Según Cabrera et al. (2020), durante la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la producción de caña de azúcar en un caso de estudio en la Amazonía ecuatoriana, se determinó que la producción de una tonelada de caña de azúcar tiene una huella de carbono (HC) equivalente a 50 kg de CO<sub>2</sub> por hora. Se encontró que las emisiones de GEI son influenciadas por la aplicación directa e indirecta de N<sub>2</sub>O en el campo y por el manejo de los residuos de cosecha. Los autores sugieren realizar evaluaciones adicionales sobre los productos derivados de la caña de azúcar para obtener información detallada sobre su contribución a las emisiones de GEI.

Según Malimba (2023), en un estudio realizado se establecieron objetivos para evaluar los cambios en la calidad del aire, específicamente en cuanto a las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO y SO<sub>2</sub>, y su impacto en las áreas circundantes a la empresa Azucarera Casa Grande S.A., donde se empleó un enfoque no experimental centrado en las actividades de quema de caña de azúcar. El estudio se limitó a observaciones y recolección de datos de concentraciones de CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>

y PM2.5. Los resultados mostraron que, aunque las concentraciones de partículas y gases no superaron 80% de los estándares nacionales de calidad ambiental para PM10, PM2.5 y SO<sub>2</sub>, sí excedieron todas las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud.

Investigación desarrollada en accesos de fábrica de los Ingenios San Carlos y Valdez en los cantones Milagro y Marcelino Maridueña de la provincia del Guayas por Bucarán et al., (2023) donde realizaron mediciones de CO<sub>2</sub>, con un equipo portátil Analizador de Gases de 3M modelo Monitor 3M-EVM-7. La toma de muestras tuvo una frecuencia quincenal durante el periodo de molienda de los ingenios que se inició en junio y concluyó, a mediados de diciembre. Los muestreos se realizaron aproximadamente a distancias de 280, 500, 1000 y 3000 m de la chimenea principal de la fábrica de azúcar, dando como resultados que el CO<sub>2</sub> emitido por el proceso industrial de azúcar no impactó en las mediciones a nivel de la superficie por su dispersión natural, aunque mostraron una disminución con la distancia. Existió correlación alta, negativa y significativa, entre concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura y también alta, directa y significativa, con el punto de rocío, aunque valores más bajos pero inversos del CO<sub>2</sub> con respecto a las distancias.

En una investigación realizada por Zuluaga (2020) de la compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; *saccharum officinarum* L, en el valle geográfico del río Cauca, donde evaluaron la calidad del aire en Palmira en el periodo de abril a diciembre, concluyendo que la calidad del aire cumple con las disposiciones internacionales reguladoras de la calidad del aire, los problemas están asociados a la emisión de partículas de las industrias cercanas al municipio. Actualmente la CVC realiza los controles por mediciones isocinéticas a la industria, controla los centros de diagnóstico automotor que realizan los estudios de emisión de las fuentes móviles, participa en el programa de producción más limpia, y realiza estudios de calidad del aire en toda la zona de su jurisdicción para garantizar la calidad del aire del Valle del Cauca, la corporación cumple a cabalidad con el numeral 12 del artículo 31 de la Ley 99 de 1993.

Tejada (2020) en su investigación determinó la relación que existe sobre la regulación ambiental y la quema de caña de Azúcar en el distrito de la huaca, Piura, señalan en los resultados cualitativos, que el estado debería actuar como un aparato articulador entre empresas cañeras y financiamiento de cooperación internacional

para la ejecución de proyectos que atiendan la necesidad de reducción de quema de caña parada, descartando o dejando en un segundo plano los incentivos económicos relacionados a beneficios tributarios y los subsidios estatales. Así mismo, que las empresas, deban estar enfocadas a venderles un modelo de negocio sostenible (rentable y amigable con el medio ambiente). En tanto, para los pobladores la educación ambiental, debe estar referida a generar conciencia de los impactos negativos de la quema de caña en aras de orientarlos a capacitarlos en otras actividades obreras, distintas a la de los ingenios azucareros.

## **2.2 Bases teóricas**

### ***2.2.1 Contaminación ambiental***

La contaminación ambiental hace referencia a la presencia de sustancias dañinas en el medio ambiente que pueden ser perjudiciales para los organismos vivos. Existen numerosos tipos de contaminación ambiental, que varían según los componentes nocivos presentes, el entorno natural afectado y su origen. El impacto ambiental se refiere a las consecuencias de las acciones en un entorno natural, pudiendo ser beneficioso o perjudicial. En el caso específico de la contaminación ambiental, se enfoca en los efectos negativos que los componentes nocivos pueden causar en el medio ambiente (Aqua Fundación, 2021).

#### **2.2.1.1. Causas de la contaminación ambiental**

Según la Fundación Ayuda en Acción (2023), algunas de las causas más importantes son las siguientes:

- Deforestación.
- Pesticidas y otros químicos.
- Residuos (industriales, urbanos, domésticos y de cualquier otra índole).
- Uso de combustibles fósiles.
- Crecimiento demográfico y las necesidades asociadas.
- Radiación.
- Producción industrial.

### ***2.2.2 La contaminación atmosférica***

La contaminación atmosférica se define como la alteración o cambio en la composición del aire debido a la presencia de partículas sólidas o líquidas, así como diversas sustancias y formas de energía. Este fenómeno puede manifestarse a nivel local o global y es consecuencia directa de la actividad humana, particularmente desde la era de la industrialización (Medina, 2019). La cantidad de contaminantes en

la atmósfera puede variar significativamente y está influenciada por factores como la distribución y ubicación de las fuentes de contaminación, la altura de las chimeneas, las características topográficas y, especialmente, las condiciones climáticas variables (Mora et al., 2021).

### **2.2.3 Calidad del aire**

La calidad del aire refleja las condiciones en las que se encuentra el aire, determinando el grado de concentración de contaminantes que puede ser perjudicial en una región o sector específico. Este estado es influenciado por fuentes tanto naturales como antropogénicas, las cuales varían según la cantidad de contaminantes emitidos, la velocidad de liberación y el tiempo que permanecen en la atmósfera. Las directrices de calidad del aire establecidas por la OMS incluyen dos aspectos cruciales: los límites máximos permitidos de concentración diaria y anual de contaminantes como NO<sub>2</sub>, PM10 y PM2.5 para la exposición de la población. Además, estas directrices consideran nuevos contaminantes como el carbono negro (indicador de hollín), partículas ultrafinas y polvo desértico (Rodríguez, 2021).

En todo el mundo, la situación ambiental sigue empeorando debido al incremento de las emisiones, lo cual representa una amenaza para la salud humana y agrava problemas como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación y la generación de residuos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 99% de la población mundial respira aire de baja calidad, y la contaminación atmosférica provoca la muerte prematura de 7 millones de personas cada año. Las partículas PM2.5, que tienen un diámetro de 2.5 micrómetros o menos, representan el mayor riesgo para la salud y son frecuentemente utilizadas como medida en las normativas legales sobre calidad del aire. Cuando se inhalan las PM2.5, el cuerpo las absorbe hasta que ingresan al torrente sanguíneo, lo que ha sido asociado con enfermedades como accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, enfermedades pulmonares y cáncer (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022).

### **2.2.4 Fuentes de la contaminación del aire**

Las partículas primarias son aquellas que se emiten directamente desde fuentes específicas como vehículos (coches, autobuses, camiones), transporte de mercancías, industrias, ciertos procesos empresariales, actividades de construcción,

caminos sin pavimentar, chimeneas, humo de cigarrillos o incendios (Villamizar y Jaramillo, 2017).

Por otro lado, las partículas secundarias se generan como resultado de reacciones químicas en la atmósfera, donde intervienen sustancias liberadas por plantas, generación de energía, industria y vehículos (Villamizar y Jaramillo, 2017).

Naturalmente, la contaminación puede surgir de la actividad biológica en la biósfera, procesos geológicos como las erupciones volcánicas, y otros eventos naturales como incendios forestales de origen natural (Andrade, 2018).

Por otro lado, la contaminación antrópica es resultado directo de la actividad humana, especialmente la combustión de combustibles fósiles y sus derivados, tanto en contextos industriales como domésticos (Andrade, 2018).

### **2.2.5 Gases efectos invernaderos**

Las quemas generan la emisión de gases de efecto invernadero y otros compuestos que afectan el ozono estratosférico al ser liberados a la atmósfera. Estos cambios químicos atmosféricos pueden ocasionar pérdidas en la producción agrícola y ganadera debido a modificaciones climáticas y daños en los suelos. Asimismo, tienen un impacto negativo en la biodiversidad de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Instituto Nacional de Lenguas Indígenas [INALI], 2022).

### **2.2.6 Material particulado**

El material particulado consiste en una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran suspendidas en el aire. Su composición es diversa e incluye componentes como sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua, según Molina y Timbe (2023). Además, puede contener contaminantes adicionales como ciertos tipos de hidrocarburos y metales pesados, cuya concentración, duración de exposición y toxicidad pueden tener efectos mortales o causar problemas graves de salud a corto y largo plazo (Trujillo et al., 2019).

El término "material particulado" se refiere a pequeñas partículas sólidas o líquidas de variados tamaños que están presentes en el aire, las cuales pueden provocar reacciones químicas y poseen diversas propiedades físicas (Fundación Vivo Sano, 2022).

### **2.2.7 Partículas en suspensión**

Son partículas microscópicas o microgotas dispersas en el aire, cuya densidad es mayor que la del aire. Sin embargo, debido a su reducido tamaño y a

factores como cargas electrostáticas u otras razones, no se depositan fácilmente en el suelo o lo hacen con lentitud, permaneciendo suspendidas en el aire durante períodos prolongados (Solerpalau, 2018).

Las partículas en suspensión se clasifican según su tamaño, pero debido a su diversidad de formas, no es factible caracterizarlas con una única dimensión geométrica precisa (Pacheco et al., 2020).

#### **2.2.7.1. Partícula Fina PM<sub>2.5</sub>**

Estas partículas pueden surgir tanto de fuentes naturales como del impacto derivado del desarrollo industrial, la combustión de industrias y el uso de estufas de madera o leña. Tienen un diámetro de 2.5  $\mu\text{m}$ , son ligeras, lo que les permite viajar distancias mayores y permanecer más tiempo suspendidas en el aire, lo cual puede ocasionar complicaciones en el sistema respiratorio (Instituto Para La Salud Geoambiental [ISG], 2018).

#### **2.2.7.2. Partícula Gruesa PM<sub>10</sub>**

Estas partículas, compuestas principalmente por sílice, son generadas por fuentes móviles o estacionarias. Tienen un diámetro de 10  $\mu\text{m}$  y permanecen en el aire por un corto período de tiempo. Son capaces de ingresar al torrente sanguíneo, ocasionando daño a cualquier órgano o sistema del cuerpo. Esta fracción respirable, conocida como polvo en suspensión, representa la cantidad de aire inhalado que ingresa directamente a los pulmones a través del aparato respiratorio (Velandia et al., 2016).

### **2.2.8 Efectos del Material Particulado**

El material particulado afecta la calidad del aire, el medio ambiente y el bienestar de los ecosistemas causando daños irreparables a la salud (Moscoso et al., 2019).

#### **2.2.9 Efectos sobre la salud**

Los efectos del material particulado (MP) dependiendo de su tamaño, forma y su exposición a corto o a largo plazo pueden causar problemas a la salud de los seres humanos, la mayoría de las partículas precipitan en la tierra, provocando una capa de polvo en la superficie que puede afectar seriamente a la salud tanto de los organismos terrestres como los organismos acuáticos (Rotta y Ramon, 2018).

Al vivir o trabajar en sitios donde existan altos niveles de partículas finas o gruesas puede llegar a ser perjudicial; ya que las partículas al ser finas tienden a estar suspendidas en el aire originando un mayor impacto penetrando los pulmones

adquiriendo problemas cardiovasculares; en casos más extremos ocasionan la muerte mientras que las partículas gruesas quedan retenidas en las vías respiratorias altas como nariz y boca produciendo asma crónica (Matus y Oyarzún, 2019).

### **2.2.10 Contaminantes emitidos por la industria azucarera**

La industria en Ecuador abarca numerosas industrias y más de 120 000 ha de cultivo, por lo que tiene un gran potencial de contaminación en el ambiente, en especial el aire, estos contaminantes proceden de las calderas donde se realiza la quema del bagazo resultante de la molienda de los tallos produciendo humo de la combustión de los materiales y emitiendo sustancias volátiles como hollín y ceniza; también generan amoníaco en el proceso de preparación de la materia así como en la extracción, purificación y espesamiento del jugo de la caña de azúcar. Además de esto, emiten aguas residuales conteniendo materia orgánica como cachaza de la fabricación de azúcar, vinaza, bagazo proveniente de la destilación y de la molienda de la caña, agua de limpieza y descargas de agua con altas temperaturas alterando el medio. La quema de la caña de azúcar hace que el suelo pierda su fertilidad al privarse de la materia orgánica que se destruye durante la quema produciendo la erosión del mismo (Gordillo et al., 2018).

### **2.2.11 Cultivo de la caña azúcar**

Según Ramírez (2018), la caña de azúcar es una planta tropical semi-perenne perteneciente a la familia Poaceae, caracterizada por tallos gruesos y fibrosos que pueden alcanzar alturas de tres a cinco metros. Esta planta es ampliamente reconocida por su alto contenido de sacarosa, fundamental para la producción de azúcar. La caña de azúcar desempeña un papel crucial en la economía de numerosas regiones del mundo debido a su versatilidad y capacidad para adaptarse a diversas condiciones ambientales (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA], 2015).

Según Lagos y Castro (2019), los beneficios del cultivo de la caña de azúcar se pueden explicar de la siguiente manera:

- Cultivo para varios ciclos productivos.
- Apto para mecanización y formas tradicionales de cultivo.
- Posibilidad de modificar la resistencia de plagas, contenido de azúcar y rendimiento por métodos biotecnológicos.
- Responde de gran forma a la fertilización y al riego.

- Capacidad técnica para suministrar otros productos, aditivos y materiales a terceros procesos de saneamiento.

### **2.2.12 Clasificación taxonómica**

Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (2015) la taxonomía en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es la siguiente: reino; Plantae, división; Magnoliophyta, clase; Liliopsida, subclase; Commelinidae, orden; Poales, familia; Poaceae, subfamilia; Panicoideae, tribu; Andropogoneae, género; *Saccharum*, especies; *officinarum*.

### **2.2.13 Método de la cosecha de la caña de azúcar**

Para el corte de la caña de azúcar se practican dos métodos principales de cosecha; el corte manual (caña quemada o cruda) y la cosecha mecánica (caña quemada o cruda). El tiempo apropiado para la cosecha se determina mediante el análisis del jugo de caña. En el campo, con la ayuda de un brixómetro o refractómetro manual, se puede hacer el análisis del grado brix, que se realiza en tres partes de la caña: punta, medio y base. La caña llega a su periodo óptimo de cosecha cuando la diferencia de grado brix entre las partes es mínima y alcanzando un grado brix igual o superior a 18. En el caso de cañas inmaduras, el grado brix en el ápice es mucho menor al del medio y base de la caña. Además, en los países donde la maduración se efectúa de forma natural como es el caso de nuestro país, se puede llevar a cabo un plan de zafra indicativo y mensual basándose en la variedad y en la edad de las cañas (Duarte y González, 2019).

### **2.2.14 Cosecha manual de la caña de azúcar**

Existen dos métodos de corte manual en la cosecha de caña de azúcar:

En el método tradicional, el tallo se corta desde la base, se elimina el extremo superior y se prepara para su transporte.

En el método de corte limpio, se retiran las hojas del tallo antes de cortarlo desde la base, se elimina el extremo superior y se prepara para su transporte. La distinción entre ambos radica en la presencia o ausencia de hojas en el tallo.

A nivel mundial, la recolección se realiza principalmente mediante corte manual, donde el corte se realiza al nivel del suelo. Existe una variante conocida como entresaque, que implica seleccionar tallos de caña maduros mientras se dejan los tallos inmaduros para ser cosechados en una etapa posterior (Jacto, 2022).

### **2.2.15 Cosecha mecánica de la caña de azúcar**

Durante la cosecha mecanizada de la caña de azúcar, se genera un alto nivel de paja y restos de hojas que se adhieren a los trozos recolectados. Aunque este material afecta de forma directa la capacidad de molienda, también tiene un efecto negativo significativo en la calidad y la cantidad de azúcar obtenida. En el proceso de cosecha mecanizada, se utilizan máquinas autopropulsadas que incorporan diversos sistemas mecánicos e hidráulicos para cortar el cogollo, realizar el corte basal de los tallos, trocear la caña, eliminar las hojas y transportarla elevándola hacia los vagones de transporte (Alcívar, 2015).

### **2.2.16 Composición de azúcar**

Según Pinero (2023), un grupo de agrónomos evaluó la composición química de la caña de azúcar y encontró que es rica en carbohidratos, con un contenido del 56%. De esta cantidad, 28 gramos consisten en fibra dietética insoluble, como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.

Dentro del sistema productivo de la caña de azúcar, el enfoque principal se dirige hacia la producción de tallos, ya que es en este órgano donde se almacena la sacarosa. El tallo no presenta ramificaciones, tiene una sección transversal circular y está segmentado. Los nudos están espaciados, con una distancia de 15 a 25 cm, siendo mayor en la parte superior donde se produce la elongación, y más cercanos entre sí en la base de la planta (Aranda, 2019). Factores como la cantidad de tallos producidos, su diámetro, coloración y hábito de crecimiento están asociados con el tipo de variedad plantada; en contraste, la longitud del tallo está más vinculada a las condiciones agroecológicas locales y al manejo agronómico del cultivo (González et al., 2020).

### **2.2.17 Quema de la caña de azúcar**

La quema de campos de cultivo tiene consecuencias graves tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Esta práctica se lleva a cabo debido a las particularidades del cultivo y al contexto socioeconómico en el que se desarrolla la agroindustria. Existen opiniones encontradas sobre las quemas: algunos consideran que no son necesarias y que contribuyen a la contaminación del aire, mientras que otros argumentan que facilitan las condiciones para la cosecha manual.

En las prácticas agrícolas tradicionales, se suelen realizar una o dos quemas al año: la primera antes de la cosecha y la segunda después de la cosecha. La decisión de llevar a cabo estas quemas está influenciada por las características

específicas del cultivo y por el entorno económico y social en el que operan las industrias agrícolas (Fragoso et al., 2023).

### **2.2.18 Normas de concentración permisibles en la atmosfera de contaminantes FAO, UE, EEUU.**

Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente (FAO). La Autoridad Ambiental de Aplicación responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial.

Material particulado menor a 10 micrones (PM<sub>10</sub>). - El promedio aritmético de la concentración de PM<sub>10</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m<sup>3</sup>). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 µg/m<sup>3</sup>). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM<sub>10</sub> cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a (100 µg/m<sup>3</sup>).

Material particulado menor a 2.5 micrones (PM<sub>2.5</sub>). - El promedio aritmético de la concentración de PM<sub>2.5</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 µg/m<sup>3</sup>). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m<sup>3</sup>). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM<sub>2.5</sub> cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a (50 µg/m<sup>3</sup>) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2015).

### **2.2.19 Nuevas normas y umbrales para mejorar la calidad del aire urbano (UE)**

La directiva, aprobada en primera lectura por 571 votos a favor, 43 en contra y 18 abstenciones, establece límites máximos para toda una gama de contaminantes: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, *partículas*. También se establecen los periodos de tiempo en que estos límites no pueden superarse. Por ejemplo, límites diarios, semanales, mensuales. Una novedad es la regulación de las partículas más pequeñas (PM<sub>2.5</sub>), hasta ahora al margen de la legislación comunitaria, y muy

perjudiciales para la salud. La Comisión señala que la exposición actual a estas partículas reduce en nueve meses la esperanza media de vida en la Unión Europea.

- PM<sub>10</sub>

Para las partículas de mayor tamaño (PM<sub>10</sub>), el umbral máximo propuesto por la comisión es considerado insuficiente por los diputados, ya que no modifica el valor límite anual de 40 µg/m<sup>3</sup> establecido para las PM<sub>10</sub>. El pleno de la cámara, por otro lado, decide reducir este límite a 33 µg/m<sup>3</sup> a partir de 2010 (aunque la comisión parlamentaria había propuesto 30 µg/m<sup>3</sup>). Además, el valor límite diario de 50 µg/m<sup>3</sup>, que la propuesta original de la Directiva establece que no debe excederse durante más de 35 días al año, se amplía a 55 días bajo ciertas condiciones específicas, considerando factores como las características de dispersión locales, condiciones meteorológicas o geográficas, y contribuciones significativas de contaminación transfronteriza (enmienda 82). Esta medida busca abordar las dificultades que algunos municipios o regiones enfrentan para cumplir con los límites diarios establecidos.

- PM<sub>2.5</sub>

La propuesta de la Comisión incluye una innovación al introducir el valor de PM<sub>2.5</sub> a partir del año 2010. Para estas partículas, la Comisión propone un límite de concentración de 25 µg/m<sup>3</sup>, junto con un objetivo de reducción del 20% para todos los Estados miembros para el año 2020. En contraste, el Parlamento Europeo establece dos fases en períodos diferentes: una primera fase donde el valor sería un objetivo y no un límite (2010-2015), y una segunda fase donde el valor se convertiría en un límite a partir de 2015. Además, la Eurocámara reduce el objetivo/límite de 25 µg/m<sup>3</sup> a 20 µg/m<sup>3</sup>. Esta división en fases se justifica por la insuficiencia de datos disponibles sobre las PM<sub>2.5</sub> para establecer un límite definitivo según las enmiendas 5, 13, 19, 21, 27, 29, 31, 35 y 40.

La comisión propone la reducción de las PM<sub>2.5</sub> en todos los Estados miembros en un 20% para el año 2020, aunque los legisladores han establecido diferentes porcentajes que van desde el 0% hasta el 20%, dependiendo de los niveles de concentración (enmienda 49) (Gómez y Fernández, 2006).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica representa el principal riesgo ambiental para la salud en la Unión Europea (UE), causando aproximadamente 400 000 muertes prematuras al año y generando costos externos relacionados con la salud que alcanzan cientos de miles

de millones de euros. Los residentes de áreas urbanas son particularmente vulnerables a esta exposición (Tribunal de Cuentas Europeo, 2018).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) regula las partículas inhalables, mientras que las partículas grandes como arena y polvo, que superan los 10 micrómetros, no están bajo su regulación directa.

Las normativas nacionales y regionales de la EPA están diseñadas para reducir las emisiones de contaminantes que contribuyen a la formación de material particulado (PM), lo que ayuda a los gobiernos estatales y locales a cumplir con los estándares nacionales de calidad del aire establecidos por la agencia. Estos contaminantes, conocidos como contaminantes criterio, son sustancias transportadas por el aire para las cuales Estados Unidos y México han establecido límites de exposición basados en consideraciones de salud. En Estados Unidos, la EPA establece los límites conocidos como "normas nacionales de calidad del aire", mientras que, en México, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece límites bajo las Normas Ambientales para Aire (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2016).

- Materia particulada de 2.5 micrómetros o menos de diámetro ( $PM_{2.5}$ ) [Sólo para EE. UU.]
  - Promedio anual es de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el Promedio para 24 horas es de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Materia particulada de 10 micrómetros o menos de diámetro ( $PM_{10}$ ).
  - Promedio anual es de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el Promedio para 24 horas  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 2.3 Marco legal

Este proyecto tiene en cuenta las disposiciones legales de apoyo a la investigación arraigadas en el Código Orgánico del Ambiente.

### 2.3.1 Código Orgánico del Ambiente

#### **Título II de los derechos, deberes y principios ambientales**

**Artículo 4.- Disposiciones comunes.** Las disposiciones del presente Código promoverán el efectivo goce de los derechos de la naturaleza y de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles, de igual jerarquía, interdependientes, progresivos y no se excluyen entre sí.

**Artículo 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano.** El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural,

la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades; 2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros; 3. La intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley (p. 9).

**Artículo 6.- Derechos de la naturaleza.** Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración. Para la garantía del ejercicio de sus derechos, en la planificación y el ordenamiento territorial se incorporarán criterios ambientales territoriales en virtud de los ecosistemas. La Autoridad Ambiental Nacional definirá los criterios ambientales territoriales y desarrollará los lineamientos técnicos sobre los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza (p. 9).

**Artículo 9.- Principios ambientales.** En concordancia con lo establecido en la Constitución y en los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los principios ambientales que contiene este Código constituyen los fundamentos conceptuales para todas las decisiones y actividades públicas o privadas de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en relación con la conservación, uso y manejo sostenible del ambiente.

Los principios ambientales deberán ser reconocidos e incorporados en toda manifestación de la administración pública, así como en las providencias judiciales en el ámbito jurisdiccional. Estos principios son:

**Responsabilidad integral.** La responsabilidad de quien promueve una actividad que genere o pueda generar impacto sobre el ambiente, principalmente por la utilización de sustancias, residuos, desechos o materiales tóxicos o peligrosos, abarca de manera integral, responsabilidad compartida y diferenciada.

**Mejor tecnología disponible y mejores prácticas ambientales.** El Estado deberá promover en los sectores público y privado, el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, que minimicen en todas las fases de una actividad productiva, los riesgos de daños sobre el ambiente, y los costos del tratamiento y disposición de sus desechos. Deberá también promover la implementación de mejores prácticas en el diseño, producción, intercambio y consumo sostenible de bienes y servicios, con el fin de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural.

**Desarrollo Sostenible.** Es el proceso mediante el cual, de manera dinámica, se articulan los ámbitos económicos, social, cultural y ambiental para satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras. La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente. Se establecerá una distribución justa y equitativa de los beneficios económicos y sociales con la participación de personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.

**Acceso a la información, participación y justicia en materia ambiental.**

Toda persona, comuna, comunidad, pueblo, nacionalidad y colectivo, de conformidad con la ley, tiene derecho al acceso oportuno y adecuado a la información relacionada con el ambiente, que dispongan los organismos que comprenden el sector público o cualquier persona natural o jurídica que asuma responsabilidades o funciones públicas o preste servicios públicos, especialmente aquella información y adopción de medidas que supongan riesgo o afectación ambiental. También tienen derecho a ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva del ambiente, así como solicitar las medidas provisionales o cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p.14).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Tipo de investigación

##### 3.1.1 Investigación documental

Los datos utilizados para la elaboración de este trabajo, fueron obtenidos a partir de mediciones realizadas “*in situ*” empleando un analizador de gases y partículas digital y portátil, por lo que es una investigación descriptiva no experimental, pudiéndose además clasificar como exploratoria, al menos en las condiciones de la región costa ecuatoriana, puesto que no se encontraron referencias conteniendo datos asociados con la quema de cañaverales, escenario principal de la investigación realizada

##### 3.1.2 Diseño de investigación

Debido a su carácter exploratorio y no experimental no se aplicó ningún diseño espacial ni temporal de campo o de muestreo, con implicaciones estadísticas, aunque se obtuvo numerosa información en tiempo y escenarios reales georreferenciadas debido a su dispersión espacial obligadas por los programas de cosecha establecidas por los Ingenios San Carlos y Valdez establecidos para dicho periodo que se extiende entre abril y agosto.

#### 3.2 Metodología

Los muestreos de material particulado se efectuaron en áreas alejadas entre 3 km y 5 km o más de los ingenios azucareros San Carlos (Marcelino Maridueña) y el ingenio Valdez (Milagro) de la provincia del Guayas y cada locación fue georreferenciada. Se recopiló muestras de partículas de 2.5  $\mu$  y 10.0  $\mu$  (valores promedios, valores máximos y valores mínimos) cada 15 días desde abril hasta agosto empleando un equipo portátil analizador de gases de 3M modelo monitor 3M-EVM-7, que registra y acumula lecturas digitales en el punto de muestreo, sin procedimientos o apoyos adicionales.

La frecuencia de muestreo abarcó periodos de no cosecha (abril-junio) el cual se recopiló una línea base en condiciones normales del cultivo de la caña de azúcar y de cosecha o zafra (julio-agosto) donde se hizo muestreos durante la quema del cultivo de la caña de azúcar, con la finalidad de contrastar los resultados de las emisiones de partículas en ambos periodos. Se tomó mediciones en plantaciones en diferentes fases de desarrollo de la plantación.

No se puede indicar el momento y el lugar exacto de los muestreos que se realizaron debido a que los ingenios no realizan su programación de corte y quema,

la cual varía debido a que ésta depende del final de la temporada lluviosa, es decir que el terreno se seque lo suficiente para la entrada de los equipos de cosecha, por lo que toda la cosecha es mecanizada y no se pudo entrar al campo, de tal manera que no existe un cronograma anticipado, del momento ni el lugar de las cosechas y la quema del cultivo que todo depende cuando terminen las lluvias.

Las ocho variedades más sembradas con 39361.7 ha reportadas por el CINCAE, (2021), corresponden a variedades obtenidas por ese centro de investigación se acumulan los siguientes hectareajes: ECU-01: 9882.3 ha; EC-02: 3578.1 ha; EC-05: 2865.4 ha; EC-08: 1832.8 ha; EC-07: 1409.6 ha; EC-09: 836.2 ha y EC06: 977.8 ha sido en general la variedad CC85-92, de origen colombiano la de mayor área con 14198.7 ha.

### **3.2.1 Variables**

El carácter exploratorio de esta investigación no exige la aplicación de esquemas de variables como los que caracterizan los trabajos experimentales, sin embargo, se podría considerar.

#### **3.2.1.1. Variable independiente**

La variable independiente lo constituye la tecnología de cosecha y manejo (verde o quemada).

#### **3.2.1.2. Variable dependiente**

Las variables dependientes son las concentraciones promedias, máximas y mínimas de partículas P2.5 y P10.

### **3.2.2 Recopilación de datos**

En este proyecto se recolectó muestra en áreas alejadas entre 3 km y 5 km o más de forma aleatoria en los ingenios azucareros San Carlos y Valdez, en la costa ecuatoriana. Se recopilaron cinco muestras pertenecientes a tres submuestras de partículas de 2.5  $\mu$  y 10.0  $\mu$ , con una frecuencia de 15 días, en un tiempo de 5 meses en el cual se realizó 10 monitoreos teniendo un total de 150 muestras en cada ingenio establecido, empleado por un equipo portátil analizador de gases de 3M modelo monitor 3M-EVM-7, que registra y acumula los datos en el punto de muestreo, tal como está detallado en la Tabla 1.

Tabla 1.

**Muestras en estudio**

Lugar	Tamaño de partículas $\mu$	Nº de muestra n	Submuestras	Frecuencia Días	Nº de monitoreo	Nº total de muestras
Ingenio Valdez	2.5 – 10	5	3	15	10	150
Ingenio San Carlos	2.5- 10	5	3	15	10	150

Elaborado por: La autora, 2024

### 3.2.3 Diseño experimental

Este trabajo de investigación es descriptivo, por tanto, no necesita diseño experimental. Se realizó un muestreo no probabilístico para la toma de muestras en áreas alejadas a 5 km o más de los ingenios azucareros San Carlos y Valdez en los cantones Milagro y Marcelino Maridueña de la provincia del Guayas.

### 3.2.4 Recolección de datos

#### 3.2.4.1. Recursos

##### 3.2.4.1.1. Materiales y equipo.

Se empleó un equipo portátil analizador de gases de 3M modelo monitor 3M-EVM-7, que registra y acumula lecturas digitales en el punto de muestreo, cada dos segundos, durante el tiempo de muestreo que se establezca, (en esta investigación entre 2 y 5 minutos) y determinando de forma automática los promedios y extrayendo valores máximos y mínimos.

##### 3.2.4.1.2. Recursos bibliográficos.

Se describen como recursos bibliográficos: libros, tesis, revistas científicas, sitios web, blogs, normas APA, la biblioteca de la Universidad Agraria del Ecuador y otras fuentes.

##### 3.2.4.1.3. Recursos humanos.

La colaboración y asesoría del tutor y docente.

### **3.2.4.2. Métodos y técnicas**

#### **3.2.4.2.1. Método deductivo.**

Con este método se realizó un análisis en la aplicación de principios generales para llegar a conclusiones específicas sobre lo que puede suceder en el aire por el material particulado por la quema de la caña de azúcar en la costa ecuatoriana.

#### **3.2.4.2.2. Técnica Analítica.**

A través de este método se analizó la información que se recopiló de este estudio, con la finalidad de precisar el comportamiento y concentración de las partículas sólidas en suspensión de 2.5 y 10 micras emitidas en el proceso productivo de la caña de azúcar.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Establecimiento de una línea base de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales (antes de la quema) del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

La frecuencia de muestreo abarcó periodos de no cosecha (abril-junio) el cual se recopiló una línea base en condiciones normales del cultivo de la caña de azúcar.

En el ingenio azucarero San Carlos se recopilaron datos en tres fases del cultivo: brote, desarrollo y cosecha. Se calculó la media de los datos obtenidos en cada una de estas etapas con el fin de determinar los niveles de inmisión, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.**

#### ***Condiciones normales antes de la quema del cultivo de caña en San Carlos***

Tipo de partículas	Valores de partículas en condiciones antes de la quema ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Verde en brote	Verde en desarrollo	Verde cosechado
2.5 micras	145.4(S)	186.2(A)	103.2 (S)
10 micras	173.8 (A)	273 (A)	144.4 (S)

(S): Nivel seguro, concentración dentro de límites aceptables.

(A): Nivel de alerta, concentración que requiere atención preventiva.

**Elaborado por: La autora, 2024**

En el ingenio azucarero Valdez, se recolectaron datos durante dos fases del cultivo: desarrollo y cosecha, considerando partículas de 2.5 y 10 micras. Posteriormente, se calculó la media de los datos obtenidos en cada etapa con el objetivo de evaluar los niveles de inmisión, como se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3.**

#### ***Condiciones normales antes de la quema del cultivo de caña en Valdez***

Tipo de partículas	Valores de partículas en condiciones antes de la quema ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Verde en desarrollo	Verde cosechado
2.5 micras	257.4(AL)	135(S)
10 micras	267(A)	233(S)

(S): Nivel seguro, concentración dentro de límites aceptables.

(A): Nivel de alerta, concentración que requiere atención preventiva.

(Al): Nivel de alarma, concentración que requiere intervención.

**Elaborado por: La autora, 2024**

## 4.2 Comparación del comportamiento y la concentración de partículas de 2.5 y 10 micras antes, durante y después de la cosecha de caña quemada

En el ingenio azucarero Valdéz se registraron variaciones en las concentraciones de partículas de 2.5 y 10 micras, observándose diferentes niveles. Los valores más elevados fueron reportados durante y después de la quema, tanto para las partículas de 2.5 como para las de 10 micras, como se detalla en la tabla 4.

**Tabla 4.**

### Comportamiento y concentración de partículas en Valdez

Tipo de partículas	Valores del comportamiento de partículas antes durante y después de la quema( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Antes de la quema	Durante la quema	Después de la quema
2.5 micras	309(AL)	3232.5(Em)	2059.5(Em)
10 micras	174.5(S)	3297.45(Em)	1670.75(Em)

(Al): Nivel de alarma, concentración que requiere intervención.

(S): Nivel seguro, concentración dentro de límites aceptables.

(Em) indican nivel de emergencia por alta concentración.

**Elaborado por: La autora, 2024**

No fue posible realizar una comparación entre los resultados de calidad del aire en ambos ingenios debido a que no se obtuvieron datos sobre la quema en el ingenio San Carlos, a causa del tiempo limitado del estudio. Sin embargo, los valores registrados en el ingenio Valdéz superaron los límites establecidos por las normas de inmisión durante y después de la quema, alcanzando niveles que indicaron una situación de emergencia.

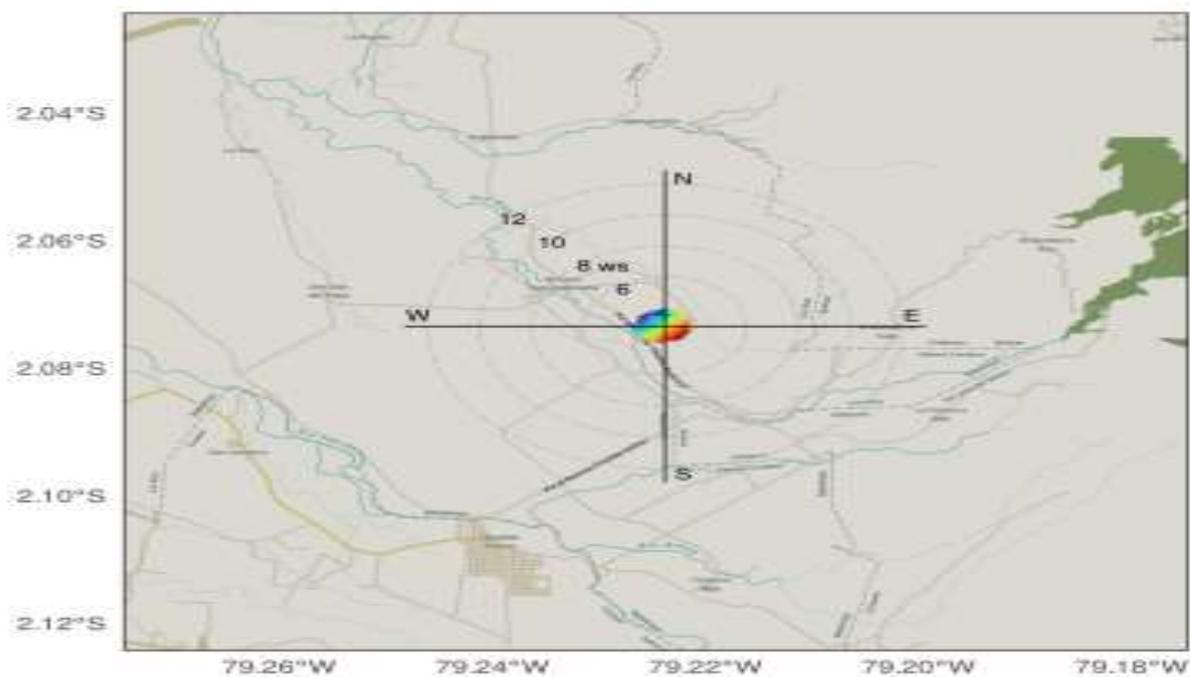
## 4.3 Identificación de las zonas de riesgo mediante modelación del flujo de MP (2.5 y 10.0 micras) en el aire

El área focal se realizó en base al sistema de georreferenciación R con coordenadas UTM, estimando el número de puntos encontrados en el área de quema en el campo abierto de Valdez.

Siguiendo este mapa de calor, permitió mostrar de manera rápida y visual los patrones de distribución de las partículas en estudio del campo abierto en Valdez, se observa que existe una intensidad de concentración en las partículas 2.5 y 10 micras; es decir, la distribución de estas partículas se mantienen en puntos calientes en cuanto a su incidencia, una concentración hasta 35%, las partículas se concentraron más en el lugar de la quema sin esparcirse tanto a los alrededores por la hora en

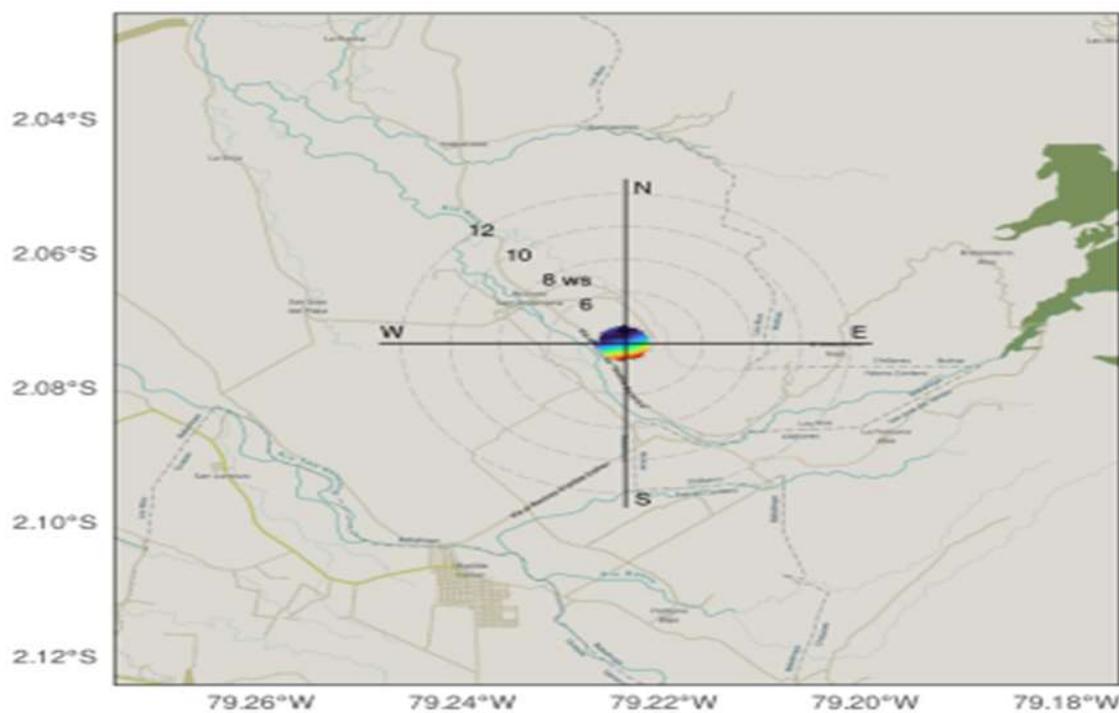
que se realizó la quema, y el control del clima no esparció las partículas alrededor, como se observa en la figura 1 y 2.

**Figura 1.**  
**Mapa calórico en campo abierto en Valdez con 2.5 micras**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 2.**  
**Mapa calórico en campo abierto en Valdez con 10 micras**



Elaborado por: La autora, 2024

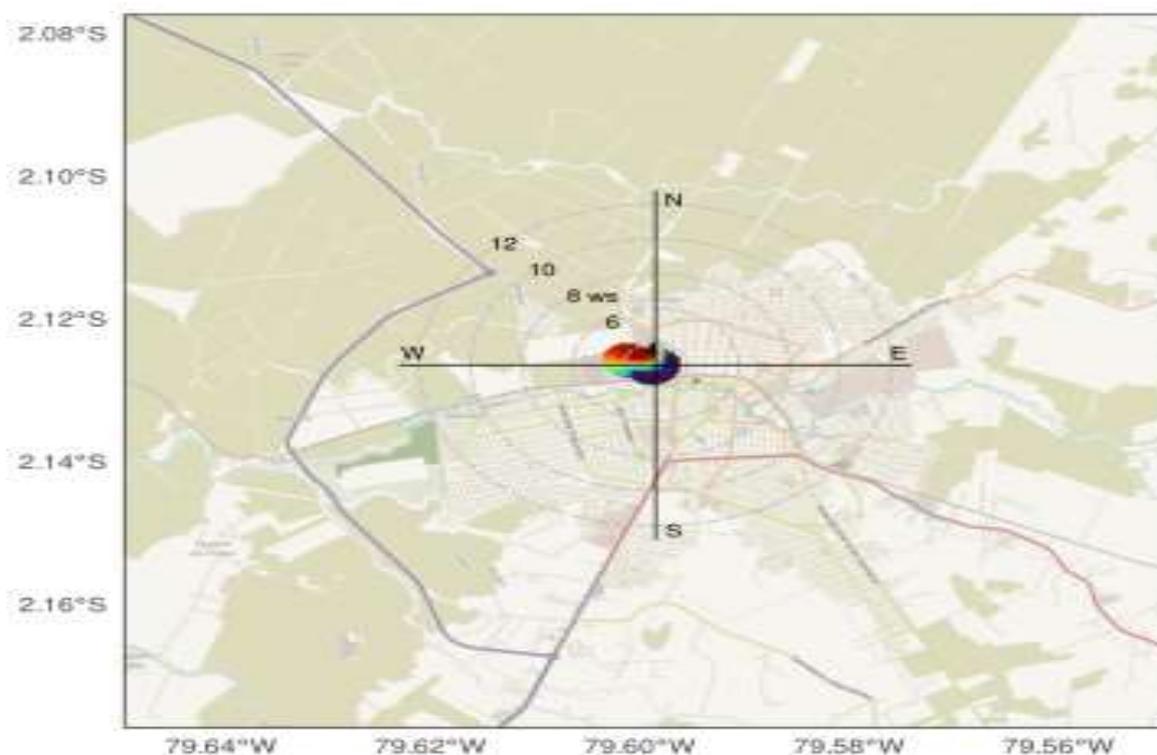
Seguidamente, se realizó el mismo procedimiento en el área de quema del ingenio San Valdez con partículas de 2.5 y 10 micras, el área focal se realizó en base al sistema de georreferenciación R con coordenadas UTM, estimando el número de puntos encontrados en el área. Esta modelación del flujo se permitió evaluar de manera rápida y visual los patrones de distribución de las partículas (2.5 y 10 micras) que se quedaron en el aire durante y después de la quema, se observa que existe una intensidad de concentración en las partículas; es decir, la distribución de estas partículas se mantienen en puntos calientes en cuanto a su incidencia con una concentración hasta 41%, pero se observa que algunas partículas de 2.5 y 10 micras si se esparcieron por el área, pero con una concentración menor a 41 que no afectan al ingenio, como se observa en la figura 3 y 4.

**Figura 3.**  
***Mapa calórico en el ingenio Valdez con 2.5 micras***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 4.**  
**Mapa calórico en el ingenio Valdez con 10 micras**



Elaborado por: La autora, 2024

#### **4.4 Descripción de las diferentes estrategias de mitigación del impacto que tiene la cosecha de caña quemada sobre el medio ambiente a través de una revisión sistemática de literatura**

Hay estrategias de mitigación que se pueden adoptar y son de naturaleza diferente y actual, no se pueden implementar debido a limitaciones tecnológicas. Sin embargo, es probable que en unos pocos años puedan ser puestas en práctica, lo que permitirá lograr la mitigación deseada para reducir los altos niveles de contaminantes y evitar el impacto ambiental.

##### **4.4.1 Pirólisis**

El pirólisis es un proceso de descomposición físico-química de la materia orgánica mediante la aplicación de calor en ausencia de un medio oxidante. Este proceso térmico de conversión utiliza material con alto contenido de carbono para generar compuestos más densos y con mayor poder calorífico, que pueden ser usados como combustibles directo o después de un tratamiento adicional. Los productos del pirólisis incluyen gases, líquidos y un residuo carbonoso, cuyas cantidades relativas dependen de las propiedades de la biomasa y de los parámetros

operativos del equipo. En los últimos años, la pirólisis se ha utilizado para producir combustibles líquidos y productos químicos a partir del carbón y residuos orgánicos.

#### ***4.4.2 Productos fabricados a partir de los residuos***

La falta de aprovechamiento de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar contribuye a una gestión menos eficiente, además de generar impactos ambientales, económicos y sociales negativos al ser vertidos en el medio ambiente. Esto es especialmente relevante en el contexto de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. Se propone reutilizar estos residuos para la alimentación animal y la mejora de los suelos destinados a la producción de alimentos para animales y humanos, así como para la cría de ganado (Martí y Rivero, 2019).

#### ***4.4.3 Producción de carbón activo a partir de biomasa***

El uso de recursos biomásicos derivados de la industria azucarera es una preocupación importante tanto para científicos como para productores. Se investiga cómo diversos factores afectan la viabilidad de producir carbones activados a partir de la biomasa de la caña de azúcar. Se evaluó la posibilidad de prepararlos mediante procesos de activación "física" con vapor de agua y "química" con ácido fosfórico.

Así mismo, existen estrategias de mitigación que se pueden adoptar para minimizar los impactos ambientales, mejorar la sostenibilidad y adaptarse a los desafíos climáticos en la zona de Milagro y Marcelino Maridueña. Se describen a continuación:

#### ***4.4.4 Monitoreo y selección de condiciones climáticas adecuadas***

##### **4.4.4.1. Velocidad del viento**

Controlar la velocidad del viento durante la quema de caña de azúcar es crucial para asegurar que la quema sea segura, eficiente y con el menor impacto negativo posible en el ambiente, la salud pública y los recursos agrícolas circundantes.

##### **4.4.4.2. Dirección del viento**

Es un factor clave en la planificación y ejecución de la quema de caña de azúcar, porque ayuda a controlar el fuego, las partículas no se expanden a muchos km, minimizan los impactos negativos sobre la salud de las poblaciones cercanas en Milagro y Marcelino Maridueña, protege a su vez, a los cultivos y ecosistemas cercanos, y cumple con las normativas ambientales.

#### **4.4.4.3. Humedad relativa**

Con una humedad relativa óptima, la quema tiende a ser más completa y controlada, lo que puede reducir la emisión de contaminantes como partículas finas (PM), monóxido de carbono (CO), y compuestos orgánicos volátiles (COV). Esto disminuye el impacto negativo sobre la calidad del aire y la salud pública. Además, una quema más controlada en condiciones de humedad adecuadas produce menos humo, lo que minimiza los riesgos para la salud respiratoria de las personas cercanas y reduce la visibilidad, previniendo accidentes en carreteras y otras áreas.

#### **4.4.5 Planificación y zonificación**

##### **4.4.5.1. Quemar en áreas pequeñas**

Quemar en áreas pequeñas de caña de azúcar como estrategia de mitigación es esencial para gestionar el fuego de manera segura y efectiva, reducir el impacto ambiental, proteger la salud pública y cumplir con las normativas, mientras se optimizan los recursos y se minimizan.

##### **4.4.5.2. Establecimiento de cortafuegos**

Es una estrategia crucial de mitigación para prevenir la propagación descontrolada del fuego durante las quemas agrícolas o en caso de incendios accidentales y evitar el exceso de partículas.

##### **4.4.5.3. Horario de quema**

Las quemas se deben realizar por las mañanas, como máximo hasta las 11:00 horas; con vientos menores a 10 Km por hora y humedades relativas mayores de 40%. Además, la duración de la quema.

El usuario del fuego deberá tener siempre presente que no debe hacerse durante las horas cuando los factores del tiempo atmosférico son extremos durante el día, que normalmente ocurren entre las 12:00 a las 17:00 horas.

Para que no se pierda el control de la quema por la emisión de focos secundarios o por un escape en zonas críticas, donde las brechas cortafuego son débiles y no logran mantenerlo confinado, se puede deducir que dentro del horario de las 17:01 a las 10:59 es el período ideal para la realización de quemas, a razón de la humedad, vientos y condiciones climatológicas que se presentan.

#### **4.4.6 Monitoreo y evaluación constante**

##### **4.4.6.1. Seguimiento de la calidad del aire**

Se lleva a cabo herramientas para monitorear y gestionar las emisiones de los contaminantes como el uso de sensores portátiles, umbrales de alerta, análisis de

muestras, registro de datos semanales, capacitar al personal sobre las causas y consecuencias, hacer cumplir las normativas.

#### **4.4.6.2. Documentación de experiencias**

Compartir conocimientos, observaciones de la quema con sus resultados en años anteriores, condiciones meteorológicas, calidad del aire, respuesta a los incidentes, lecciones aprendidas, etc. Que concienticen a la comunidad a mejorar las prácticas y cumplir con las regulaciones adecuadas.

## 5. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este trabajo de investigación sobre comportamiento y efecto del material particulado durante la quema de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en las poblaciones de mayor influencia, se plantea la siguiente discusión:

El establecer una línea base de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> antes de la quema de caña de azúcar proporciona un punto de referencia crucial para evaluar el impacto de la quema en la calidad del aire y esta información es fundamental para desarrollar políticas y prácticas agrícolas que minimicen los impactos ambientales y protejan la salud pública, de la misma manera, Cabrera et al., (2020), evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la producción de caña de azúcar en un caso de estudio en la Amazonía ecuatoriana, determinando que la producción de una tonelada de caña de azúcar tiene una huella de carbono (HC) equivalente a 50 kg de CO<sub>2</sub> por hora. Se encontró que las emisiones producidas son influenciadas por la aplicación directa e indirecta de N<sub>2</sub>O en el campo y por el manejo de los residuos de quema y cosecha.

Al comparar el comportamiento y la concentración de partículas de 2.5 y 10 micras antes, durante y después de la cosecha de caña, se observa más incidencia durante y después de la quema hasta en un 65%, generando poca contaminación en el ambiente, estos resultados concuerdan con la investigación de Malimba (2023), donde evalúa los cambios en la calidad del aire, específicamente en cuanto a las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO y SO<sub>2</sub>, y su impacto en las áreas circundantes a la empresa Azucarera Casa Grande S.A., los resultados mostraron que, aunque las concentraciones de partículas y gases no superaron el 80% de los estándares nacionales de calidad ambiental para PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y SO<sub>2</sub>, sí excedieron todas las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud.

Las condiciones meteorológicas tienen incidencia en la movilidad del material particulado generado por la cosecha y quema de la caña de azúcar mediante la quema controlada, si bien las concentraciones de 2.5 y 10 micras en ambos ingenios no superan la normativa, se relaciona con las condiciones de viento, que tienen incidencia en la movilidad del material particulado que pueden llegar incluso a las zonas pobladas de Milagro y Marcelino Maridueña. De la misma manera sostiene Tejada, (2020) en su investigación sobre regulación ambiental y la quema de caña

en Piura, donde analiza la contaminación del aire producida por la actividad de quema en una área de mayor influencia en Colombia, concluyendo con los residuos y emisiones particulados encontrados después de la quema del follaje de la caña de azúcar; se cuantifica la contaminación atmosférica producida por la agroindustria azucarera en el área de estudio y se analiza los efectos ambientales de dicho manejo en el componente atmosférico, antrópico y sobre la salud humana.

Pama (2019) presenta un programa de adecuación y manejo ambiental haciendo referencia a los problemas por la quema de caña y evaluaron parámetros de emisiones reportando datos antes, durante y después, donde se determinaron las medidas mitigantes y preventivas a tomar en el cultivo de caña y así evitar la contaminación. En este sentido, se describen diferentes estrategias de mitigación para el impacto ambiental y humano causado por la práctica de la quema, pero contradictorios y justificativo de esa tecnología práctica y económica que actualmente sigue siendo la tecnología que predomina.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos en este proyecto de investigación se puede concluir lo siguiente:

Al establecer una línea base de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales (antes de la quema) del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), se registra que en el ingenio San Carlos el máximo de presencia de partículas tanto de 2.5 como de 10 micras es de 5.195, en Valdez es de 0.484 y en las otras localidades de 3.158, lo cual permite comparar estos datos con los niveles durante y después de la quema de tal manera que se cuantifica el impacto de la quema en la calidad del aire.

El comportamiento de partículas presenta asociación entre las concentraciones, aunque solo se observó valores altos en el ingenio Valdez después de la quema con un 95%, con 10 micras, mientras que con 2.5 micras se observa valores estables respecto a su fuente de emisión, evidenciando que no existen gases altamente tóxicos en la zona que puedan afectar al ingenio y la zona de Milagro.

Al identificar las zonas de riesgo mediante una modelación del flujo de MP (2.5 y 10.0 micras) se observa que la calidad del aire cumple con las disposiciones nacionales reguladoras de la calidad, puesto que el aire también se ve influenciado con la emisión de partículas por parte de la industria Azucarera y la emisión de gases que provoca los automotores de la zona, según el mapa de calor se presenta concentraciones mayores de 10 micras en la zona de Valdez con valores particulados estables con distancia de 0.8 y 11 km a dirección a la población, sin afectar la zona.

Al describir las diferentes estrategias de mitigación para el impacto que causa la cosecha de caña quemada sobre el medio ambiente a través de una revisión sistemática de literatura, se encuentra a la pirólisis, los productos fabricados a partir de los residuos, y la producción de carbón activo a partir de biomasa, que buscan reducir la quema y sus impactos negativos mediante prácticas agrícolas más sostenibles.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda proveer una base de datos para estudios científicos sobre la calidad del aire, basado en investigaciones realizadas en estos ingenios azucareros o en la zona y también colocar monitores en puntos estratégicos alrededor del cultivo, que midan mediciones típicas como gas, partículas y calidad del aire de manera automática.

Es importante implementar métodos de cosecha de caña que eliminen la quema, como el corte manual o mecánico, esto reducirá significativamente las emisiones de partículas finas (PM2.5 y PM10) y gases contaminantes en el aire.

Establecer nuevos horarios de quema, teniendo en cuenta los periodos climáticos como la mayor velocidad del viento, la temperatura ambiental diaria, así como el menor valor de humedad relativa diaria, puesto que esto influye a la dispersión del material particulado de la zona.

Los ingenios San Carlos y Valdez deben invertir en tecnologías avanzadas de control de emisiones para capturar eficazmente los gases y partículas liberados durante el proceso de quema de caña, esto a su vez, ayudará a mitigar los impactos en la calidad del aire de la zona de Milagro y Marcelino Maridueña.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2016). Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) para la frontera entre EE.UU. - México. Red de Transferencia de Tecnología. <https://espanol.epa.gov/>
- Alcívar Toaza. (2015). Cosecha, alce y transporte de caña. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/>
- Andrade Castillo. (2018). Fuentes y efectos por contaminantes en el aire. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/>
- Aquae fundación. (22 de Septiembre de 2021). Qué es la contaminación ambiental. El Mundo de la Fundación Aquae lo Constituyen el Agua y las Personas. <https://www.fundacionaquae.org/>
- Aranda López, E. (2019). Cambios en la composición de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), entera, durante el almacenamiento post-cosecha. *Agro Productividad*, 12(7). doi:10.32854/agrop.v0i0.1474
- Arciniégas Sánchez, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable pm10. *Luna Azul*(34), 195-213. <http://www.scielo.org.co/>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017, 12 de abril). Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial del Gobierno del Ecuador. N° R.O.983 Año 2017. <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>.
- Bucaram, J., Vega A., García Y., Borodulina T. y Amador S. (2023). Dinámica de la emisión y dispersión de CO<sub>2</sub> de dos ingenios azucareros en la cuenca del Guayas. *Artículo científico*. <https://www.redalyc.org/journal>
- Cabrera, A. I., Ojeda, A. P., Pinargote, A. R., Martínez, A. P., Pereira, L. B. y Santana, K. D. (2020). Huella de carbono en el cultivo de la caña de azúcar. *Dialnet*, 11(1), 22-32. <https://dialnet.unirioja.es/>
- Carrera, J. P., Loyola, E. y Iglesias. (2010). Impacto ambiental generado por la quema de la caña de azúcar en Laredo - Trujillo. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, R13(26), 91–95. doi:10.15381/iigeo.v13i26.435

- Castro, G. (2020). Distribución y concentración de metales pesados en ceniza emitida por el ingenio la gloria veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 94. doi:10.20937/rica.53404
- Chen, J., Ying, Q. y Kleeman, M. (2019). Source apportionment of visual impairment during the California regional PM10/PM2.5 air quality study. *Science Direct*, 43(39), 6136-6144. doi:10.2020/j.atmosenv.2019.09.010
- Comité Nacional para el Desarrollo sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA]. (2015). Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/>
- Domínguez, M. C., Bravo, Á. H. y Sosa, E. R. (2014). Prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en un ingenio azucarero de México. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(4). <https://www.scielo.org.mx/>
- Duarte, Á. O. y González, V. J. (2019). Guía técnica cultivo de caña de azúcar. San Lorenzo, Paraguay. <https://www.jica.go.jp/>
- Fragoso, S. P., Pereira, C. A. y Prezas, H. B. (2023). Efecto de la quema de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) sobre las propiedades de los suelos agrícolas en la zona Kárstica del sur de Quintana Roo. *European Scientific Journal*, ESJ, 19(6), 330. doi:10.19044/esj.2023.v19n6p330
- Fundación Ayuda en Acción. <https://ayudaenaccion.org/>
- Fundación Vivo Sano. (2022). Material particulado. Instituto para la Salud Geoambiental. <https://www.saludgeoambiental.org/>
- Gómez, J. y Fernández, H. P. (2006). Nuevas normas y umbrales para mejorar la calidad del aire urbano. *Servicio de Prensa*, 1-4. <https://www.europarl.europa.eu/>
- González, Á. V. (2016). Producción de caña de azúcar y emisiones de material particulado en el sur del estado de Morelos. [*Tesis de pregrado*, Instituto Nacional Salud Pública Escuela de Salud Pública de México]. Repositorio Institucional. <https://catalogo.espm.mx/cgi-bin>
- Gordillo, M. F., Guzmán, P. M., Casilla, S. I. y Rubira, C. A. (2018). Efecto de residuos de producción de azúcar en la altura del compost. *Revista Científica Ecociencia*, 4(3), 75–90. doi:10.21855/ecociencia.43.33
- Instituto Nacional de Lenguas Indígenas [INALI]. (01 de 03 de 2022). El impacto de los incendios en los humedales. *Vet Market*. <https://vetmarketportal.com.ar/>

- Instituto Para La Salud geoambiental [ISG]. (2018). Material particulado. Partícula Fina Pm2.5. <https://www.saludgeoambiental.org/>
- Jacto Arbus, L. (2022). Las mejores prácticas para el cultivo de caña de azúcar. Tipos de Cultivos y Consejos. <https://bloglatam.jacto.com/>
- Jurado Ortega, A. (2020). Regulación ambiental y la quema de caña de azúcar en el distrito de La Huaca, Piura. [*Tesis de maestría*, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Institucional <https://repositorio.usmp.edu.pe>
- Lagos, B. E. y Castro, R. E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934. doi:10.15517/am.v30i3.34668.
- Martillo J., Navarrete A., Centanaro P. (2021). Desarrollo de un plan de manejo Agronómico aplicando tecnología de Producción en áreas de cultivo de caña de azúcar en la hacienda "El Vainillo", *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* (vol 10, N° 3 marzo 2021, pp. 1-11). <https://www.eumed.net/es/revistas/caribena>
- Malimba Flores, J. (2023). Quema de caña de azúcar y su incidencia en la contaminación atmosférica en la localidad de Andahuasi – Sayan. [*Tesis de pregrado*, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión Perú]. Repositorio Institucional <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle>
- Marin, F., Moreno, M., Farias, A. y Villegas, F. (2018). Modelación de la caña de azúcar en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. doi:10.2760/2477199
- Matus, P. y Oyarzún, M. (2019). Impacto del material particulado aéreo (MP 2.5 ) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso control alterno. *Revista chilena de pediatría*, 90(2). doi:10.32641/rchped.v90i2.750
- Medina Parra, E. (2019). La contaminación del aire, un problema de todos. *Revista de la Facultad de Medicina*, 67(2). doi:10.15446/revfacmed.v67n2.82160
- Molina, C. I. y Timbe, M. A. (2023). Evaluación de diversidad, captura de carbono y material particulado de las especies forestales ornamentales en la zona urbana de Gualaceo. [*Tesis de pregrado*, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional <https://dspace.ucuenca.edu.ec>

- Mora, B. J., Sibaja, B. J. y Borbón, A. H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(1). doi:10.18845/tm.v34i1.4806
- Morales, T. J. (2011). Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. Monografía. Universidad Orizaba, Veracruz, México. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx>
- Moscoso, V. D., Monroy, M. L., Narváez, V. M., Espinoza, M. C. y Astudillo, A. A. (2019). Efecto fitotóxico del material particulado pm10 recolectado en el área urbano de la ciudad de Cuenca Ecuador. *Iteckne*, 16(1). doi:10.15332/iteckne.v16i1.2157
- Organización de la Naciones Unidas [ONU]. (2022). Cómo se mide la calidad del aire. Programa Para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. (2015). texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión. Libro VI Anexo 4, 1-75. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) (2019). Problemas ocasionados por la quema en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista unmsm*. Empresa Agroindustrial Laredo S.A. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe>
- Pacheco, P., Parodi, M., Mera, E. y Salini, G. (2020). Variables meteorológicas y niveles de concentración de material particulado de 10 µm en Andacollo, Chile: un estudio de dispersión y entropías. *Información Tecnológica*, 31(6). doi:10.4067/S0718-07642020000600171
- Palacios, I. C. y Moreno, D. (2022). Contaminacion del ambiente. *Recimundo*, 6(2), 95. doi:10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103
- Pinero Carrasco, M. (2023). Caña de azúcar: valor nutricional y propiedades. *Mejor con Salud*. Editorial Naptuno. <https://mejorconsalud.as.com/>
- Ramírez Cueva, M. (2018). Servicio holandés de cooperación al desarrollo. Caña de Azúcar <https://www.bibalex.org/>
- Rodríguez Palacios, S. (2021). Calidad del aire ambiente, inhalación de contaminantes y consultas. *Emergencias*, 33, 411-412. <https://digital.csic.es/>

- Rodríguez, B. G., Huertas, B., Polo, M. S., González, C. C., Tauta, M. J., y Rodríguez, C. (2020). Modelo productivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Cundinamarca. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. doi:10.21930/agrosavia.model
- Romero, P. M., Olite, D. F. y Álvarez, T. M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 1-14. <https://www.redalyc.org/>
- Rotta, E. y Ramon, J. (2018). Análisis de daños estructurales en edificaciones por contaminación del Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociado al flujo vehicular en la vía nacional en el casco urbano del municipio de Pamplona, Norte de Santander. *Revista de la Facultad de Ciencias básicas*, 16(2), 145–152. doi:10.24054/01204211.v2.n2.2018.3007
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2015). Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. <https://www.gob.mx/>
- Soler Palau. (2018). Partículas en suspensión: qué son, cómo nos afectan y cómo podemos reducir su presencia. *El Blog de la Ventilación Eficiente*. <https://www.solerpalau.com/>
- Tejada, N. (2020). Regulación ambiental y la quema de caña de Azúcar en el distrito de la huaca, Piura, Período 2015-2018. <https://www.researchgate.net/publication>.
- Torres, R. O. y Cifuentes, E. S. (2004). Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en el Ecuador. Guayaquil, Ecuador: Publiasesores. <https://cincae.org/>
- Tribunal de Cuentas Europeo. (2018). Contaminación atmosférica: nuestra salud no tiene todavía la suficiente protección. *Informe Especial(23)*, 2-93. <https://op.europa.eu/>
- Trujillo, Caballero y Ramón. (2019). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado pm10 del municipio de san José de Cúcuta, norte de Santander. *Revista Ambiental Aire y Suelo*, 10(1). <https://revistas.unipamplona.edu.co/>
- Velandia, F., Granados, J., Ramón, J. y Roa, A. (2016). Caracterización de consorcios microbianos con potencial degradador de contaminantes en el

municipio de Pamplona, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 7(1). doi:10.24054/19009178.v1.n1.2016.3278

Villamizar, V. y Jaramillo, A. (2017). Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental de los territorios de la llanura inundable del araucana a partir del análisis de sedimentos recientes, Departamento de Arauca. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 8(1). doi:10.24054/aaas.v8i1.2056

Zuluaga Camacho, J. (2020). Compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; *Saccharum Officinarum* L, en el valle geográfico del río Cauca. *Scielo, desarro. soc. no.59* ISSN 0120-3584, Bogotá. <http://www.scielo.org.co/scielo.php>.

## ANEXOS

**Figura 5.**  
**Ubicación geográfica Ingenio Valdez**



Fuente: Google Earth, 2024

Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 6.**  
**Ubicación geográfica San Carlos**



Fuente: Google Earth, 2024

Elaborado por: La autora, 2024

Figura 7.

**Analizador de Gases de 3M modelo Monitor 3M-EVM-7**

Elaborado por: La autora, 2024

Figura 8.

**Niveles máximos permisibles de los contaminantes**

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de Exposición
PST	100	Anual
	300	24 horas
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM2.5	25	Anual
	50	24 horas

Fuente: Prieto, 2016

Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 9.**

***Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales en San Carlos***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 10.**

***Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales en San Carlos con el ing. Vega***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 11.**

***Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones normales en Valdez con el ing. Vega***



**Elaborado por: La autora, 2024**

**Figura 12.**

***Toma de datos de partículas de 2.5 y 10 micras en condiciones de quema***



**Elaborado por: La autora, 2024**

**Figura 13.**

***Toma de datos de partículas de 2.5 micras durante la quema en el ingenio Valdez***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 14.**

***Toma de datos de partículas de 10 micras durante la quema en el ingenio Valdez***



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 15.**

**Toma de datos de las concentraciones de partículas después de la quema en los ingenios azucareros por parte del ing. Yoansy García**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 16.**

**Finalización de toma de datos**



Elaborado por: La autora, 2024

**Figura 17.**  
**Visita de cierre con el tutor a cargo, Ing. Yoansy García**



Elaborado por: La autora, 2024

## APÉNDICES

### Apéndice N° 1.

**Base de datos codificada para el análisis de partículas de 2.5 micras en los ingenios**

Periodo	Localidad	Condición	Tipo de Part.	Distancia	P		HR	Temp	PR	Partículas	Lat	Long	X	Y
					Max	Min	Min	Min	Med					
2	2	1	2	6	0.185	0.085	78.5	27.8	24.4	2.5 micras	Desc	Desc	-2.134	-79.619
2	2	1	1	2	0.185	0.038	78.1	27.8	24.3	2.5 micras	Desc	Desc	-2.134	-79.619
2	2	7	2	2	0.221	0.059	78.8	28.9	24.0	2.5 micras	Desc	Desc	-2.121	-79.598
2	2	7	1	6	0.212	0.059	77.8	28.9	23.8	2.5 micras	Desc	Desc	-2.121	-79.598
2	2	1	1	6	0.254	0.035	78.5	28.0	25.3	2.5 micras	2.134	79.619	-2.134	-79.619
2	2	1	2	2	0.274	0.063	78.9	27.3	25.4	2.5 micras	2.134	79.619	-2.134	-79.619
2	2	7	1	2	0.094	0.041	78.8	27.5	24.0	2.5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	2	7	2	6	0.478	0.068	78.0	27.8	24.0	2.5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	1	1	1	6	0.138	0.042	78.4	28.5	25.4	2.5 micras	2.134	79.619	-2.134	-79.619
2	1	1	2	1	0.547	0.065	78.1	28.7	25.8	2.5 micras	2.134	79.619	-2.134	-79.619
2	1	7	1	1	0.094	0.039	77.7	28.8	25.1	2.5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	1	7	2	6	0.138	0.055	78.2	28.3	22.8	2.5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	2	1	1	6	0.484	0.044	81.3	28.4	24.8	2.5 micras	2.1041	79.6245	-2.104	-79.6245
2	2	1	2	2	0.274	0.063	78.9	27.3	25.4	2.5 micras	2.1041	79.6245	-2.104	-79.6245
2	1	7	1	2	0.083	0.033	78.9	28.2	22.8	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	1	7	2	4	0.140	0.056	78.7	28.2	22.8	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	1	1	1	4	0.094	0.034	78.5	28.8	22.7	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	1	1	2	6	0.138	0.055	78.2	28.3	22.8	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	2	1	1	6	0.181	0.045	71.9	28.3	23.4	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	2	1	2	2	0.278	0.081	71.0	28.1	23.3	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	2	7	1	2	0.106	0.040	88.4	27.1	22.7	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	2	7	2	2	0.237	0.068	78.1	27.9	22.8	2.5 micras	2.120	79.624	-2.120	-79.624
2	1	7	1	2	0.138	0.055	78.2	28.1	22.5	2.5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	1	7	2	4	0.243	0.069	74.1	28.4	22.3	2.5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	1	1	1	4	0.183	0.047	83.7	22.8	21.0	2.5 micras	2.120	79.593	-2.120	-79.593
2	1	1	2	6	0.228	0.071	81.1	24.4	21.7	2.5 micras	2.120	79.593	-2.120	-79.593
1	2	1	1	6	0.183	0.083	84.6	23.1	21.3	2.5 micras	2.124	79.578	-2.124	-79.578
1	2	1	2	2	0.324	0.141	87.3	23.1	21.2	2.5 micras	2.124	79.578	-2.124	-79.578
1	2	7	1	2	0.143	0.042	74.7	25.7	21.5	2.5 micras	2.132	79.586	-2.132	-79.586
1	2	7	2	6	0.215	0.076	78.4	24.1	21.1	2.5 micras	2.190	79.651	-2.190	-79.651
1	2	1	1	6	0.214	0.064	84.6	22.2	21.1	2.5 micras	2.190	79.651	-2.190	-79.651
1	2	1	2	6	0.603	0.101	83.0	24.2	21.5	2.5 micras	2.190	79.651	-2.190	-79.651
1	1	6	1	6	0.109	0.036	78.5	24.3	21.2	2.5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	6	2	6	0.173	0.054	78.2	25.8	21.5	2.5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	4	1	6	0.322	0.033	78.0	25.4	21.9	2.5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	4	2	3	2.087	0.056	77.6	25.9	22.2	2.5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	1	1	4	0.177	0.035	88.6	28.6	23.3	2.5 micras	2.12.34	79.39.83	-2.123	-79.3983
1	1	1	2	3	1.723	0.064	78.4	27.7	23.3	2.5 micras	2.12.34	79.39.83	-2.123	-79.3983
1	1	6	1	6	0.081	0.030	74.1	23.5	21.0	2.5 micras	2.12.34	79.39.83	-2.123	-79.3983
1	1	6	2	6	0.173	0.050	82.2	23.6	21.0	2.5 micras	2.12.34	79.39.83	-2.123	-79.3983
1	2	6	1	6	42.630	0.800	81.7	22.8	20.9	2.5 micras	2.211	79.441	-2.211	-79.441
1	2	6	2	6	144.738	0.710	78.9	23.9	2.2	2.5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	6	1	6	75.280	0.675	78.0	24.9	21.4	2.5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	6	2	6	43.510	0.628	78.5	23.6	21.4	2.5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	1	1	6	23.740	0.064	83.0	23.9	21.2	2.5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	1	2	6	31.400	0.138	82.4	23.6	21.0	2.5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624

Elaborado por: La autora, 2024

## Apéndice N° 2.

### Base de datos codificada para el análisis de partículas de 10 micras en los ingenios

2	1	7	2	4	0.243	0.089	74,1	28,4	22,3	2,5 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
2	1	1	1	4	0.183	0.047	83,7	22,8	21,0	2,5 micras	2.120	79.593	-2.120	-79.593
2	1	1	2	5	0.226	0.071	81,1	24,4	21,7	2,5 micras	2.120	79.593	-2.120	-79.593
1	2	1	1	5	0.183	0.083	84,5	23,1	21,3	2,5 micras	2.124	79.578	-2.124	-79.578
1	2	1	2	2	0.324	0.141	87,3	23,1	21,2	2,5 micras	2.124	79.578	-2.124	-79.578
1	2	7	1	2	0.143	0.042	74,7	25,7	21,5	2,5 micras	2.132	79.586	-2.132	-79.586
1	2	7	2	5	0.219	0.076	78,4	24,1	21,1	2,5 micras	2.190	79.651	-2.190	-79.651
1	2	1	1	5	0.214	0.084	84,5	22,2	21,1	2,5 micras	2.190	79.651	-2.190	-79.651
1	2	1	2	5	0.603	0.101	83,0	24,2	21,5	2,5 micras	2.190	79.651	-2.190	-79.651
1	1	5	1	5	0.109	0.036	79,5	24,3	21,2	2,5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	5	2	5	0.173	0.054	79,2	25,8	21,5	2,5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	4	1	5	0.322	0.033	78,0	25,4	21,9	2,5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	4	2	3	2.087	0.066	77,6	25,9	22,2	2,5 micras	2.189	79.651	-2.189	-79.651
1	1	1	1	4	0.177	0.035	68,8	28,6	23,3	2,5 micras	2.12,34	79.39,03	-2.123	-79.3903
1	1	1	2	3	1.723	0.084	70,4	27,7	23,3	2,5 micras	2.12,34	79.39,03	-2.123	-79.3903
1	1	5	1	5	0.081	0.030	74,1	23,5	21,0	2,5 micras	2.12,34	79.39,03	-2.123	-79.3903
1	1	5	2	5	0.173	0.060	82,2	23,6	21,0	2,5 micras	2.12,34	79.39,03	-2.123	-79.3903
1	2	8	1	5	42.530	0.800	81,7	22,8	20,9	2,5 micras	2.211	79.441	-2.211	-79.441
1	2	8	2	5	144.730	0.710	79,9	23,9	2,2	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	8	1	5	75.280	0.075	78,0	24,9	21,4	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	8	2	5	43.510	0.528	79,5	23,6	21,4	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	1	1	5	23.740	0.084	83,0	23,9	21,2	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	1	2	5	31.400	0.139	80,4	23,6	21,0	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	1	1	5	0.129	0.037	83,2	23,1	20,7	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	1	2	5	0.277	0.107	78,8	22,6	20,4	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	1	4	1	5	0.143	0.045	69,8	27,3	22,9	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	1	4	2	5	0.283	0.078	70,0	27,6	22,8	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	4	1	5	3.428	0.177	73,1	27,4	22,5	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	4	2	5	3.428	0.177	72,9	27,4	22,7	2,5 micras	2.100	79.624	-2.100	-79.624
1	2	8	1	5	87.480	0.102	68,2	28,1	23,6	2,5 micras	21.104	79.623	-2.110	-79.623
1	2	8	2	5	1.517	0.200	68,8	28,2	23,1	2,5 micras	21.104	79.623	-2.110	-79.623
1	2	8	1	5	87.570	0.106	60,5	27,7	24,0	10 micras	2.121	79.599	-2.121	-79.599
1	2	8	2	5	16.480	0.117	70,5	28,4	23,3	10 micras	2.119	79.573	-2.119	-79.573
1	1	8	1	5	0.683	0.042	72,5	25,7	22,2	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	1	8	2	3	0.250	0.067	72,3	27,0	22,3	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	2	1	1	3	0.139	0.047	70	26,1	21,9	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	2	1	2	2	0.303	0.076	72,9	26,2	21,8	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	2	8	1	5	58.320	0.052	69,5	26	21,3	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	2	8	2	5	1.744	0.185	70,8	27,2	21,7	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	1	8	1	5	4.454	0.082	71,2	26,8	21,4	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	1	8	2	5	5.195	0.194	70,2	27,2	21,7	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	1	8	1	5	87.960	0.060	70,8	27,1	23,7	10 micras	2.06,23,8	79.37,11,0	-2.062	-79.3711
1	1	8	2	5	144.290	0.112	65,8	26,7	21,9	10 micras	2.122	79.626	-2.122	-79.626
1	2	5	1	5	0.311	0.047	72,2	28,3	21,4	10 micras	2.121	79.598	-2.121	-79.598
1	2	5	2	5	0.202	0.078	73,1	28,2	21,4	10 micras	2.120	79.593	-2.120	-79.593
1	2	5	1	5	87.510	0.055	73,8	28,1	21,6	10 micras	2.120	79.593	-2.120	-79.593
1	2	5	2	4	0.109	0.048	74,7	25,8	21,2	10 micras	2.119	79.573	-2.119	-79.573
1	2	8	1	5	0.303	0.123	70,8	27,3	22,0	10 micras	2.125	79.597	-2.125	-79.597
1	2	8	2	2	0.353	0.198	72,5	26,7	22,1	10 micras	2.125	79.597	-2.125	-79.597

Elaborado por: La autora, 2024