

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**“ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR QUEMA DE
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum Officinarum L*) EN CASA
GRANDE, LA LIBERTAD”**

**TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

CINDY AURORA ALFARO GOICOCHEA

**LIMA - PERÚ
2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR QUEMA DE
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum Officinarum L*) EN CASA GRANDE,
LA LIBERTAD”**

Presentada por:

CINDY AURORA ALFARO GOICOCHEA

Trabajo Académico para Optar Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Sergio Artemio Pacsi Valdivia

PRESIDENTE

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro

MIEMBRO

Mestre. Jerónimo García Villanueva

MIEMBRO

Mg. Quim. Mary Flor Cèsare Coral

ASESORA

DEDICATORIA

A mis padres, Jorge y María Elena, por todo el apoyo y amor incondicional que me demuestran día a día, y por ser un ejemplo en vida de esfuerzo y sacrificio.

A mis hermanos, Jorge y Javier, por representar la superación y motivación necesarias para afrontar las situaciones más difíciles.

A mi mamá Aurorita, mi papá Conve y mi abuelito Lucho, que me protegen desde el cielo, y a mi mami Leny que me guía y cuida aquí en la tierra.

A toda mi familia, en especial a mis tíos Lichi, Delia y Peko, por ser parte fundamental de mi vida y crecimiento.

A Joufred, mi amigo y compañero de vida, por todo su apoyo, palabras de aliento y amor durante estos años.

A Amzy, por su amistad incondicional desde que iniciamos juntas el camino universitario.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesora y asesora, Mary Flor Césare, por todo su apoyo, disposición para atender mis consultas y consejos indispensables durante la realización de esta investigación.

A los profesionales de la Dirección de Evaluación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, por abrirme las puertas y brindarme su apoyo durante mi desarrollo profesional y para el inicio de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Antecedentes teóricos.....	4
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales	5
2.2 Descripción de la Actividad Azucarera.....	5
2.2.1 Ventajas y desventajas de la cosecha mediante quema de caña de azúcar	8
2.3 Alteración de la calidad del Aire	9
2.3.1 Alteración de la calidad del aire mediante quema de caña	10
2.4 Material particulado atmosférico.....	12
2.4.1 Material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀) y a 2,5 micras (PM _{2,5})	12
2.4.2 Efectos sobre la salud del material particulado.....	13
2.5 Dióxido de azufre (SO ₂) y monóxido de carbono (CO).....	13
2.5.1 Efectos sobre la salud de Dióxido de azufre (SO ₂) y monóxido de carbono (CO).....	14
2.6 Estándares de Calidad del Aire	14
2.7 Guías de calidad del aire	15
2.8 Índice de Calidad del Aire - Air Quality Index (AQI)	16
2.9 Índice de Calidad del Aire Nacional (INCA).....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 Zona de estudio	20
3.2 Metodología	25
3.2.1 Recopilación de información y diagnóstico situacional con respecto a la actividad agroindustrial en la zona de estudio	25
3.2.2 Análisis de las concentraciones de PM ₁₀ y PM _{2,5} , CO y SO ₂ y comparación con los ECA para Aire y valores guía de la OMS.....	26
3.2.3 Determinación de la influencia de la dirección y velocidad del viento, humedad relativa y temperatura sobre el material particulado y gases.....	28
3.2.4 Cálculo del Índice de Calidad del Aire de los contaminantes evaluados y comparación con los rangos de los niveles de contaminación.....	30

3.2.5 Propuesta de alternativas de solución para reducir los impactos identificados generados por la quema de la caña de azúcar.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 Recopilación de información y diagnóstico situacional de la zona de estudio con respecto a la actividad agroindustrial	34
4.2 Análisis de las concentraciones de PM ₁₀ y PM _{2,5} , CO y SO ₂ y comparación con los ECA y valores guía de la OMS.....	38
4.2.1 Material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀).	38
4.2.2 Material particulado menor a 2,5 micras (PM _{2,5}).....	41
4.2.3 Monóxido de Carbono (CO)	45
4.2.4 Dióxido de Azufre (SO ₂)	49
4.3 Influencia de la dirección y velocidad del viento, humedad relativa y temperatura sobre el material particulado	50
4.4 Cálculo del Índice de Calidad del Aire de los contaminantes evaluados y comparación con los rangos de niveles de contaminación.....	56
4.4.1 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al PM ₁₀	65
4.4.2 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al PM _{2,5}	66
4.4.3 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al CO	67
4.4.4 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al SO ₂	67
4.5 Propuestas de alternativas de solución para reducir los impactos identificados generados por la quema de caña de azúcar.....	68
4.5.1 Cosecha en verde	68
4.5.2 Incentivos Económicos	69
4.5.3 Planes de Manejo Ambiental mejorados.....	69
V. CONCLUSIONES.....	71
VI. RECOMENDACIONES	73
VII. BIBLIOGRAFIA.....	74
VIII. ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.....	15
Tabla 2: Guías de Calidad del Aire	15
Tabla 3: Rangos para los valores del AQI.....	16
Tabla 4: Acciones preventivas de acuerdo con el valor del AQI para el contaminante evaluado	17
Tabla 5: Valores del Índice de Calidad del Aire	18
Tabla 6: Cuidados y Recomendaciones de acuerdo al INCA.....	19
Tabla 7: Puntos de monitoreo	23
Tabla 8: Cronograma de visita en campo	25
Tabla 9: Metodologías de análisis empleadas	28
Tabla 10: Intensidad de relación del valor del coeficiente "r"	30
Tabla 11: Rangos del AQI e intervalos de las concentraciones	32
Tabla 12: Ecuación para cálculo del INCA y sus intervalos	33
Tabla 13: Quemadas de campo de caña identificadas durante el periodo de monitoreo.....	34
Tabla 14: Resultado relación $PM_{2,5}/PM_{10}$ diaria por punto de monitoreo.....	44
Tabla 15: Resultados de prueba de correlación de Spearman con material particulado	55
Tabla 16: índices diarios de Calidad del Aire para PM_{10} y $PM_{2,5}$	58
Tabla 17: Índices de Calidad del Aire para CO.....	59
Tabla 18: Índices diarios de Calidad del Aire para SO_2	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano de ubicación de la zona de estudio.....	22
Figura 2: Distribución de los puntos de monitoreo	24
Figura 3: Registro fotográfico de quemas de caña identificadas.....	36
Figura 4: Quemas de caña identificadas durante el periodo de monitoreo (8 al 22 de noviembre de 2018)	37
Figura 5: Concentraciones de PM ₁₀ para el punto CA-3.....	38
Figura 6: Concentraciones de PM ₁₀ para el punto CA-13.....	39
Figura 7: Concentraciones de PM ₁₀ para el punto CA-17.....	39
Figura 8: Diagrama de Cajas para PM ₁₀	40
Figura 9: Concentraciones de PM _{2,5} para el punto CA-3.....	41
Figura 10: Concentraciones de PM _{2,5} para el punto CA-13	42
Figura 11: Concentraciones de PM _{2,5} para el punto CA-17.....	43
Figura 12: Diagrama de Cajas para PM _{2,5}	43
Figura 13: Concentraciones de CO para el punto CA-13.....	46
Figura 14: Concentraciones de CO para el punto CA-17.....	47
Figura 15: Concentraciones de SO ₂ para el punto CA-13.....	49
Figura 16: Concentraciones de SO ₂ para el punto CA-17	50
Figura 17: Rosas de viento correspondientes al periodo de monitoreo (8 al 22 de noviembre de 2018)	52
Figura 18: Variación temporal de la temperatura del aire durante el periodo de monitoreo	53
Figura 19: Variación temporal de la humedad relativa durante el periodo de monitoreo ...	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resumen de concentraciones de material particulado en el punto CA-3	85
Anexo 2: Resumen de concentraciones de material particulado en el punto CA-13	86
Anexo 3: Resumen de las concentraciones de material particulado en el punto CA-17	86
Anexo 4: Resumen de concentraciones de CO en los puntos CA-13 y CA-13.....	87
Anexo 5: Resumen de concentraciones horarias de SO ₂ de los puntos CA-13 y CA-17 ...	95
Anexo 6: Resumen de concentraciones de SO ₂ en el punto CA-13	103
Anexo 7: Resumen de concentraciones de SO ₂ en el punto CA-17	103
Anexo 8: Registro diario de las variables meteorológicas en el punto CA-3.....	104
Anexo 9: Registro diario de las variables meteorológicas en el punto CA-13.....	104
Anexo 10: Registro diario de las variables meteorológicas en el punto CA-17.....	105
Anexo 11: Álbum fotográfico.....	106

RESUMEN

La presente investigación determina la alteración de la calidad del aire producida por las actividades de quema de caña de azúcar, en los campos ubicados a los alrededores del distrito Casa Grande y sus centros poblados anexos. Para ello, se trabajó con resultados de PM_{10} , $PM_{2,5}$, CO y SO_2 correspondientes a un monitoreo de 15 días, del 8 al 22 de noviembre de 2018 en tres puntos de monitoreo ubicados estratégicamente, utilizando muestreadores de partículas de alto volumen y muestreadores activos de bajo volumen. Los resultados obtenidos mostraron que, si bien las concentraciones para material particulado y gases no sobrepasaron el ECA nacional, si se obtuvo una superación de los valores guía establecidos por la OMS, tanto para PM_{10} como para $PM_{2,5}$ y SO_2 . Además, analizando el comportamiento local de las variables meteorológicas, se identificó que la velocidad del viento y temperatura tiene influencia significativa sobre concentración y distribución de los contaminantes. Por otro lado, de los cálculos hechos por el AQI y el INCA, se obtuvo una calidad de aire Buena y Moderada para todos los puntos de monitoreo con respecto al material particulado. En el caso de los gases contaminantes, se obtuvo una Buena calidad del aire para todos los días en relación al CO, y con respecto al SO_2 , se tuvo como resultado una calidad del aire Moderada bajo los cálculos hechos por el AQI. Por último, se planteó la cosecha en verde como la principal alternativa de solución para reducir los impactos generados por la quema de caña de azúcar, seguido de los incentivos económicos y tasas ambientales, así como una mejora en los Planes de Manejo Ambiental de los ingenios azucareros, con miras a la implementación de tecnologías apropiadas y eficientes para reducir o evitar la cosecha mediante quema y las emisiones durante el proceso de producción dentro de la empresa.

Palabras clave: material particulado, gases contaminantes, AQI, INCA

ABSTRACT

This research determines the alteration of the Air Quality produced by the activities of sugarcane burning in the fields located around the Casa Grande district and its annexed populated centers. For this purpose were used the results of PM₁₀, PM_{2.5}, CO and SO₂ corresponding to a 15-day monitoring from November 8 to 22 of 2018 at three strategically located points, using high and low volumetric samplers. The results obtained showed that, although the concentrations of particulate matter and gas did not exceed the national regulations, the guideline values established by the WHO were exceeded both for PM₁₀, PM_{2.5}, and SO₂. In addition, by analyzing the local behavior of the meteorological variables, it was identified that the wind speed and temperature have a significant influence on the concentration and distribution of pollutants. On the other hand, from the calculations made by the AQI and INCA, a Good and a Moderate air quality index was obtained for all monitoring points for particulate matter. In the case of the polluting gases, a Good air quality was obtained in every day of the monitoring according to the CO, and with SO₂, the result stood out for obtaining a moderate air Quality index under the calculations made by the AQI. Finally, the green harvest was considered as the main solution alternative in order to reduce the impacts generated by the sugarcane burning, followed by economic incentives and Environmental rates, as well as an improvement in the Environmental Management Plans of the sugarmills, aiming the implementation of appropriate and efficient technologies to reduce or avoid harvesting by burning and emissions during the production process.

Key words: particulate matter, polluting gases, AQI, INCA

I. INTRODUCCIÓN

La producción de azúcar es una actividad agroindustrial que se realiza en el Perú, siendo la costa, la región donde se encuentra el mayor porcentaje de área cultivada, esto se debe a que las condiciones climáticas y de suelo, permiten que el cultivo se realice todo el año (INIA, 2005). Además, según la FAO (2007), nuestro país posee el mayor rendimiento a nivel mundial en la producción de caña de azúcar, siendo una importante característica que lo nombra como un productor y exportador de etanol a partir de la caña de azúcar (Castro *et al.*, 2008).

Según los resultados del IV Censo Nacional Agropecuario, realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática en el año 2018, en el Perú se cultivan alrededor de 150 000 hectáreas de caña de azúcar y se producen alrededor de 10,34 millones de toneladas de caña y más de un millón de toneladas de azúcar, 22 por ciento más respecto al 2017, principalmente en los departamentos de La Libertad y Lambayeque.

La cosecha de la caña de azúcar se realiza con una previa quema de las plantaciones, con lo que cual se trata de facilitar la cosecha manual pues se eliminan residuos vegetales y malezas. Esta actividad puede generar diferentes impactos ambientales durante el proceso de cultivo, en el 2015, el Comité Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Caña de Azúcar de México (CONADESUCA) plasmó los siguientes impactos:

- Emisión de aguas residuales como parte del proceso para producir azúcar.
- Residuos sólidos contaminados procedentes de la preparación de materia prima y de la purificación del extracto.
- Emisión de contaminantes atmosféricos procedentes de la quema del cultivo previo al corte.
- Compactación y salinización de suelos y alta residualidad de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas en campo).

Para el presente estudio nos enfocamos en la emisión de contaminantes atmosféricos por la quema del cultivo previo al corte, como uno de los principales impactos ambientales generados en este proceso (Dancé & Sáenz, 2016). Dicha quema agrícola libera en la atmósfera monóxido de carbono (CO), dióxido de azufra (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), metano (CH₄), hidrocarburos no metánicos (NMHC), partículas menores a 10 micras (PM₁₀) y a 2,5 micras (PM_{2,5}) (Montoya, 2011)

Diferentes estudios muestran que existe relación entre los altos niveles de partículas atmosféricas y el desarrollo de efectos adversos sobre la salud humana (Gowers *et al.*, 2012). La inhalación de estas partículas puede interferir principalmente el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, la enfermedad constrictiva ventilatoria crónica, el enfisema pulmonar y el asma bronquial. Así mismo, existen problemas con las personas que cortan la caña, ya que por estar expuestas a altas temperaturas sufren además de quemaduras y deshidratación, lo que podría provocar infecciones urinarias (Morales, 2011). Las normas y guías que establecen los umbrales para contaminantes criterio son elaborados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el caso de Perú, estos son elaborados por el Ministerio del Ambiente (MINAM).

En tal contexto, se decidió realizar el análisis de la alteración de la calidad producto de la quema de caña de azúcar, escogiéndose al distrito Casa Grande, ubicado en la provincia de Ascope, La Libertad, como zona de estudio. Ello debido a que en este distrito se encuentra ubicada la empresa agroindustrial Casa Grande S.A, la cual cuenta con amplios campos de caña distribuidos de manera homogénea alrededor del ámbito de estudio y en donde la práctica de quema de caña de azúcar es recurrente y una de las principales formas de cosecha.

La presente investigación tiene como objetivo general el evaluar la alteración de la calidad del aire (PM₁₀, PM_{2,5}, CO y SO₂) en las poblaciones ubicadas a los alrededores de los campos de cultivo y a la empresa azucarera Casa Grande S.A., por efecto de las actividades de quema de caña de azúcar, esto a su vez desencadena cinco objetivos específicos, los cuales son: recopilar información y presentar un diagnóstico situacional con respecto a la actividad agroindustrial de la zona; analizar las concentraciones de PM₁₀, PM_{2,5}, CO y SO₂ obtenidos y comparar con los Estándares Nacionales de Calidad de Aire y valores guía de la Organización Mundial de la Salud; determinar la influencia de la dirección y velocidad del viento, humedad relativa y temperatura sobre el material particulado y gases analizados;

calcular el Índice de Calidad del Aire de los contaminantes evaluados; y por último, proponer alternativas de solución para reducir los impactos identificados generados por la quema de la caña de azúcar.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes teóricos

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Madriñan (2002) en su tesis denominada “*Compilación y análisis sobre la contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; Saccharum Officinarum L, en El Valle Geográfico Del Rio Cauca*” presenta la recopilación de información existente en Colombia sobre la quema y la requema de la caña de azúcar *Saccharum officinarum L*, así como el análisis del impacto ambiental que esta tiene. La investigación concluye que esta actividad tiene gran influencia en el deterioro del aire, encontrando así que en un promedio 450 hectáreas de cultivo se emiten, 34.155 kg/día de partículas; 370.012 kg/día de CO y 54.648 kg/día de hidrocarburos.

Dávalos (2007) en su estudio “La Caña de Azúcar ¿una amarga externalidad?” realizada en Palmilla (Valle del Cauca) en Colombia, concluye que la población está siendo afectada por la contaminación del aire producida por quema de caña de azúcar, causando de modo indirecto un efecto nocivo en las personas por la generación de material particulado.

Contreras (2010) en su tesis, “*Impactos ambientales de la producción de agrocombustibles derivados de la caña de azúcar en los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla*”, tiene como finalidad identificar los impactos ambientales en la costa sur de Guatemala influenciados por la expansión de siembra de caña de azúcar para la producción de agrocombustibles, es por ello que concluye, que la quema de los campos de caña antes y después de la cosecha contribuye al efecto invernadero, afectando directamente a la salud de los pobladores.

Vilaboa & Barroso (2013) en la ponencia “*Contaminación ambiental por quema de caña de azúcar: Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz*” concluyen que

un problema importante en esta región es la falta de información sobre la estimación del balance de Carbono en los sistemas cañeros, por ello plantea realizar dichos estudios en los agrosistemas monocultivados en lo que se usa la quema de caña para la cosecha, de igual manera, plantea incentivar la formación de organizaciones ecologistas que se opongan a la quema de caña de azúcar y apoyen la mejoría de la calidad de vida de los pobladores.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Carrera & Loyola (2010) en su tesis *“Impacto Ambiental Generado por la Quema de la Caña de Azúcar en Laredo – Trujillo”* busca determinar el impacto ambiental generado por la actividad azucarera, concluyendo que, al aumentar la producción de caña de azúcar también se incrementa la contaminación en el aire, por lo que recomienda implementar un Sistema De Control De Emisiones Producidas.

Torres (2013) en su tesis presentada para optar el grado de licenciatura denominada *“Programa de adecuación y manejo ambiental para controlar, prevenir y mitigar el impacto ambiental en la empresa agroindustrial Casa Grande S.A.A,* recomienda optimizar los almacenes de residuos sólidos y materiales peligrosos, bajo la Ley General de Residuos Sólidos y el reglamento.

Dancé y Sáenz (2016) en su investigación denominada *“La cosecha de caña de azúcar: impacto económico, social y ambiental”* expone los efectos nocivos contra la vida humana y el medio ambiente como consecuencia de la quema de caña de azúcar, teniendo como finalidad mejorar las condiciones a mediano y a largo plazo.

2.2 Descripción de la Actividad Azucarera

El Perú cuenta con 160 mil hectáreas entre los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima y Arequipa. Lo que contribuye actualmente con el 3.6 por ciento del PBI Agrícola (Segura, 2018).

Barroso & Vilabora (2013) describen los siguientes pasos llevados a cabo en la actividad azucarera:

- a. Preparación del suelo: Consiste en efectuar una serie de labores para asegurar que las condiciones físicas del suelo sean satisfactorias para el desarrollo normal del sistema radicular, así como para mejorar la disponibilidad de nutrientes y humedad por parte de la planta, considerando que el establecimiento de cultivo puede durar de 10 a 15 años. Las tareas comprendidas en esta actividad son: aradura, nivelación, subsolación, rastrillada y surcada, en donde el número de pases depende del tipo de suelo.
- b. Siembra: La siembra tradicional consiste en la colocación de trozos o esquejes de tallos provenientes de semilleros vigorosos, en el fondo del surco en forma de hilera. Los esquejes tienen un tamaño de 60 cm. de longitud y se colocan 30 unidades en 10 o 12 metros de surco. Luego, la semilla se tapa con una capa de tierra de 5 a 10 cm.
- c. Riegos para la germinación: Una vez sembrada la semilla, ésta debe ser regada de inmediato para asegurar una óptima germinación. Posteriormente se deben aplicar de 1 a 3 riegos con una frecuencia de 15 días, para que haya un buen macollamiento¹ y establecimiento de la plantación. Normalmente con el segundo riego se aplica una mezcla de herbicida tipo preemergente para mantener limpio el campo de malezas durante los 2 a 3 meses de edad.
- d. Fertilización: Cuando la plantación alcanza de 60 a 90 días de edad, se realiza la fertilización para lo cual existen diferentes sistemas de aplicación tanto manual como mecanizada. Los principales nutrientes requeridos por la caña de azúcar como el Nitrógeno, Fósforo, Potasio, sus fuentes y dosis dependen del tipo de suelo.
- e. Control de malezas: Después de la fertilización y de la aplicación de algunos riegos, es necesario realizar el control de la mala hierba (malezas) que pueden competir con la caña, por aprovechamiento de luz, nutrientes y agua. El control puede ser manual, mecánico o químico, (utilizando mezclas de herbicidas) en forma individual o combinada, buscando un control integrado para minimizar la utilización de herbicidas
- f. Riego: La disponibilidad de humedad por parte de la caña de azúcar es crítica, en especial en zonas secas donde no llueve como en la costa peruana. Para ello se requiere de la aplicación de riegos con frecuencia que varían entre los 15 y 40 días, dependiendo del tipo de suelo, clima, edad de la caña, etc. El riego tradicional se realiza por gravedad, suministrando el agua en cada surco de caña mediante la utilización de acequias conductoras desde las fuentes o tomas hasta el campo. Las fuentes de agua pueden ser de río, pozos o filtraciones. En condiciones normales un campo recibe entre 8 a 15 riegos por cultivo, hasta

¹ Etapa de desarrollo de un cultivo, en la que se obtiene una misma sepa, lo cuales logran alcanzar la madurez con el debido cuidado.

la edad de 11 a 13 meses. A partir del último riego se inicia el proceso de agostamiento o maduración de la caña.

- g. Control de plagas: Durante el desarrollo del cultivo se presentan diferentes plagas de insectos que atacan la plantación y pueden llegar a causar daños económicos de importancia. En general, las plagas de la caña de azúcar en el Perú pueden ser manejadas y controladas mediante prácticas agronómicas y liberaciones de enemigos naturales de estas plagas, sin requerir de la utilización de insecticidas.
- h. Cosecha: Después del último riego se inicia el proceso de maduración de la caña, que consiste en la transformación y acumulación de los productos resultantes de la fotosíntesis que genera sacarosa en los tallos. La cosecha presenta los siguientes pasos:
 - ✓ Quema: La cosecha de la caña se inicia con la quema, que consiste en la eliminación de la mayor proporción de hojas secas, lo cual además de favorecer el rendimiento del proceso de corte manual, reduce los riesgos de accidentes, evita el transporte de hojarasca hasta la fábrica y minimiza la cantidad de residuos que quedan en el campo para la siguiente campaña. Pero esta práctica genera la emisión de cenizas que afectan el bienestar de los pobladores.
 - ✓ Corte: El sistema de corte de caña de azúcar más utilizado es el manual. El cual consiste en cortar con machete los tallos a ras del suelo, eliminar la parte apical verde del tallo; separar las hojas, caña seca, mamones y disponerlos en hileras en el campo.
 - ✓ Cargo y transporte: Existen diferentes modalidades para cargar y transportar la caña hasta la fábrica. En el Perú se utiliza el carguío mecánico con cargadores frontales, alzadoras de uña y el carguío manual en menor proporción. Igualmente, los sistemas de transporte varían desde camiones chicos de 6 a 12 toneladas, camiones con 1 o 2 carretas que transportan entre 25 y 40 toneladas o trenes de tractores y vagones. Los factores más importantes durante el proceso de cosecha son los de llevar la caña lo más limpia posible y en el menor tiempo, para que la calidad obtenida en el campo no se deteriore durante la cosecha.
- i. Manejo de las socas: Se le denomina soca al inicio de un nuevo proceso en donde la cepa brota para generar un nuevo cultivo. Durante la soca se deben realizar una serie de labores que en su mayoría son similares a las ejecutadas en el primer cultivo o caña planta. La duración de la plantación en condiciones de un buen manejo puede llegar hasta obtener entre

5 y 8 cosechas, definidas principalmente por la reducción en la producción, problemas sanitarios, cambios de diseños de campos, cambio de variedades, etc.

2.2.1 Ventajas y desventajas de la cosecha mediante quema de caña de azúcar

Barroso & Vilabora (2013) menciona las ventajas y desventajas acerca de la quema de caña de azúcar para la cosecha llevada a cabo en la actividad azucarera:

- **Ventajas**
 - a. Facilitación el corte de los tallos, lo que en consecuencia ofrece una mejor calidad de corte y de la materia cosechada, debido a la reducción de los materiales vegetales que se adhieran al tallo.
 - b. Facilitación la cosecha de variedades de caña difíciles, las variedades difíciles generan dificultades al momento de la corta, generando así una ineficiencia en el campo. Pueden presentar características como: mayor cantidad de hojas, tallos poco erectos o deformes, presencia de pelo con efectos urticantes, entre otras.
 - c. Agilización de la cosecha de la plantación, debido al menor empleo de esfuerzo físico y de tiempo, por la facilidad de la corta de tallos.
 - d. Incrementación del rendimiento de los cortadores, debido al poco esfuerzo físico que implica la corta y la carga de dichos tallos.

- **Desventajas**
 - a. La quema de caña de azúcares genera gases con efecto invernadero, debido a que la que este proceso libera CO₂ a la atmósfera, lo que contribuye al calentamiento global y el efecto invernadero.
 - b. La quema de este tipo de material genera residuos que son depositados en el suelo, al no poder ser procesados adecuadamente, con el tiempo provocan que el suelo pierda su fertilidad.
 - c. Estudios aseguran que las cenizas producidas por la quema de caña de azúcar afectan a personas que padecen de enfermedades respiratorias, que en su mayoría de casos son niño y adultos mayores.
 - d. La quema de caña de azúcar puede tonarse una práctica peligrosa, debido a que el fuego puede volverse incontrolable, y poner en riesgo la seguridad de las personas, animales, instalaciones, plantaciones, entre otros.

2.3 Alteración de la calidad del Aire

La atmósfera está constituida por varias capas de aire, las de mayor importancia para la presente investigación son la tropósfera y estratósfera. La tropósfera es la capa delgada de aire relativamente denso más cercana a la superficie de la tierra, esta contiene el aire que todos los seres vivos necesitan para respirar. La estratósfera es la capa protectora que ayuda a absorber y dispersar la energía solar (Vallero, 2014).

El aire que respiramos está formado por muchos componentes químicos. Los componentes primarios del aire son el nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y vapor de agua (H₂O). También se encuentran pequeñas cantidades de muchas otras sustancias, incluidas el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno y metano (Vallero, 2014).

La degradación de la calidad del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego, sin embargo, este se acentuó con el nacimiento de la revolución industrial en Inglaterra durante el siglo XVIII, en donde las fábricas para producir requerían energía mediante la quema de combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo. (Romeo *et al.*, 2006).

Querol (2008) define la alteración de la calidad del aire como la presencia de partículas y/o agentes contaminantes que pueden modificar las condiciones en la calidad de aire de manera negativa pudiendo resultar perjudiciales para la atmósfera. La contaminación puede darse por fuentes naturales (volcanes, zonas erosionadas, etc.) o antropogénicas.

Las fuentes antropogénicas de alteración y/o contaminación del aire pueden ser de dos tipos (Schwela & Goelzer, 2013):

- Estáticas: como la producción agrícola, minas, zonas industriales, fábricas de productos químicos, minerales, centrales de generación de energía y fuentes municipales como la calefacción de viviendas y edificios, incineradoras de residuos municipales, plantas de depuración, etc.
- Móviles: vehículos con motor de combustión (vehículos ligeros con motor de gasolina, vehículos pesados y ligeros con motor diese, motocicletas y aviones).

2.3.1 Alteración de la calidad del aire mediante quema de caña

Ripoli (2000) indica que, al quemar la caña de azúcar como actividad previa a la cosecha, se presentan una serie de problemas ambientales como lo son: el incremento de la contaminación del aire, incremento en los niveles de ozono en la baja atmósfera y del monóxido de carbono provocando efecto invernadero.

En lo que respecta a la contaminación atmosférica, Molina (1998) menciona que las quemas agrícolas, entre ellas la quema de la caña de azúcar antes y después de la cosecha, se encuentra junto a otros factores como causa del deterioro de la calidad del aire. La adopción de la quema antes de la cosecha y la requema de los residuos general un impacto ambiental negativo sobre todo en las poblaciones asentadas alrededor de las áreas de cultivo de caña.

Igualmente, en un estudio realizado en el Valle del Cauca, por la Universidad de la Salle y citado por Molina (1998), con el fin de evaluar la contaminación atmosférica generada por la quema de caña de azúcar y su proceso agroindustrial, se obtuvieron cifras en cuanto a la emisión de partículas, monóxido de carbono, hidrocarburos y dióxido de azufre. En los reportes mensuales hay coincidencias entre los valores más altos de partículas en suspensión y la época de la quema de caña de azúcar en algunas de las zonas estudiadas.

Madriñan (2002), establece que la quema de caña es un proceso que desprende gran cantidad de calor, incrementando los niveles de evaporación del agua contenida en la materia vegetal y el suelo. El aire húmedo es sobrecalentado y eleva los vapores, así como las partículas (cenizas) que operan como núcleos higroscópicos en el momento en que la masa de aire alcanza la temperatura de condensación provocando la formación de nubes. Al aumentar la frecuencia de este tipo de prácticas, parámetros como la temperatura, humedad, evapotranspiración y lluvias, están sufriendo alteraciones que inciden en los valores medios que identifican el microclima de la zona afectada. Las partículas en suspensión y los humos procedentes de las quemas reducen la visibilidad y entran a formar parte del fenómeno denominado efecto de invernadero.

De acuerdo a Mejía (2004), en El Salvador la quema de caña genera un impacto negativo sobre la atmósfera debido a la liberación de dióxido de carbono y partículas totales suspendidas debido a la falta de prácticas adecuadas en el sector agrícola. Así mismo,

menciona que, en Honduras, las emisiones de material particulado y monóxido de carbono producto de la cosecha por quema de caña, así como olores característicos que persisten durante el tiempo debido a las fumigaciones con productos químicos en el cultivo. Finalmente, indica que, en Nicaragua el impacto en la calidad del aire está directamente afectado por las actividades agroindustriales, quemas no controladas y quemas agrícolas, siendo una práctica muy común y popular en las zonas cañeras debido a la liberación de partículas totales suspendidas y gases con alta toxicidad.

En la ciudad de Piracicaba, Brasil, concluyeron que las prácticas de cosecha mediante quema para la caña de azúcar, son las principales fuentes de material particulado $PM_{2,5}$, PM_{10} y NO_2 , afectando también la composición química del agua de lluvia (Godoi *et al.*, 2004; Oppenheimer *et al.*, 2004 y Lara *et al.*, 2005).

Dávalos (2007), indica que la quema de caña de azúcar es la principal fuente de alteración y del aire ya que, emite el 50% del total de contaminación por PM_{10} ; relación que se corrobora a través de la estimación lineal, hallando una estrecha relación entre la quema de la caña de azúcar y la concentración de PM_{10} , el cual sobrepasa los límites diarios máximos permitidos por la EPA.

Carrera (2009), en un estudio hecho en Laredo, Trujillo - Perú, llega a la conclusión que el principal impacto previsible identificado fue el golpe sobre la calidad del aire por la presencia de material particulado, ocasionado al momento de la quema de caña de azúcar, mediante la evaluación de PM_{10} , CO, SO_x y NO_x .

Según Larios (2010), la quema de caña de azúcar en Guanacaste en Costa Rica produce contaminación en la atmósfera, el hecho de no quemarse por completo la caña de azúcar genera el monóxido de carbono (CO), gas tóxico que deteriora la capa de ozono y permitiendo la entrada directa de los rayos ultravioletas, por ende, dicha práctica atenta con la calidad del aire.

Hernández & Morales (2019), con ayuda de la Universidad Nacional de Colombia (U.N) analizaron las mediciones de material particulado (PM) y ozono Arauca y Yopal, ciudades con poca actividad industrial y de tráfico vehicular, y exploraron su relación con incendios en las sabanas venezolanas del Orinoco. A partir de ese estudio, los resultados de

concentraciones de PM_{10} y ozono fueron sorprendentemente altas, encontrándose muy por encima del estándar colombiano de calidad del aire para PM_{10} ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un tiempo de exposición de 24 horas), con valores de hasta $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La quema de biomasa en los llanos colombo-venezolanos consume anualmente cerca de 3 millones de hectáreas, un área equivalente al 50 por ciento de la zona sembrada en Colombia, y produce alrededor de 140.000 toneladas de material particulado, al menos 4 veces la emisión anual en Bogotá.

2.4 Material particulado atmosférico

Término genérico aplicado a una amplia gama de sustancias química, física y biológicamente diversas que existen en el aire como partículas discretas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera en un amplio rango de tamaños (Mészáros, 1999). Es necesario considerar que el término material particulado atmosférico es un concepto amplio que abarca tanto las partículas en suspensión como las partículas sedimentables (diámetro $>20\mu\text{m}$), caracterizadas por un corto tiempo de residencia en la atmósfera (Morales, R., 2006).

Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antrópico. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (primarias) o bien ser generadas por reacciones químicas (partículas secundarias). Los niveles de material particulado atmosférico se suelen expresar en forma de concentración de masa por unidad de volumen de aire en microgramo por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Warneck, 1999).

2.4.1 Material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) y a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

El material particulado con diámetros aerodinámicos menores a $10 \mu\text{m}$, son partículas inhalables que están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (EPA, 2018).

Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM_{10} por metro cúbico (m^3) de aire. Se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como las obras de construcción, la resuspensión del polvo de los caminos y el viento (OMS, 2016).

Las partículas con un diámetro menor a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), son principalmente producidas por procesos de combustión, quema de materia orgánica y transformación de especies gaseosas en el aire (Contini *et al.*, 2014).

2.4.2 Efectos sobre la salud del material particulado

Efectos agudos y crónicos a la salud han sido positivamente asociados con la exposición al material particulado. Cuánto más pequeña es la partícula más probable será que penetre más profundamente en los pulmones, llegando, a veces, a alterar los procesos celulares. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón (OMS, 2018). Según la Organización Mundial de Salud cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.

El tamaño y la composición asociada de partículas determinan su comportamiento en el sistema respiratorio, incluyendo cómo las partículas pueden penetrar, donde se depositan, y la eficacia de los mecanismos de defensa del cuerpo para expulsarlas. Además, el tamaño del material particulado es uno de los parámetros más importantes al determinar el tiempo de residencia y la distribución espacial de las partículas en el medio ambiente. El tamaño del material particulado es también un factor importante de la debilitación de la visibilidad (Miranda & Ortiz, 2008).

2.5 Dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO)

El SO_2 es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera principalmente a través de la combustión de fósiles que contienen azufre (carbón y petróleo) usados para la calefacción doméstica, generación de electricidad, vehículos a motor y la fundición de menas que contienen azufre (OMS, 2018).

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro que se produce cuando se encienden combustibles como el gas natural, gas propano, gasolina, petróleo, querosene, madera o carbón (EPA, 2018).

2.5.1 Efectos sobre la salud de Dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO)

El dióxido de azufre (SO₂) puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación que se produce en el sistema respiratorio puede provocar tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y bronquitis crónica, asimismo, aumenta el riesgo de que las personas contraigan infecciones del sistema respiratorio. Por otro lado, la combinación con el agua, el SO₂ se convierten en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación (OMS, 2018).

La exposición al monóxido de carbono puede provocar dolores de cabeza, síntomas de gripe, mareos, cansancio, falta de memoria, entre otros. Este gas es capaz de entrar al torrente sanguíneo e impedir que el oxígeno entre al organismo, lo cual puede causar daños en los tejidos y producir la muerte (EPA, 2018).

2.6 Estándares de Calidad del Aire

Valores establecidos para Perú de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana (DS. 003-2017-MINAM). Este DS establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentraciones máximas para los contaminantes criterio mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterios de evaluación	Método de Análisis
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta

NE: No exceder / (*) o método equivalente aprobado
 FUENTE: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM

2.7 Guías de calidad del aire

Las Guías de calidad del aire (GCA) relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (Tabla 2), son brindadas por la Organización Mundial de la Salud, destinados a su uso en todo el mundo y elaborados para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones. Este documento fue actualizado mundialmente en 2005 y publicado en 2006 por la OMS.

Tabla 2: Guías de Calidad del Aire

Parámetros	Periodo	Valor Guía ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$)	Media de 24 horas	25
	Media Anual	10
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	Media de 24 horas	50
	Media Anual	20
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10000
Dióxido de Azufre (SO_2)	Media de 24 horas	20
	Media de 10 minutos	500

FUENTE: Guía de calidad del aire de la OMS (2006).

2.8 Índice de Calidad del Aire - Air Quality Index (AQI)

El Índice de Calidad del aire indica el grado de pureza o contaminación atmosférica y los posibles efectos para la salud que puede provocar. Ha sido adoptado a partir de las recomendaciones técnicas consignadas en el *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - The Air Quality Index (AQI)*, documento de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos EPA-454/8-09-001 de febrero de 2009.

La EPA calcula el AQI para seis contaminantes atmosféricos principales: PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ y CO. Los valores del índice se ubican en una escala adimensional de 0 a 500, que han sido agrupados en seis rangos que guardan estrecha relación con la amenaza que, a la salud humana, representan dichos niveles de contaminación del aire. Estos valores han sido clasificados por rangos asociados a un color específico que sirve de alerta y que representan el nivel de contaminación del aire y determinan un conjunto de acciones preventivas que se recomienda sean tenidas en cuenta por la población, se muestran en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3: Rangos para los valores del AQI

Rangos - (AQI)	Niveles para la salud	Colores
0 a 50	Buena	Verde
51 a 100	Moderada	Amarillo
101 a 150	Insalubre para grupos sensibles	Naranja
151 a 200	Insalubre	Rojo
201 a 300	Muy insalubre	Morado
301 a 500	Peligrosa	Granate

FUENTE: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010)

Tabla 4: Acciones preventivas de acuerdo con el valor del AQI para el contaminante evaluado

Color y calificación respecto a su efecto sobre la salud humana	Acciones preventivas
PM₁₀ µg/m³ (24 horas) y PM_{2,5} µg/m³ (24 horas)	
Verde	Ninguna
Amarillo	Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio-cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada.
Naranja	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física fuerte o prolongada.
Rojo	Personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada.
Morado	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada.
Granate	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre.
CO ppm (8 horas)	
Verde	Ninguna
Amarillo	-
Naranja	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina deben reducir la actividad física y las fuentes de CO como el tráfico pesado.
Rojo	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir moderadamente el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado.
Morado	Personas con enfermedades cardiovasculares, deben reducir moderadamente el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado.
Granate	Personas con enfermedades cardiovasculares, deben reducir moderadamente el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado; todos los demás deben limitar el esfuerzo.
SO₂ ppm (24 horas)	
Verde	Ninguna
Amarillo	-
Naranja	Personas con asma deben considerar reducir la actividad al aire libre.
Rojo	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben reducir el esfuerzo al aire libre.
Morado	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben evitar el esfuerzo al aire libre, todos los demás deben de reducir el esfuerzo al aire libre.
Granate	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares no deben estar al aire libre; todos los demás deben evitar el esfuerzo al aire libre.

FUENTE: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010)

2.9 Índice de Calidad del Aire Nacional (INCA)

Mediante Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM, se estableció el Índice de Calidad del Aire - INCA, el cual tiene un valor óptimo comprendido entre 0 y 100, el cual coincide con el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire.

Para un mejor entendimiento, el INCA se divide en cuatro categorías o calificaciones de la calidad del aire, los cuales se muestran en la Tabla 5. Los valores del INCA van de 0 a 50 cuando la calidad del aire es buena, de 51 a 100 cuando es una calidad moderada, entre 101 y el valor umbral del estado de cuidado (VUEC) cuando la calidad del aire es mala, finalmente cuando la calidad del aire es mayor al valor umbral del estado de cuidado del contaminante, a partir de este valor corresponde la aplicación de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales por parte de la autoridad de Salud.

Tabla 5: Valores del Índice de Calidad del Aire

Calificación	Valores del inca	Colores
Buena	0-50	Verde
Moderada	51-100	Amarillo
Mala	101-VUEC	Anaranjado
VUEC*	>VUEC	Rojo

* VUEC: Valor umbral de estado de cuidado

De acuerdo a la calificación del INCA, la población sensible y población en general deben tomar en cuenta los cuidados y recomendaciones que se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6: Cuidados y Recomendaciones de acuerdo al INCA

Calificación	Cuidados	Recomendaciones
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre.
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podrían experimentar algunos problemas de salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones.
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	La concentración del contaminante puede causar efectos en la salud de cualquier persona y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, madres gestantes, personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y cardiovasculares.	Reportar a la Autoridad de Salud para que declare los Niveles de Estados de Alerta de acuerdo al DS N° 009-2003-SA y su modificatoria DS N° 012-2005-SA

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en el departamento de La Libertad, provincia de Ascope, en el distrito Casa Grande (Figura 1). El departamento de La Libertad se constituye como una de las principales regiones agrícolas de la costa peruana por las condiciones favorables que presenta para su desarrollo. La región cuenta con 528 000 hectáreas de superficie agrícola, lo que la convierte en la segunda región con mayor extensión agrícola (BCR, 2018).

La Libertad es el primer productor de caña de azúcar del país, siendo este cultivo uno de los principales soportes de la agricultura provincial y departamental, por el hecho de sustentar el 11, por ciento del valor bruto de producción (VBP) agrícola de 2017 (BCR, 2018). Las principales zonas de cultivo se encuentran en los valles de Chicama y Santa Catalina, donde se ubican importantes ingenios azucareros como Cartavio S.A, Agroindustrial Laredo S.A y Casa Grande S.A. Según el BCR (2018), durante el 2017, se cosecharon en el departamento 34 100 hectáreas de caña de azúcar con una producción de 4,5 millones de toneladas (47,6 por ciento del total nacional).

Según el XII Censo Nacional de Población, realizado en el año 2017 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el departamento de La Libertad posee una población de 1 778 080 habitantes (61por ciento del total nacional), situándolo como el tercero más poblado del país, después de Lima (35,7por ciento) y Piura (6,3 por ciento). Entre los años 2007 y 2017, la población censada del departamento creció a un ritmo anual promedio de 1por ciento, superior al promedio nacional (0,7 por ciento).

Según cifras del INEI (2017), la provincia de Ascope cuenta con una superficie de 2 655 000 km² y una población de 115 786 habitantes. Por su parte, el distrito de Casa Grande abarca 67 717 km² y cuenta con 28 492 habitantes. Este distrito limita por el norte y noreste con la provincia de Pacasmayo y la provincia de Contumazá (Cajamarca); por el este y sureste con

el distrito Ascope; por el sur y suroeste con los distritos Chicama y Chocope; y por el oeste y suroeste con los distritos Paiján y Rázuri. Casa Grande está conformado además por 10 centros poblados ubicados a su alrededor.

En la costa, el clima es semitropical con una temperatura promedio de 23 °C y precipitaciones inferiores a 50 mm durante el año. La temperatura media máxima anual es de 29.5 °C, con los valores registrados más altos durante los meses de febrero y marzo, disminuyendo hacia los meses de julio hasta noviembre, la temperatura mínima registra en promedio 19 °C. Especialmente, el acumulado anual de lluvias indica un comportamiento deficiente para esta zona del país (< 30 mm). La velocidad promedio de los vientos sobre el distrito es de 2 m/s, lo que indicaría la existencia de ventolinas y brisas muy débiles, siendo la dirección predominante durante todo el año del suroeste (Senamhi, 2018).



Figura 1: Plano de ubicación de la zona de estudio

Los criterios de ubicación y distribución espacial de los puntos se han basado en las recomendaciones para la selección de los sitios definidos por la Environmental Protection Agency (EPA), y teniendo como referencia la dirección predominante de los vientos, así como, los criterios contenidos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire de la DIGESA.

Los sitios de muestreo fueron establecidos considerando los centros poblados que pertenecen al distrito Casa Grande, así como su proximidad a los diferentes campos de cultivo pertenecientes a la empresa agroindustrial Casa Grande S.A.A y a personas naturales, habitantes de los mismos anexos y el distrito. Para fines de esta investigación se escogieron tres puntos de monitoreo, los que se muestran en la Tabla 7 y en la Figura 2.

Tabla 7: Puntos de monitoreo

Código	Ubicación	Coordenadas WGS-84 17 M		Altitud (m)	Parámetros medidos
		Norte	Este		
CA-3	Ubicado en una vivienda de primer piso, en el anexo Roma; a 4,6 km aprox. del distrito Casa Grande.	704217	9141051	167	PM ₁₀ y PM _{2,5}
CA-13	Ubicado en una vivienda de primer piso, en el anexo Lache - La Chica; a 1,2 km del distrito Casa Grande.	699459	9145651	162	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ y CO
CA-17	Ubicado en una vivienda de tres pisos en el distrito Casa Grande.	700007	9144365	165	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ y CO

FUENTE: Evaluación ambiental en el ámbito de la empresa Casa Grande. 2018. OEFA

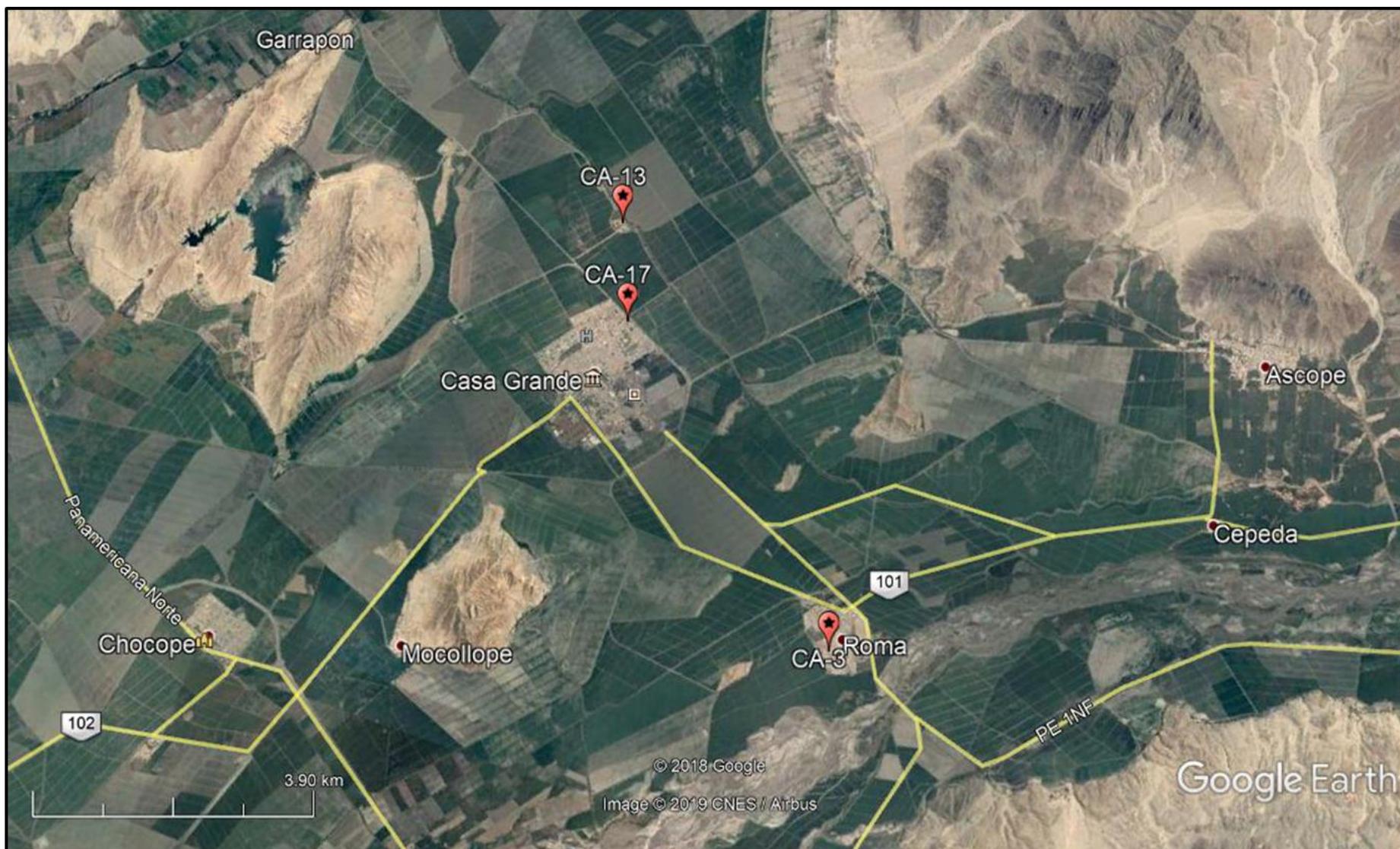


Figura 2: Distribución de los puntos de monitoreo

3.2 Metodología

3.2.1 Recopilación de información y diagnóstico situacional con respecto a la actividad agroindustrial en la zona de estudio

Para el diagnóstico situacional se tomó como referencia información plasmada en el Plan de Adecuación y Manejo Ambiental de la empresa agroindustrial Casa Grande S.A.A., con relación a la producción, cantidad de campos de cultivo, procesos productivos, entre otros. De igual manera, del Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (SINADA), el que se encuentra para acceso público en la página oficial del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), se pudo averiguar el número de incidencias que afectan a los pobladores en este sector con respecto al tema ambiental debido a la quema de caña en los alrededores.

Durante la etapa de campo, se realizó una visita a los diferentes puntos de monitoreo, así como, a los alrededores de los campos de cultivo de caña de azúcar, de acuerdo al cronograma establecido en la Tabla 8, con la finalidad de poder detectar quemas de caña al momento del monitoreo, para así elaborar un registro de estas actividades, y otras observaciones que puedan ser de importancia.

Tabla 8: Cronograma de visita a los campos de cultivo

Días de visita (Año 2018)	Horas en campo	Lugares de visita
9 de noviembre	9:00 am - 10:00 pm	
10 de noviembre	10:00 am - 7:00 pm	
11 de noviembre	9:00 am - 8:00 pm	
13 de noviembre	11:00 am - 10:00 pm	Distrito Casa Grande, anexos
15 de noviembre	2:00 pm - 12:00 am	Lache - La Chica, Roma,
17 de noviembre	9:00 am - 6:00 pm	Mocán, Chicamita y alrededores
18 de noviembre	9:00 am - 10:00 pm	de campos de cultivo
21 de noviembre	10:00 am - 9:00 pm	
22 de noviembre	9:00 am - 5:00 pm	

FUENTE: Elaboración propia

3.2.2 Análisis de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}, CO y SO₂ y comparación con los ECA para Aire y valores guía de la OMS

Los datos de monitoreo de PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, CO y variables meteorológicas fueron recopiladas a través de la evaluación realizada en el ámbito de la empresa Casa Grande S.A.A mediante los resultados presentados por el laboratorio Inspectorate S.A.C, el Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental facilitó la información de estos resultados de análisis de los muestreos con fines académicos.

Los monitoreos ambientales se realizaron del 08 al 22 de noviembre de 2018 por un periodo de 24 horas para cada muestra, utilizando los siguientes equipos:

- Equipo Muestreador de alto volumen o Hi-Vol para material particulado mayor a 10 micras:
Este equipo de flujo constante, presenta una aspiración de aire en el rango de 1.02 a 1.24 m³/min a condiciones actuales o reales. Un caudal de 1.13 m³/min garantiza la separación de partículas menores a 10 micrómetros. La cantidad medible de aire es succionada hacia una caja de muestreo a través de un filtro durante un periodo de tiempo conocido, generalmente 24 horas y en forma continua. El filtro es pesado antes y después de determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestro.
- Equipo Muestreador de bajo volumen o Low-Vol para material particulado menor a 2,5 micras:
Muestreador que aspira aire del ambiente a flujo constante de 16.7 L/min a través de un orificio, colectando el material en un filtro de 47 mm durante un periodo máximo de 24 horas y de forma continua, donde separa inercialmente el material particulado en fracciones de uno o más tamaños dentro del rango determinado (PM₁₀ o PM_{2,5}). Cada filtro es pesado antes y después del muestreo para determinar el peso neto de la muestra. El volumen del aire muestreado se encuentra a condiciones de 25°C y 1 atm.
- Analizador automático de gases para el análisis de SO₂ y CO:
Cuenta con un sistema electrónico el cual contiene el software de operación, controla el funcionamiento del equipo y realiza automáticamente los cálculos de las concentraciones. Así mismo, presenta un sistema neumático que consta principalmente de la bomba de succión, conexiones y tuberías por donde circula la muestra de gas. Por último, tiene un

sistema óptico en donde se aplica el método de medición del analizador, mediante procesos físicos y/o químicos, dependiendo del gas a analizar (US-EPA, 2008).

- Para el caso del SO₂, el analizador se basa en la radiación UV de la molécula de dióxido de azufre utilizando luz en el rango de 190 - 230 nm. La molécula absorbe la luz en un estado excitado y luego se descompone hasta el estado del suelo, donde un tubo fotomultiplicador convierte la señal en concentración de SO₂. La región espectral UV utilizada tiene la menor cantidad de interferencia de otros gases presentes en el flujo de emisión que puede potencialmente apagar la señal.
 - Para el CO, el analizador usando una rueda de correlación del filtro del gas, una fuente de luz infrarroja de alta energía se pasa alternadamente a través de una cámara llena de CO y una cámara vacía. La trayectoria de la luz viaja a través de la célula de la muestra, la cual contiene una trayectoria doblada de 14 metros. La pérdida de energía a lo largo de la célula de la muestra es comparada con la señal de alcance de referencia dada por la rueda del filtro para así producir una señal proporcional a la concentración, con poco efecto de los gases de interferencia dentro de la muestra. Este diseño produce una estabilidad del tramo y una alta relación señal/ruido, permitiendo una alta sensibilidad.
- Estación meteorológica marca DAVIS y modelo Vantage Pro2, para el monitoreo de variables meteorológicas:

Cuenta con transmisión inalámbrica y sensores que envían los datos a la consola a una distancia de hasta 300 metros, con una frecuencia de actualización de 2,5 segundos.

El monitoreo se ejecutó en tres puntos estratégicos de manera diaria durante 15 días (del 8 al 22 de noviembre de 2018) consecutivos por punto, llegándose a coleccionar 45 muestras de concentraciones para PM₁₀ y PM_{2,5}. Con respecto a los gases SO₂ y CO, los analizadores automáticos utilizados brindaron valores horarios, diarios y promedios móviles de 8 horas (para el último gas en mención).

El monitoreo de calidad de aire fue realizado a través de un laboratorio acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad) utilizando las metodologías expuestas en la Tabla 9:

Tabla 9: Metodologías de análisis empleadas

N°	Parámetros evaluados	Metodología utilizada en el análisis
1	Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Separación inercial / filtración (Gravimetría)
2	Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	
3	Dióxido de azufre (SO ₂)	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
4	Monóxido de carbono (CO)	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)

FUENTE: Elaboración propia

Los resultados fueron brindados por el laboratorio ya calculados, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por lo tanto, se procedió a la comparación de estos valores con la normativa nacional e internacional. El análisis de los resultados de los parámetros evaluados consistió en la estructuración de una base de datos, en la que se consolidó toda la información de las concentraciones de PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂ y CO en el aire en tablas, escalas temporales de acuerdo con el tiempo de monitoreo a través de diferentes tipos de gráficos en el programa Microsoft Excel.

3.2.3 Determinación de la influencia de la dirección y velocidad del viento, humedad relativa y temperatura sobre el material particulado y gases

Para poder empezar con la determinación de la influencia de la dirección y velocidad del viento, se elaboraron las rosas de viento correspondientes a todo el periodo de monitoreo para cada uno de los tres puntos analizados. Para ello se utilizó el software R Project, ingresando datos de velocidad del viento (m/s) y dirección del viento (°), obtenidos de las estaciones meteorológicas utilizadas en el monitoreo. Siguiendo la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (2014) de la Organización Meteorológica Mundial, los segmentos de colores representan la frecuencia de intervalos de velocidad de viento establecidos en la escala de Beaufort. Teniendo las rosas de vientos elaboradas, se contrastó espacialmente con la información correspondiente a las concentraciones de material particulado y gases, a fin de determinar su influencia sobre la zona.

Con respecto a los datos de humedad relativa y temperatura, se elaboraron gráficas de línea con el fin de apreciar la variación temporal durante el periodo de monitoreo, así como para comparar el comportamiento de estas variables meteorológicas en los tres puntos de monitoreo.

Utilizando las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman, a través del software R Project, a fin de determinar si existe una relación lineal entre estas concentraciones y las variables meteorológicas (velocidad del viento, temperatura y humedad relativa). Es necesario resaltar que, para este caso se optó por usar esta correlación en base a los siguientes supuestos (Gómez *et al.*, 2013):

- La correlación de Spearman evalúa la relación monótona entre dos variables continuas u ordinales.
- En una relación monótona, las variables tienden a cambiar al mismo tiempo, pero no necesariamente a un ritmo constante.
- Al ser una técnica no paramétrica, es libre de distribución probabilística.
- Es robusto a la presencia de outliers o valores extremos (permite ciertos desvíos del patrón normal), por lo que se considera un coeficiente menos sensible que el de Pearson.

Se define el coeficiente de correlación de Spearman ρ (rho) como el coeficiente de correlación lineal entre rangos asignados de dos variables. Para calcularlo, los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden.

El estadístico ρ se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Donde:

- D es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden de X-Y.
- N es el número de parejas de datos

El coeficiente de correlación de Spearman, representado con “r”, indica la fuerza de la relación entre variables (mas no explica causalidad), teniendo diferentes intensidades, de acuerdo con la tabla 10:

Tabla 10: Intensidad de relación del valor del coeficiente "r"

Valor de “r”	Intensidad de relación
1	Positiva perfecta
<0.5, 1>	Positiva fuerte
0.5	Positiva moderada
<0, 0.5>	Positiva débil
0	No hay relación
<-0.5, 0>	Inversa débil
-0.5	Inversa moderada
<-1, -0.5>	Inversa fuerte
-1	Inversa perfecta

FUENTE: Vila et al., s.f

Se debe mencionar que, al contar con una muestra muy pequeña, la representatividad de las pruebas estadísticas aplicadas debe ser tomada teniendo en cuenta dicha limitación. Ello se representa numéricamente a través del nivel de significación o valor α , en donde valores “p” menores o mayores que el valor α indican si existe o no (respectivamente) asociación entre las variables, a un nivel de probabilidad determinado, en este caso tomaremos un α de 0.05 lo que representa una confiabilidad de 95 por ciento.

3.2.4 Cálculo del Índice de Calidad del Aire de los contaminantes evaluados y comparación con los rangos de los niveles de contaminación.

3.2.4.1 Air Quality Index (AQI).

Utilizando el documento de la EPA (Environment Protection Agency): *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - The Air Quality Index (AQI)*, aprobado en febrero de 2009, el indicador se calcula a partir de las mediciones de concentración de los contaminantes monitoreados, y los intervalos de concentraciones preestablecidos para cada uno de los contaminantes, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$AQI_{Pjt} = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_{Pjt} - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

- AQI_{Pjt} : Es el índice de calidad del aire para el contaminante P de una estación de monitoreo de la calidad del aire j durante el período de tiempo t, el cual corresponde al período de monitoreo de acuerdo al contaminante que se esté evaluando.
- C_{Pjt} : Es la concentración del contaminante P medida en el punto de monitoreo de calidad del aire j durante el período de tiempo t, el cual corresponde al período de monitoreo de acuerdo al contaminante que se esté evaluando.
- BP_{Hi} : Es el valor máximo del intervalo en el que se encuentra la concentración del contaminante P medida. Este valor se obtiene de la Tabla 11.
- BP_{Lo} : Es el valor mínimo del intervalo en el que se encuentra la concentración del contaminante P medida. Este valor se obtiene de la Tabla 11.
- I_{Hi} : Es el valor máximo del rango del AQI asociado al BP_{Hi} . Este valor se obtiene de la primera columna de la Tabla 11.
- I_{Lo} : Es el valor mínimo de rango del AQI asociado al BP_{Lo} . Este valor se obtiene de la primera columna de la Tabla 11.

El valor que se reporta corresponde al mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes. En la Tabla 11 se presentan los puntos de corte para el cálculo del AQI, para cada contaminante que se evaluó en este monitoreo.

Tabla 11: Rangos del AQI e intervalos de concentraciones

Rangos AQI	Clasificación	PM ₁₀ 24h (μg/m ³)	PM _{2,5} 24h (μg/m ³)	CO 8h (ppm)	SO ₂ 24h (ppm)
0 ≤ AQI ≤ 50	Verde	0 - 54	0,0 - 12,0	0,0 - 4,4	0,000 - 0,035
51 ≤ AQI ≤ 100	Amarillo	55 - 154	12,1 - 35,4	4,5 - 9,4	0,036 - 0,075
101 ≤ AQI ≤ 150	Naranja	155 - 254	35,5 - 55,4	9,5 - 12,4	0,076 - 0,185
151 ≤ AQI ≤ 200	Rojo	255 - 354	55,5 - 150,4	12,5 - 15,4	0,186 - 0,304
201 ≤ AQI ≤ 300	Morado	355 - 424	150,5 - 250,4	15,5 - 30,4	0,305 - 0,604
301 ≤ AQI ≤ 500	Granate	425 - 604	250,5 - 500,4	30,5 - 50,4	0,605 - 1,004

FUENTE: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010)

3.2.4.2 Índice de Calidad del Aire (INCA).

Los valores del INCA fueron calculados tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental de Aire actuales y no los que existían al momento de aprobada la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM. Para fines de este estudio y como referencia para el análisis y comparación con el Air Quality Index (AQI), se han mantenido las ecuaciones e intervalos de concentraciones para el cálculo del INCA.

La determinación matemática del INCA para cada contaminante (INCA = I en las ecuaciones), se basa en una relación entre el valor registrado de la concentración del contaminante (indicado entre corchetes []) y su correspondiente valor del estándar de calidad ambiental para cada caso. La información se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Ecuación para cálculo del INCA y sus intervalos

Material Particulado (PM ₁₀) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (µg/m ³)	Ecuación*
0-50	0-75	I (PM ₁₀) = [PM ₁₀]*100/100
51-100	76-150	
101-167	151-250	
>167	>250	
Dióxido de azufre (SO ₂) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (µg/m ³)	Ecuación*
0-50	0-10	I (SO ₂) = [SO ₂]*100/250
51-100	11-20	
101-625	21-500	
>625	>500	
Monóxido de carbono (CO) promedio 8 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (µg/m ³)	Ecuación*
0-50	0-5049	I (CO) = [CO]*100/10000
51-100	5050-10049	
101-150	10050-15049	
>150	>15050	
Material Particulado (PM _{2,5}) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (µg/m ³)	Ecuación*
0-50	0-12.5	I (PM _{2,5}) = [PM _{2,5}]*100/50
51-100	12.6-25	
101-500	25.1-125	
>500	>125	

* Los valores de los Estándares de Calidad del Aire usados en las ecuaciones, pertenecen al Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, actualmente vigente.

3.2.5 Propuesta de alternativas de solución para reducir los impactos identificados generados por la quema de la caña de azúcar.

Contrastando los resultados de concentraciones y los Índices de Calidad de Aire obtenidos, se procedió a la revisión de bibliografía y el análisis de casos similares en donde la actividad agroindustrial esté presente, y la quema de biomasa, sobre todo de caña de azúcar, sea considerada de igual manera una problemática y se ofrezcan posibles soluciones. Se elaboró una recopilación de las mejores alternativas de solución que podrían reducir los impactos generados por la quema de caña de azúcar. De igual manera, se hicieron recomendaciones con respecto a otras medidas que ayuden a solucionar la problemática, desarrollar oportunidades de mejora y estrategias adecuadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Recopilación de información y diagnóstico situacional de la zona de estudio con respecto a la actividad agroindustrial

La empresa Agroindustrial Casa Grande S.A.A se ubica a 50 km al norte de Trujillo, en la provincia de Ascope, departamento de La Libertad. La actividad agroindustrial de Casa Grande se orienta a la siembra y procesamiento de caña de azúcar, fabricación y comercialización de derivados de la caña, como el azúcar, alcohol, melaza y bagazo (Coazucar, 2018). Al cierre del 2018, la agroindustria Casa Grande contaba con 31 197 hectáreas de las cuales casi 20 000 hectáreas se encuentran con cultivo de caña de azúcar, lo que representa un incremento de 9.4 por ciento respecto al año 2017, logrando que se tenga en la actualidad más de 20 000 hectáreas cultivadas, una superficie cosechada de 10 980 hectáreas en el año 2018 y 1 804 951 toneladas métricas de caña cosechada. Poniendo a esta empresa como la mayor productora nacional de azúcar en el país, con más de 250 000 toneladas métricas en el 2018 (Memoria Casa Grande S.A.A, 2019).

La empresa agroindustrial Casa Grande S.A.A, cuenta con un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) aprobado el 14 de diciembre de 2011 mediante Resolución de Dirección General N°040-11-DVM-DGAAA, en la que se compromete a reducir la cosecha de caña de azúcar mediante quema progresivamente hasta cubrir el 100% del total de los cultivos que poseen, el plazo que se colocó para la ejecución de los compromisos fue de cinco años, es decir, hasta el año 2016.

Mediante el Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (SINADA) se encontraron un total de 16 denuncias presentadas provenientes del distrito de Casa Grande y los centros poblados como Roma y Mocán entre los años 2017 y 2018, relacionadas a la afectación de la calidad del aire y la salud de los pobladores por el efecto de la quema de campos de caña de azúcar, siendo las cenizas y humos generados los principales factores de molestia.

Durante el periodo de monitoreo se efectuaron visitas a los alrededores de los campos de cultivo de caña para poder identificar posibles puntos de quema que pudiesen ocurrir durante la etapa de campo, para tener una mejor referencia, se usó el Plano de distribución de campos y canales por comisión de regantes, que se encuentra en el PAMA de la empresa Casa Grande S.A.A antes mencionado. Siguiendo el cronograma (Tabla 8), se presenta una descripción de las quemas vistas durante los días de monitoreo en la Tabla 13. Asimismo, se muestra el registro fotográfico de cada quema (Figura 3). La ubicación de las áreas quemadas con respecto a los puntos de monitoreo se plasma en la Figura 4.

Tabla 13: Quemadas de campo de caña identificadas durante el periodo de monitoreo

Nº de quema	Fecha	Coordenadas (UTM WGS 84) Zona 17M	Campo de referencia	Área Aprox. (Ha.)	Observaciones
Quema 1	11/11/2018	9139976 N 695646 E	Palmillo	44.3	Campos de caña siendo quemados, al costado del anexo Constancia. La quema se realizó en horas de la tarde y noche.
Quema 2	12/11/2018	9143526 N 697544 E	Hornillo	9.5	Se observó que la pluma de la quema llegaba al anexo Lache - La Chica.
Quema 3	15/11/2018	9144595 N 699617 E	Casa Grande 5	3.2	Punto ubicado a aprox. 10 m del distrito de Casa Grande.
Quema 4	16/11/2018	9144673 N 696661 E	Santa Ana	19.8	Se observó que la pluma llegaba al anexo Lache - La Chica, la quema se realizó en horas de la tarde.
Quema 5	17/11/2018	9138273 N 701944 E	Lache - Tanque	14.9	Ubicado a menos de 2 km del anexo Roma, no fue posible acercarse debido a los accesos cerrados.
Quema 6	18/11/2018	9139994 N 702936 E	Paña B	59.0	Se identificó la quema de un mismo campo de caña de manera progresiva en diferentes días, a aprox. 1.5 km del anexo Roma.
Quema 7	19/11/2018	9139994 N 702936 E			
Quema 8	21/11/2018	9139994 N 702936 E			

FUENTE: Elaboración propia



Figura 3: Registro fotográfico de quemas de caña identificadas

FUENTE: Fotografías tomadas durante el periodo de monitoreo.

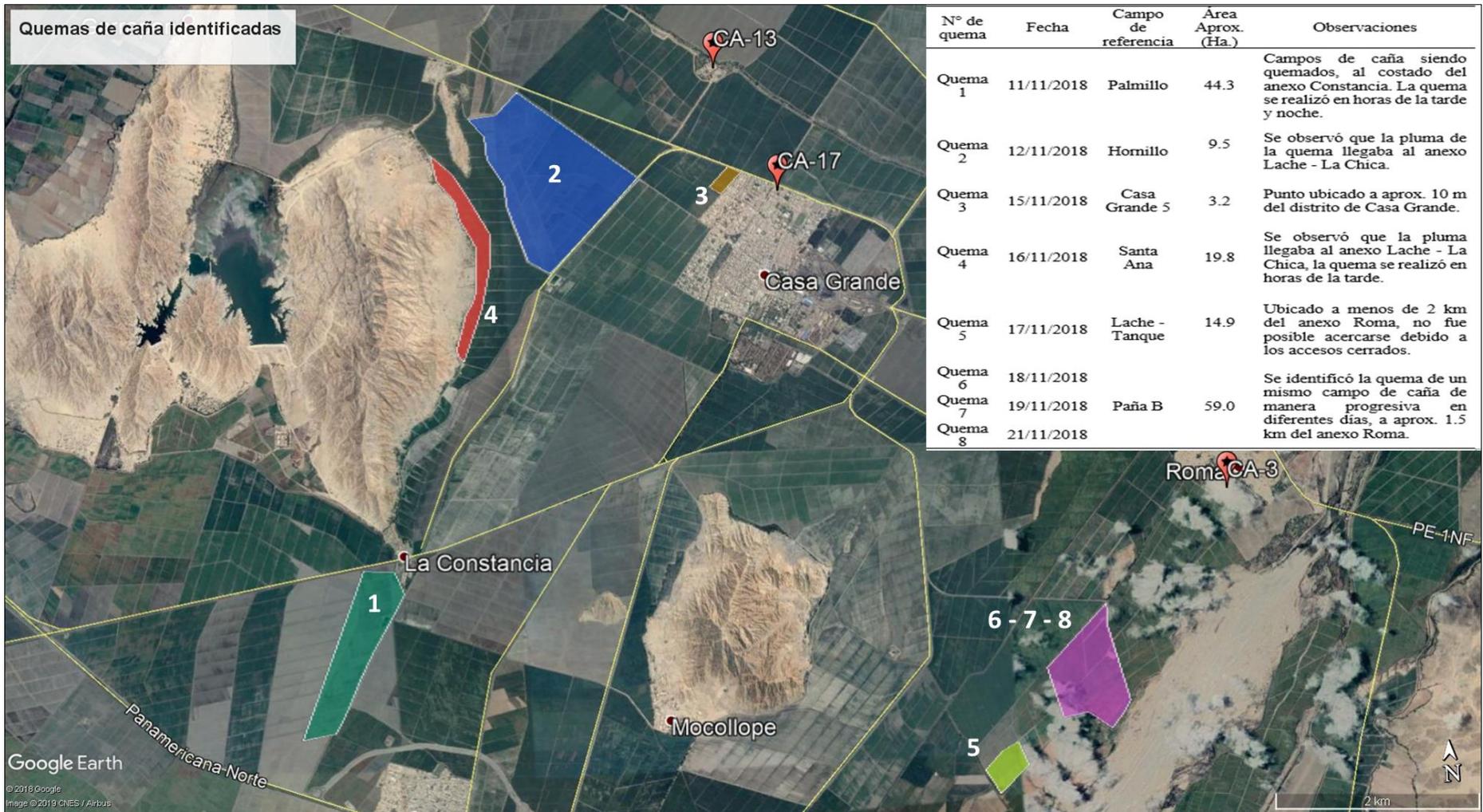


Figura 4: Quemas de caña identificadas durante el periodo de monitoreo (8 al 22 de noviembre de 2018)

4.2 Análisis de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}, CO y SO₂ y comparación con los ECA y valores guía de la OMS.

4.2.1 Material particulado menor a 10 micras (PM₁₀).

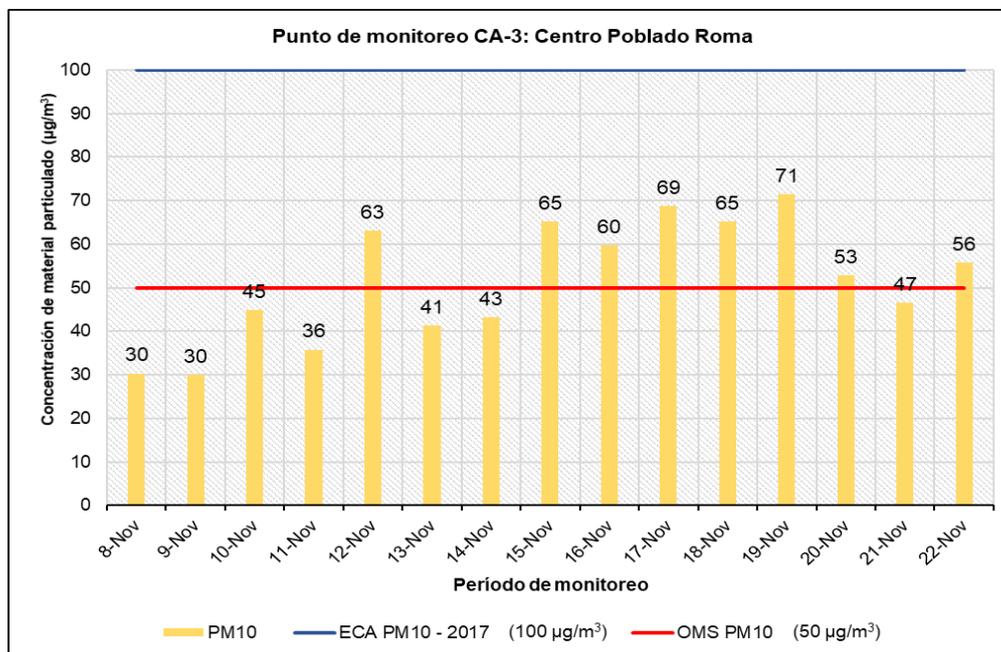


Figura 5: Concentraciones de PM₁₀ para el punto CA-3

Las concentraciones de material particulado PM₁₀ en el centro poblado Roma se presentan en la Figura 5, las cuales llegan a su punto álgido el día 19 de noviembre, alcanzando 71 µg/m³ y a su punto más bajo los días 8 y 9 de noviembre, alcanzando en ellos 30 µg/m³, siendo el promedio diario de 51,6 µg/m³. Estos resultados al ser comparados con los valores guía de la Organización Mundial de la Salud muestran una superación en ocho de los quince días de monitoreo, teniendo valores muy cercanos a 50 µg/m³ en los días restantes, con respecto a los ECA nacionales para aire, no se superan los estándares en ningún día.

La variación diaria de PM₁₀ en el centro poblado Lache – La Chica se aprecia en la Figura 6, la cual llega a su punto más alto el día 17 de noviembre, alcanzando 53 µg/m³, y a su punto más bajo el día 8 de noviembre con una concentración de 23 µg/m³, siendo el promedio diario de 39,9 µg/m³, los resultados al ser comparados con los estándares nacionales, no se superan en ningún día, sin embargo la comparación con los valores de la OMS (50 µg/m³), muestra una superación de los valores en los días 12, 17 y 19 de noviembre.

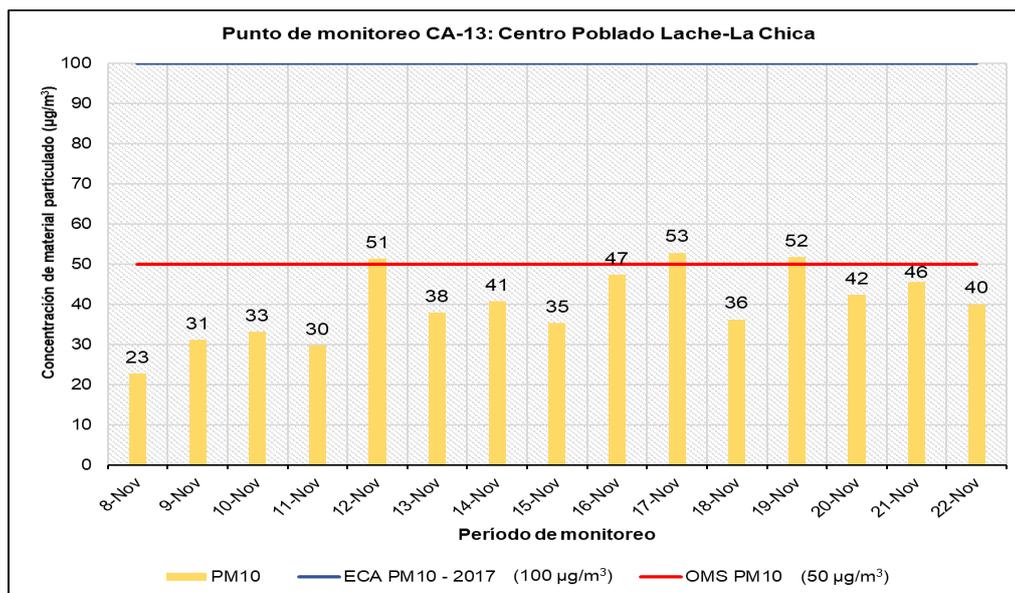


Figura 6: Concentraciones de PM₁₀ para el punto CA-13

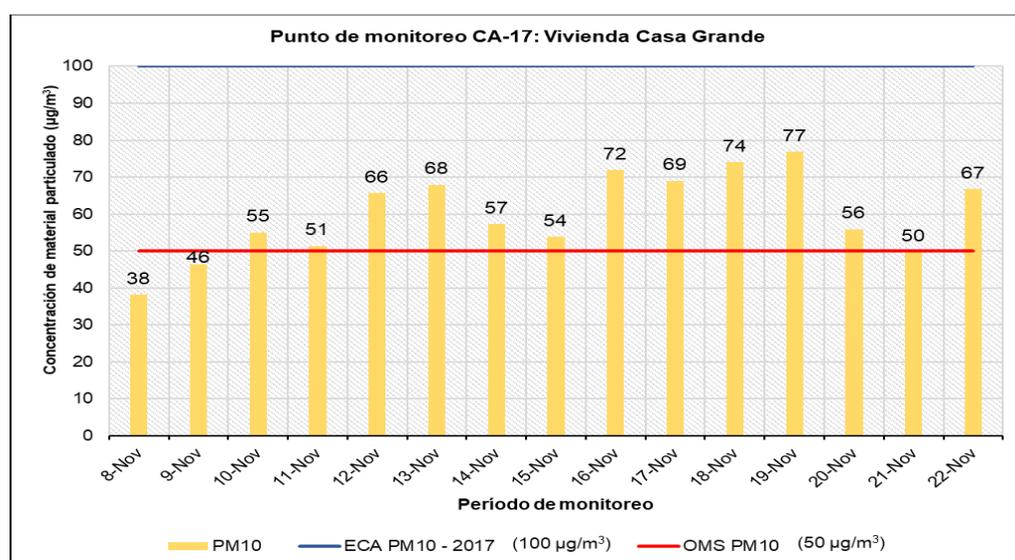


Figura 7: Concentraciones de PM₁₀ para el punto CA-17

En la Figura 7 se aprecia las concentraciones de PM₁₀ en la vivienda en Casa Grande, el día 19 de noviembre presenta su valor máximo de 77 µg/m³, y su punto más bajo el día 8 de noviembre, alcanzando los 38 µg/m³, siendo el promedio diario de 60 µg/m³. Así mismo, se aprecia que las concentraciones no superan los ECA para aire (100 µg/m³), pero si los valores de la Organización Mundial de la Salud, superándolos todos los días de monitoreo excepto el 8 y 9 de noviembre.

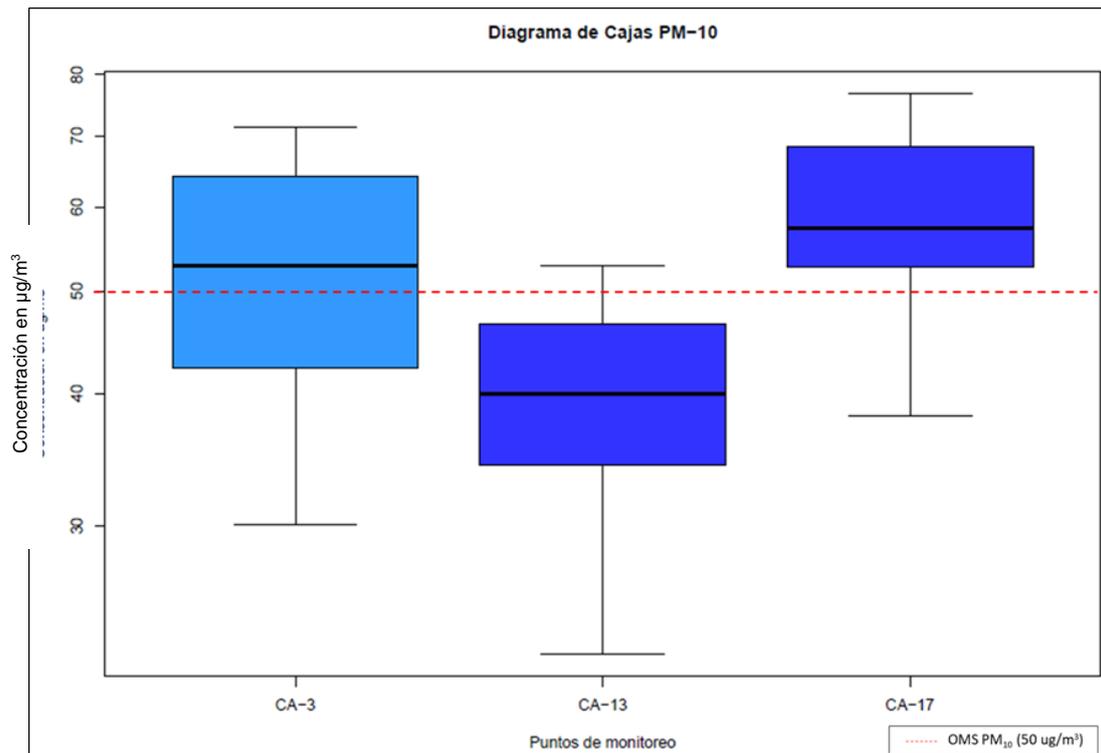


Figura 8: Diagrama de Cajas para PM₁₀

La Figura 8 presenta el diagrama de cajas correspondiente a las concentraciones de PM₁₀, de acuerdo a la media de los resultados y su desviación estándar, se obtuvo un coeficiente de variabilidad (CV) de 18,8 por ciento para el punto CA-17, un valor de 22,2 por ciento para el punto CA-13 y 26,8 por ciento para el punto CA-3, siendo este último, el que presenta una mayor dispersión de los resultados.

Con respecto al punto CA-3, se tiene la presencia de la quema del campo denominado Paña B a 1,5 km del Centro Poblado Roma durante tres días, de los cuales el 18 y 19 noviembre coinciden con unos de los mayores valores monitoreados de PM₁₀ según la Figura 5. De igual manera, los campos Hornillo y Santa Ana a 1,0 km y 2,5 km respectivamente del Centro Poblado Lache - La Chica (CA-13) fueron cosechados mediante quema los días 12 y 16 de noviembre respectivamente, coincidiendo con algunos de los días con mayor concentración de PM₁₀ obtenido según la Figura 6, lo que podría significar que una de las fuentes de este material particulado es la quema de caña de azúcar. Quintero *et al.* (2006) observa que en la mayoría de las de ciudades que cuentan con perfiles agrícolas, las partículas suspendidas es uno de los principales problemas en importancia, en especial las microscópicas de diez micras o menos (PM₁₀), que debido a su tamaño y peso pueden permanecer suspendidas en el aire durante semanas. De igual manera, Camargo (2008) a

partir de una recolección de datos del municipio cañero de Palmira, en el Valle del Cauca en Colombia, logró establecer que la quema de caña explica en gran medida el aumento en la atmósfera de partículas menores de diez micras (PM_{10}) y relacionó su aumento con el incremento de visitas a hospitales por consultas de enfermedades como la faringitis y bronquitis.

Adicionalmente, se debe mencionar que los puntos CA-17 y CA-3 cuentan con grandes flujos de mototaxis y autos particulares, por lo que también podrían ser considerados fuentes de material particulado, según Ho *et al.* (2003) y Quijano & Orozco (2005), los tubos de escape de los vehículos, así como la resuspensión del polvo causada por el movimiento de estos (Toro *et al.*, 2001 y Artiño *et al.*, 2003), pueden provocar altos niveles de material particulado en zonas urbanas.

4.2.2 Material particulado menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$).

En la Figura 9 se aprecia la variación diaria de $PM_{2,5}$ en el centro poblado Roma, el día 19 de noviembre llega a su máxima concentración alcanzando $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el día 11 de noviembre a su punto más bajo con $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el promedio diario de $20,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se hizo la comparación con los ECA para aire de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cumpliendo con la normativa, así mismo, se compara con el valor guía de la OMS para material particulado de 2,5 micras ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) existiendo superación los días 10, 13, 18 y 19 de noviembre.

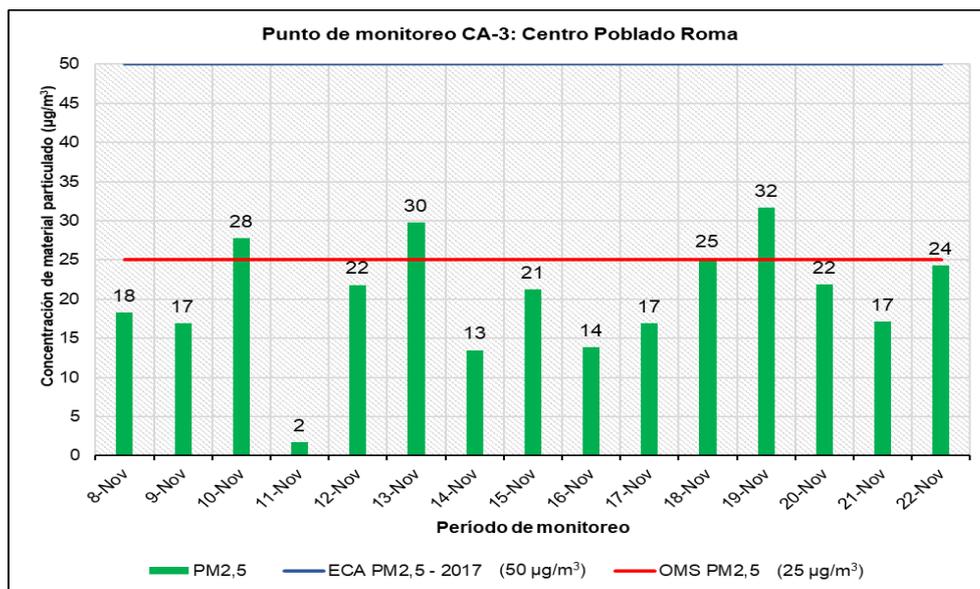


Figura 9: Concentraciones de $PM_{2,5}$ para el punto CA-3

La Figura 10 presenta los resultados de PM_{2,5} en el centro poblado Lache – La Chica, los valores máximos se encuentran en los días 13 y 14 de noviembre, alcanzando 19 µg/m³, y el día 11 de noviembre llega al valor más bajo de 1 µg/m³, teniendo un promedio diario de 13,8 µg/m³. Estos resultados son comparados con los ECA para aire de 50 µg/m³ y con los valores de la Organización Mundial de la Salud no superando los valores en ningún caso.

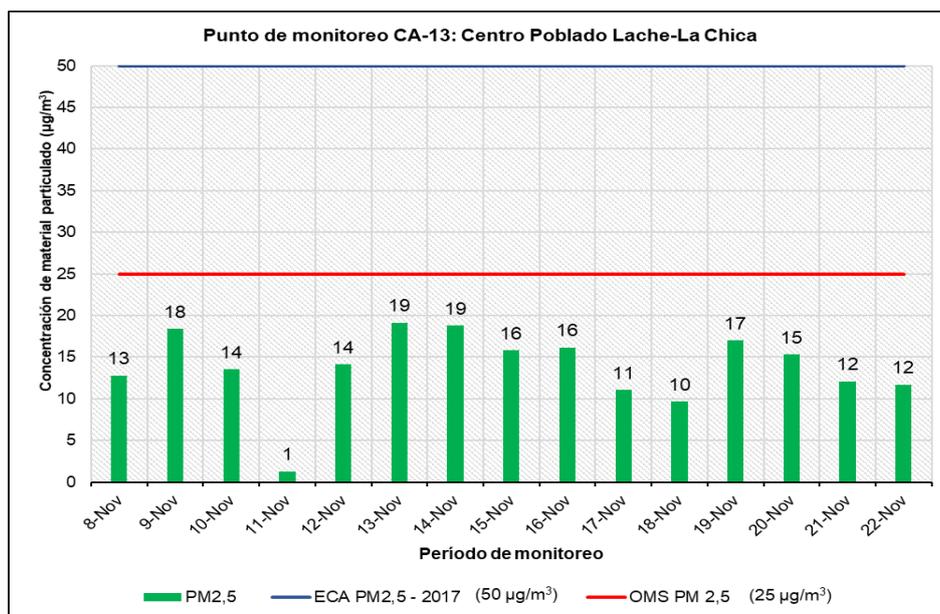


Figura 10: Concentraciones de PM_{2,5} para el punto CA-13

Los resultados diarios de PM_{2,5} en la vivienda ubicada en Casa Grande se aprecia en la Figura 11, teniendo su punto más alto el día 13 de noviembre, alcanzando 21 µg/m³, y su punto más bajo los días 9 y 10 de noviembre con una concentración de 2 µg/m³, siendo el promedio diario de 12,5 µg/m³. Asimismo, se muestra la comparación con los estándares de la OMS (25 µg/m³) y los ECA para aire (100 µg/m³), no superando las normas de referencia a pesar de tener valores cercanos.

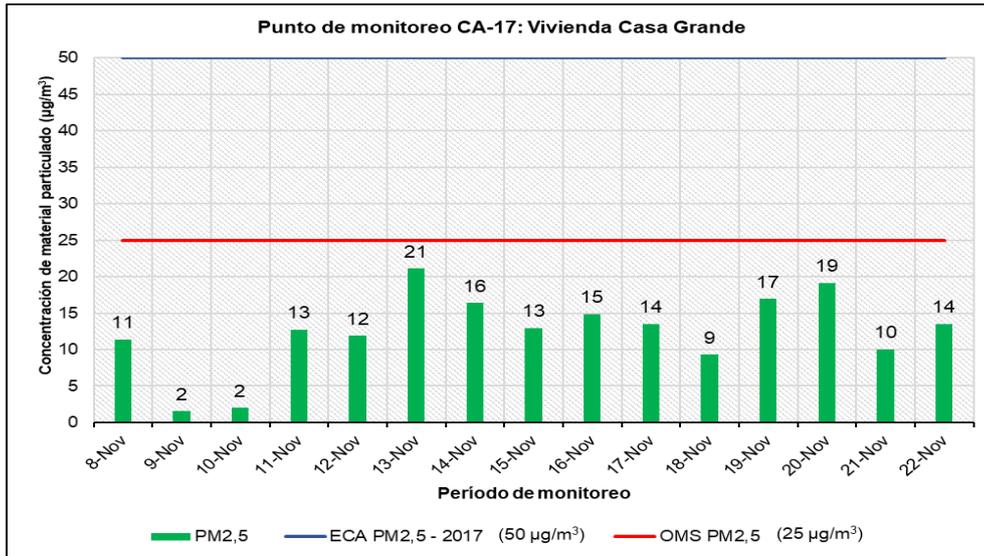


Figura 11: Concentraciones de PM_{2,5} para el punto CA-17

La Figura 12 presenta el diagrama de cajas correspondiente a las concentraciones de PM_{2,5}, donde se observa que las mayores concentraciones se encuentran en el punto CA-3, seguido del punto CA-13 y por último el CA-17. Se calculó el coeficiente de variación para cada punto, en base al promedio y desviación estándar de cada uno, obteniendo una mayor dispersión de resultados en el punto CA-17 con un 43,3 %, esto debido posiblemente valores muy bajos en comparación al resto, obtenidos los días 9, 10 y 18 de noviembre. Luego se encuentran el punto CA-3 con un CV de 37,3 % y el CA-13 con 32,8 %, los cuales presentan un día (11 de noviembre) en el cual el valor es mucho menor al resto del periodo de monitoreo.

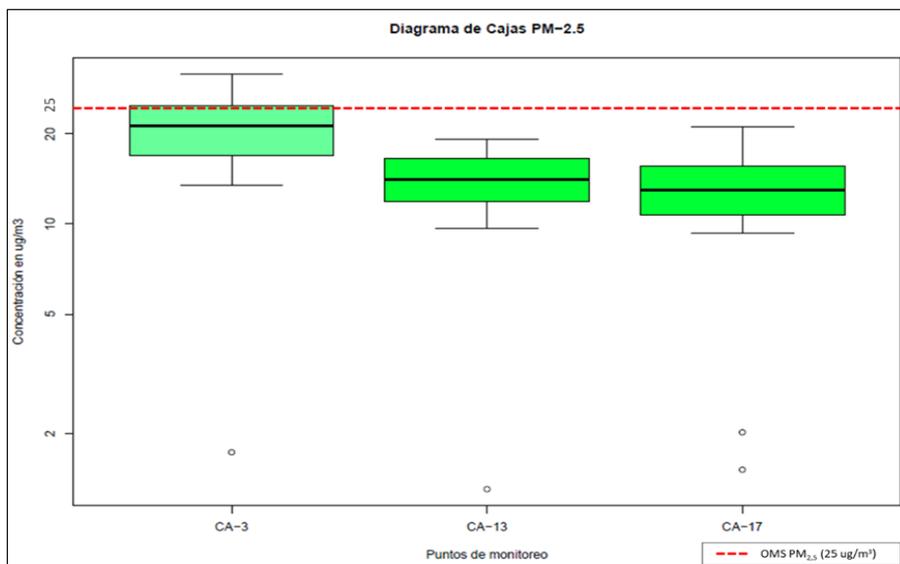


Figura 12: Diagrama de Cajas para PM_{2,5}

La razón entre el $PM_{2,5}$ y el PM_{10} representa la cantidad de material fino, casi todo de origen antrópico y el total de partículas menores a diez micras presentes en la atmósfera (Rodríguez, 2003). Así mismo, de acuerdo con Munir (2017), la fracción $PM_{2,5}/PM_{10}$ es un indicador de la presencia de partículas finas en el aire que contribuye al estudio del tamaño de partículas.

Tabla 14: Resultado relación $PM_{2,5}/PM_{10}$ diaria por punto de monitoreo

Fecha de monitoreo	Fracción $PM_{2,5}/PM_{10}$		
	CA-3	CA-13	CA-17
8-Nov	0,60	0,564	0,299
9-Nov	0,56	0,592	0,033
10-Nov	0,62	0,408	0,037
11-Nov	0,05	0,044	0,248
12-Nov	0,35	0,275	0,181
13-Nov	0,72	0,505	0,311
14-Nov	0,31	0,46	0,286
15-Nov	0,33	0,449	0,241
16-Nov	0,23	0,342	0,207
17-Nov	0,25	0,21	0,196
18-Nov	0,39	0,267	0,126
19-Nov	0,44	0,328	0,221
20-Nov	0,41	0,361	0,343
21-Nov	0,37	0,265	0,202
22-Nov	0,44	0,293	0,202

FUENTE: Elaboración propia

Los valores obtenidos para la fracción $PM_{2,5}/PM_{10}$ diarios de los diferentes puntos de monitoreo se muestran en la Tabla 14. Según Querol *et al.* (2004), una razón superior a 0,60 sería esperable bajo la influencia directa de fuentes de combustión las cuales estarían aportando mayor cantidad de partículas finas, mientras que se esperaría una razón inferior a 0,30 bajo la influencia directa de polvo resuspendido o erosión.

Según esto, los puntos CA-3 y CA-13 estarían influenciados en su mayoría por procesos de combustión, de manera directa durante los primeros días de monitoreo y en una menor magnitud el resto de días, esto podría deberse a las quemas de caña realizadas durante el periodo de estudio, lo que coincidiría con el estudio de Villalobos (2017) en el que se

concluye que la quema de biomasa de caña de azúcar en los alrededores del distrito de Laredo, influye de manera directa y moderada en el aumento de $PM_{2,5}$. Morales (2011) por su parte, menciona que las prácticas de quema tienen graves consecuencias ambientales debido a su influencia en el aumento en las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$. De igual manera, la influencia de vehículos (mototaxis y carros particulares) podría ser fuente de estas partículas para el primer punto, ya que este se encuentra cerca de la avenida principal, y el punto CA-13 podría verse influenciado también por quema de leña, ya que se pudo apreciar durante algunos días que las personas cocinaban afuera de sus viviendas varias veces al día.

Por otro lado, las fracciones $PM_{2,5}/PM_{10}$ del punto CA-17 indicarían una influencia más significativa de material de polvo resuspendido o erosión en el punto de monitoreo, lo que podría explicarse por material geológico arrastrado por los vientos predominantes en esa zona (Galvis & Rojas., 2006), proveniente de las calles pavimentadas y no pavimentadas del distrito Casa Grande.

Si bien, para ambos parámetros (PM_{10} y $PM_{2,5}$) no se superan los Estándares de Calidad de Aire, si existe una superación de los valores guía de la OMS en muchos de los días de monitoreo. Estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) indican que más de 100 millones de personas viven expuestas a concentraciones de contaminantes en el aire, que sobrepasan los niveles máximos permisibles establecidos en las guías de calidad del aire de la OMS, afectando la calidad del aire en América Latina y el Caribe.

4.2.3 Monóxido de Carbono (CO)

El parámetro de CO se monitoreó en los puntos CA-13 y CA-17, ubicados en el Centro Poblado Lache y en una vivienda en Casa Grande respectivamente. El ECA nacional para este parámetro para valores horarios es $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para la media aritmética de 8 horas móviles es $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Figura 13 se presenta la variabilidad de las concentraciones, obtenidas en el Centro Poblado Lache - La Chica, de monóxido de carbono en 1 hora y 8 horas móviles, las cuales fueron comparadas con los ECA para aire cumpliendo con la normativa nacional en ambos casos. Para los valores horarios, se obtuvo un CV de 76,8 %, lo que significa una dispersión alta de los resultados, alcanzando su punto mayor el día 8 de noviembre a las 22:00 horas

con 8820,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el punto más bajo desde el día 9 de noviembre a las 00:00 horas hasta el día 12 de noviembre a las 08:00 horas, encontrado así un valor de 431,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, repitiéndose el mismo valor al finalizar los días de observación, correspondiente al 22 de noviembre durante todo el día. Con respecto a los promedios de 8 horas, se obtuvo un patrón similar, con una variabilidad alta de 69,3 %, donde el valor más alto se obtuvo el 8 de noviembre entre las 00:00 horas y las 07:00 con 4438,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el punto más bajo se encontró desde el 9 de noviembre, desde el rango de 03:00 hasta 13:00 horas, hasta el día 12 de noviembre entre el rango de 01:00 horas hasta 08:00 horas, obteniéndose un valor de 431,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo se obtuvo un valor promedio de 1593,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

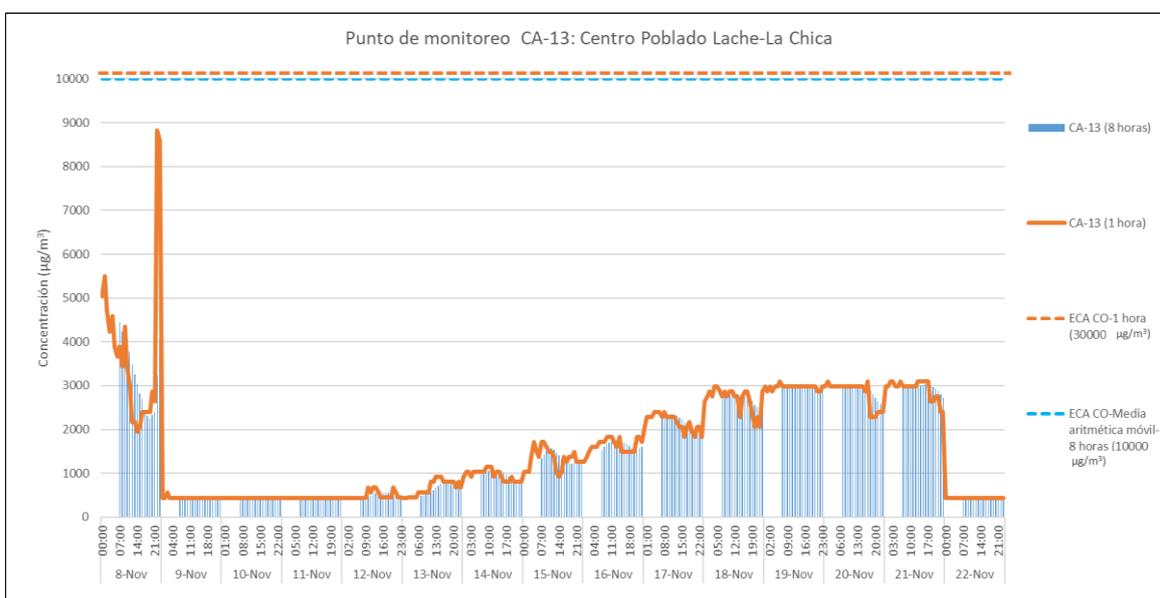


Figura 13: Concentraciones de CO para el punto CA-13

Si bien las concentraciones estuvieron debajo de los estándares, es posible que parte de lo obtenido en este punto de monitoreo se deba a las quemas de caña producidas cerca de este centro poblado, los días 12 y 16 de noviembre. Se debe tener en cuenta que la quema de caña de azúcar produce la alteración de la calidad del aire, en parte por la quema incompleta de la caña, que genera monóxido de carbono. (Dancé *et al.*, 2016). Esto concuerda con Coronado *et al.* (2011), donde explica que las emisiones de CO, en un estudio hecho con paja de trigo en el Valle de Mexicali, aumentaron un 60% para el periodo de 1987 al 2010, debido a la quema de biomasa. Por su parte, Hays *et al.* (2005) y Yokelson *et al.* (2008), determinaron también la presencia de monóxido de carbono durante la quema de residuos de arroz, trigo, caña de azúcar y residuos agrícolas como la leña. Por otro lado, se debe

considerar que durante la evaluación se apreció que algunos pobladores cocinaban fuera de sus casas con leña y madera, siendo otra de las posibles fuentes de este gas en el Centro Poblado Lache.

La Figura 14 muestra las concentraciones obtenidas en la vivienda de Casa Grande (CA-17), de CO para 1 hora y 8 horas móviles, las cuales fueron comparadas con los ECA para aire durante el periodo de monitoreo, cumpliendo con la normativa nacional. Para los valores horarios, se obtuvo un CV de 5,5 por ciento, lo que significa una variabilidad muy baja de los resultados, alcanzando su mayor punto el día 14 de noviembre a las 9:00 horas con 2451,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el punto más bajo desde el día 9 de noviembre a las 13:00 encontrándose un valor de 1913 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no se repite durante lo que resta de la evaluación, adicional a esto, se obtuvo un valor promedio de 2173,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Con respecto a los promedios de 8 horas, se obtuvo un patrón similar, con una variabilidad muy baja de 3,6 por ciento, donde el valor más alto se obtuvo el 16 de noviembre en el rango comprendido entre las 04:00 horas y las 11:00 con un valor de 2321,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el punto más bajo se encontró desde el 8 de noviembre, desde el rango de 07:00 hasta 14:00 horas, con un valor de 1941,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no se vuelve a repetir durante el resto del monitoreo, así mismo se obtuvo un valor promedio de 2175,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

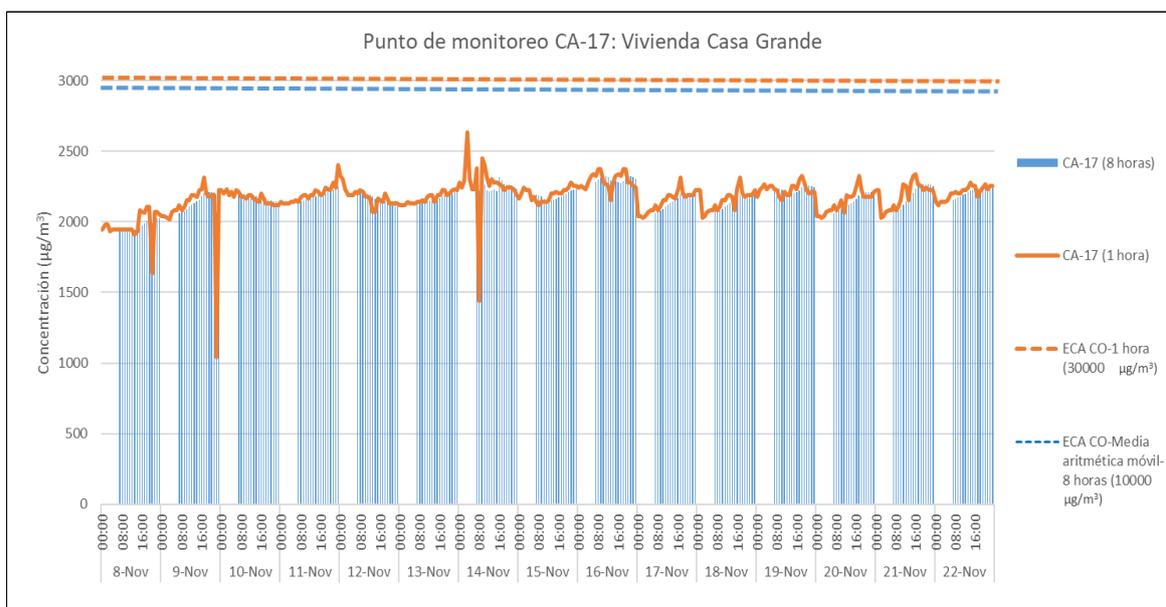


Figura 14: Concentraciones de CO para el punto CA-17

Las principales fuentes productoras de CO son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, los procesos industriales y la incineración de materia orgánica, los cuales son los responsables de aproximadamente 80 por ciento de las emisiones de monóxido de carbono (EPA, 2018). Esto concuerda con lo expuesto por Bustamante (2014), que menciona como principales fuentes del monóxido de carbono a los medios de transporte como los automóviles, camiones y motos. Así mismo, en Brasil, el monóxido de carbono es uno de los contaminantes emitidos en mayor cantidad, debido a los automóviles a gasolina y petróleo y motocicletas representando un 75 por ciento de las fuentes de emisiones (Ferreira, 2015). Así mismo, el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (2012), menciona que la fuente antropogénica más importante de CO es el tubo de escape de los automóviles y motos.

Para el punto CA-17, esta puede ser una de las principales fuentes, debido a la gran cantidad de vehículos particulares y mototaxis que transitan por este distrito, ya que ninguna de las quemaduras identificadas se dio en dirección a este punto de monitoreo. En el año 2012, un estudio elaborado por la Municipalidad de Casa Grande realizó un conteo de tráfico vehicular en el distrito durante una semana, siendo las mototaxis y automóviles particulares los vehículos con mayor presencia en la zona, con un total de 237 y 54 unidades, respectivamente, así mismo se proyectó que estas cantidades solo irían en aumento durante los próximos años.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, dentro de Casa Grande, se encuentra la empresa agroindustrial del mismo nombre, la cual estuvo operativa durante todos los días de monitoreo. Según Morales (2011), al igual que la quema de caña, las emisiones de gases a la atmósfera en el proceso, también contribuyen a un gran impacto ambiental ofrecido por la quema de combustibles fósiles como el petróleo y gas natural. Las emisiones a la atmósfera en la etapa de molienda corresponden a humos, gases de combustión en las calderas, partículas de carbón y partículas de bagazo. Así mismo, la quema de bagazo en las calderas, produce una gran contaminación por todo el tizne emitido y el monóxido de carbono ya que es quemado con una gran humedad.

4.2.4 Dióxido de Azufre (SO₂)

El dióxido de azufre (SO₂), monitoreado en los puntos antes mencionados, tiene como estándar de calidad ambiental el valor de 250 µg/m³ para un periodo de 24 horas. Por su parte, la Organización Mundial de la Salud, estableció un valor guía de 20 µg/m³, así como un objetivo intermedio de 50 µg/m³.

Los resultados de SO₂ para el periodo de 24 horas del Centro poblado Lache se presentan en la Figura 15, donde se muestra la comparación con los ECA para aire y el valor guía de la OMS, cumpliendo en ambos casos con la normativa de referencia. La variación diaria de los resultados es muy baja con un CV de 2,1 %, lo que significa que los valores son constantes durante el monitoreo (8,4 µg/m³) exceptuando el día 16 de noviembre, en el cual alcanza 9,1 µg/m³.

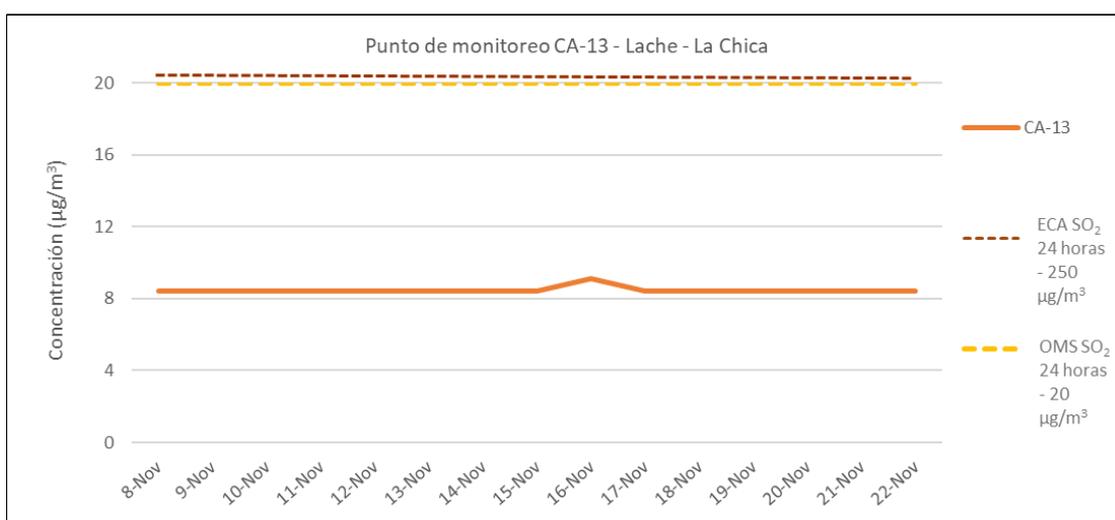


Figura 15: Concentraciones de SO₂ para el punto CA-13

A continuación, en la Figura 16 se muestran las concentraciones de SO₂ en el distrito Casa Grande, en comparación con los ECA para aire (250 µg/m³) donde no hubo superación, sin embargo, para el caso de los valores guía de la OMS, ya que estos resultados son considerables, se vio por conveniente incluir uno de los objetivos intermedios de 50 µg/m³, con esto se puede apreciar la superación del valor guía y el objetivo intermedio en todos los días de monitoreo. Con respecto al coeficiente de variabilidad (CV), se obtuvo un valor de 19,6 %, mostrando una dispersión baja de los resultados, con un promedio diario de 82,4 µg/m³, donde el punto más bajo fue el día 21 de noviembre con 56,1 µg/m³, repitiendo el

patrón en los últimos días de monitoreo y el día 19 de noviembre presentó el valor máximo con 101,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

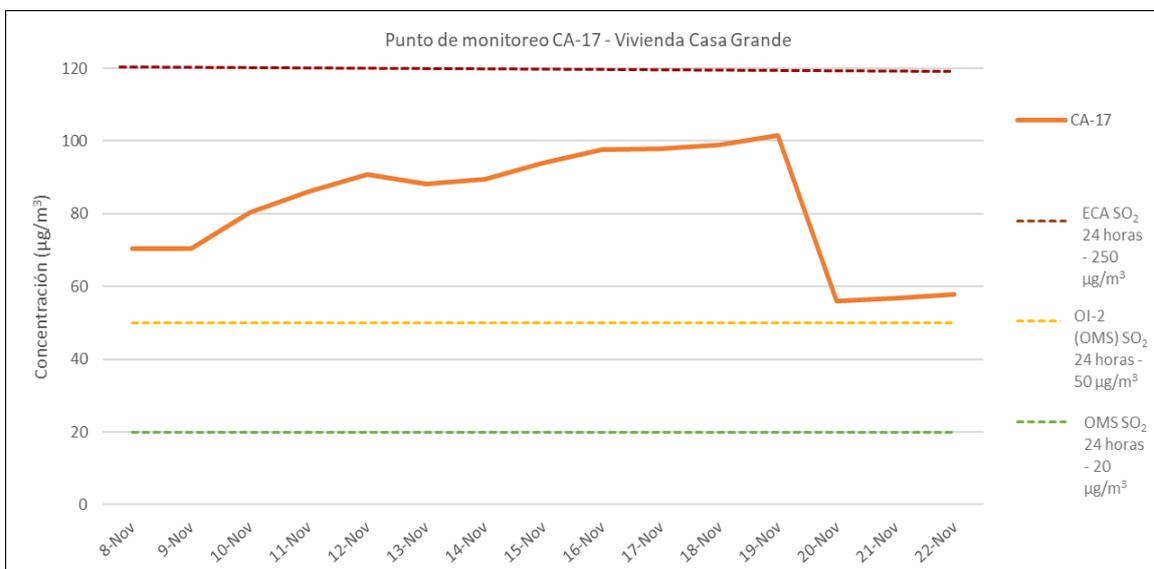


Figura 16: Concentraciones de SO₂ para el punto CA-17

Debido a los resultados obtenidos se debe tomar en consideración las posibles fuentes de SO₂ para el distrito Casa Grande. Según Carrera & Loyola (2010) este gas junto con el monóxido de carbono se debe a la quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales, lo que coincide con lo expuesto por Montoya (2011), donde menciona que la quema de caña de azúcar permanente y las emisiones industriales produce altos niveles de gas carbónico y dióxido de azufre, esto podría explicar que parte de las concentraciones obtenidas en el monitoreo provienen de las emisiones de la empresa Casa Grande, ubicada a pocos metros del punto evaluado ya que durante los 15 días de monitoreo, las chimeneas estuvieron trabajando permanentemente, ya que como lo describe Bustamante (2014), los ingenios azucareros son considerados fuentes fijas de emisión de dióxido de azufre entre otros contaminantes, luego de un estudio realizado en la agroindustria Central Progreso en Veracruz.

4.3 Influencia de la dirección y velocidad del viento, humedad relativa y temperatura sobre el material particulado

De acuerdo a las rosas de viento, mostradas en la Figura 17, se observa que las direcciones predominantes hacia dónde va el viento varía poco entre cada punto, para el punto CA-3 se

tiene una dirección predominante del oeste suroeste (OSO), el punto CA-13 presenta una dirección predominante del suroeste (SO); finalmente, para el punto CA-17 la dirección predominante del viento es del oeste (O).

Las direcciones predominantes del viento en los tres puntos sugieren la existencia de un posible transporte de contaminantes generados por las quemas casi directamente hacia los centros poblados escogidos como zonas de estudio.

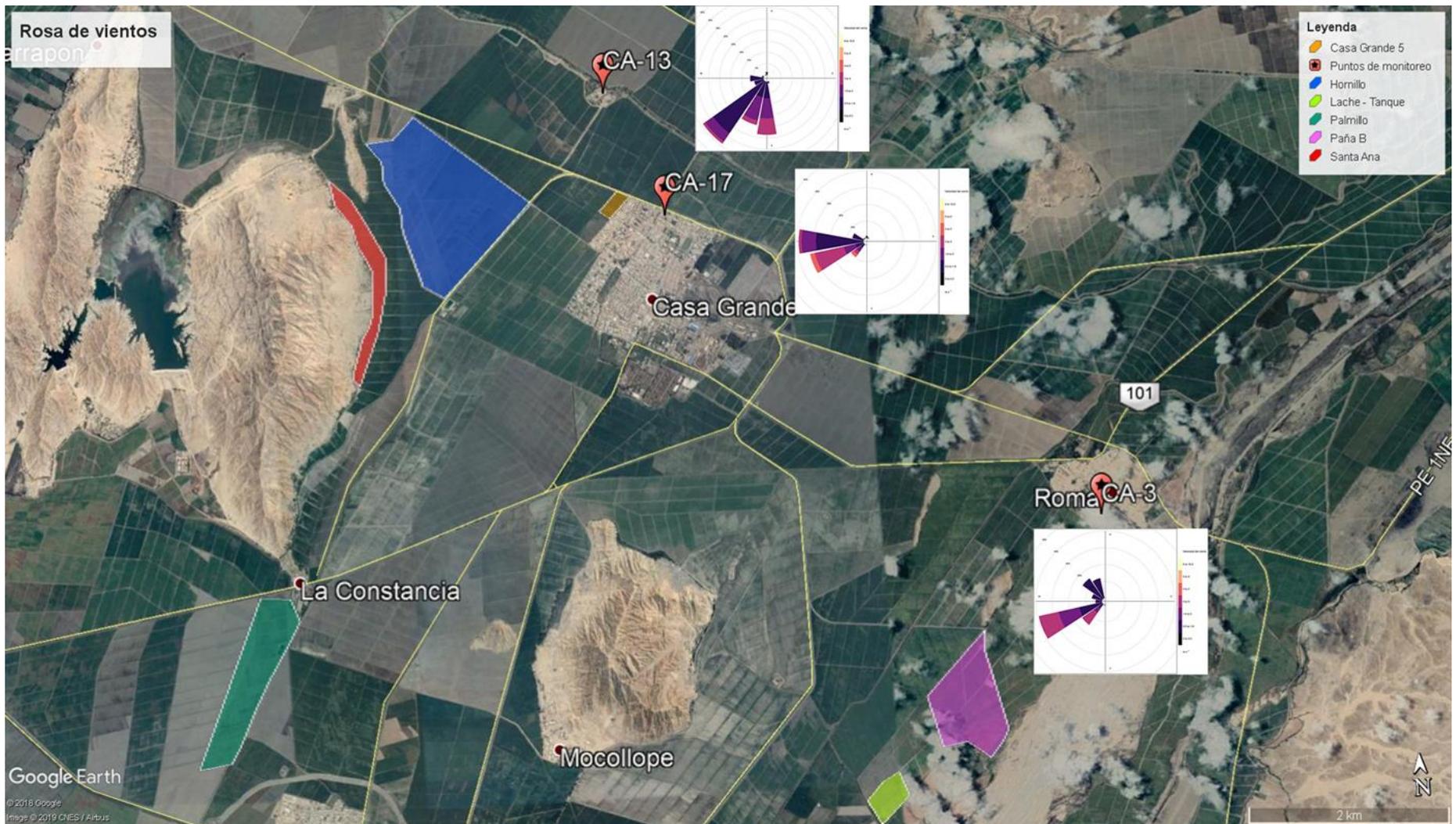


Figura 17: Rosas de viento correspondientes al periodo de monitoreo (8 al 22 de noviembre de 2018)

Para el caso de la temperatura y humedad relativa, las Figuras 18 y 19 muestran distribuciones uniformes durante el periodo de monitoreo en los puntos CA-3 y CA-13, sin embargo, para el punto CA-17, la temperatura presenta una disminución a partir del 15 de noviembre, mientras que la humedad relativa aumentó a partir de la misma fecha, presentado una relación inversa en la segunda mitad del periodo de monitoreo, esto coincide con lo visto en campo, ya que a partir de esas fechas, se pudo observar mayor nubosidad durante el día en el distrito de Casa Grande, lo que pudo provocar una disminución de la temperatura captada por la estación meteorológica de ese punto de monitoreo.

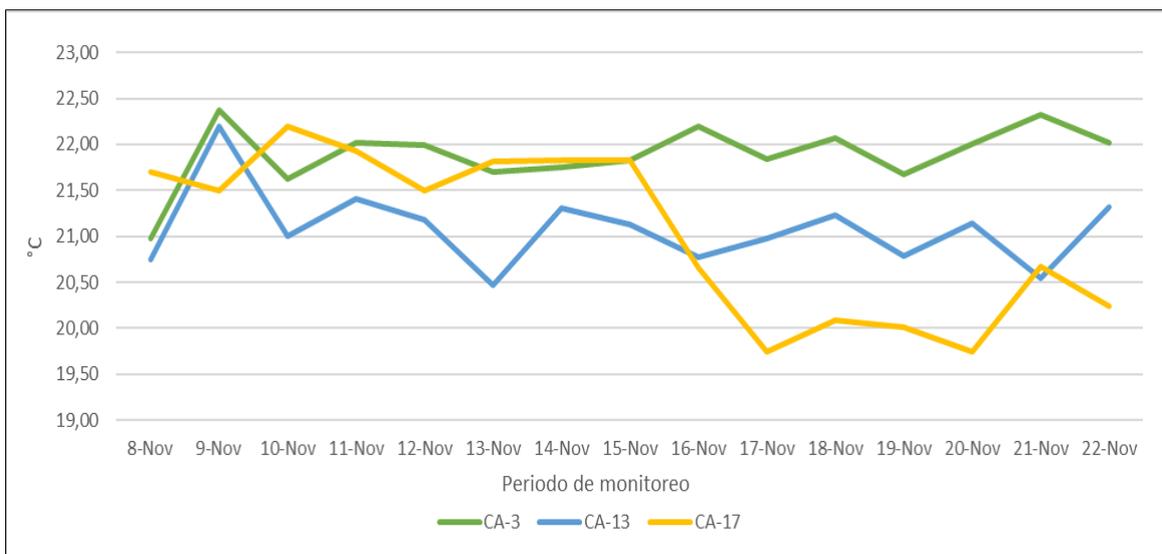


Figura 18: Variación temporal de la temperatura del aire durante el periodo de monitoreo

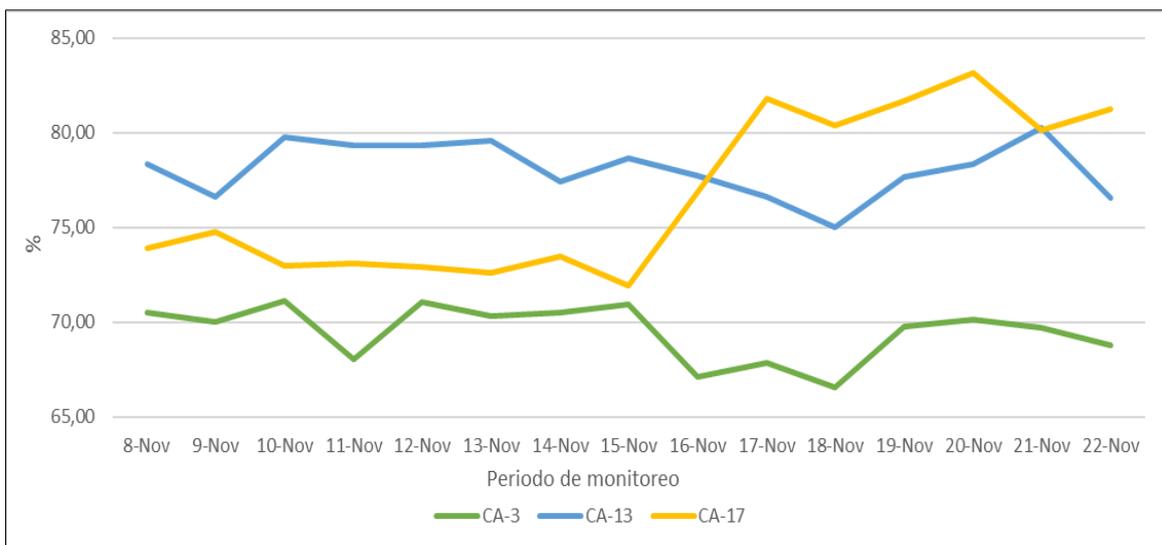


Figura 19: Variación temporal de la humedad relativa durante el periodo de monitoreo

Se realizó la correlación de Spearman para los gases SO₂ y CO, encontrándose una relación de 0.41 (a una confiabilidad del 85%) entre el dióxido de azufre y la velocidad del viento en el punto CA-17 y una relación positiva débil de 0.37 (a una confiabilidad del 70%) para el punto CA-13, lo que significa que a mayores velocidades del viento, las concentraciones obtenidas serán mayores, lo que indicaría que las concentraciones obtenidas podrían provenir en parte de las emisiones industriales así como quemas de caña de azúcar, esto concuerda con un estudio realizado en Chile donde se encontró que a la hora de un aumento en concentraciones de SO₂, la velocidad predominante se presentó en un rango moderado, lo que indica que es necesaria cierta velocidad para que el gas se desplace desde la fuente de emisión hasta la estación de monitoreo (CENMA, 2013). A nivel diario, la humedad relativa y temperatura no resultaron adecuadas en la descripción del comportamiento del SO₂, coincidiendo con lo expuesto por Ramos *et al.* (2010).

Para el monóxido de carbono, se obtuvo una relación positiva débil de 0.33 (a una confiabilidad del 95 por ciento) con la velocidad del viento para el punto CA-17, lo que podría indicar que parte del CO obtenido podría ser debido, al igual que el SO₂, a las emisiones de las chimeneas pertenecientes a la agroindustria Casa Grande, los que podrían ser arrastrados por los vientos moderados del lugar.

La dinámica de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} presentan variaciones espacial y temporal, vinculada a condiciones topográficas y meteorológicas, como la temperatura, precipitación, humedad y la dirección y velocidad del viento (Van der Wal & Janssen, 1996; Giri *et al.*, 2008; Unal *et al.*, 2011). Para determinar la influencia de las variables meteorológicas en las concentraciones del material particulado, se realizó un análisis estadístico y gráfico del comportamiento de las variables meteorológicas. Para este caso se utilizó el coeficiente de Spearman entre las concentraciones de PM₁₀, PM_{2,5}, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15: Resultados de prueba de correlación de Spearman con material particulado

Punto de monitoreo	Relación	Coef. Spearman	Valor p	Valor alfa asignado	Interpretación
CA-3	PM _{2,5} - T°	-0.40	0.148	0.15	Relación negativa débil al 85% de confiabilidad
	PM _{2,5} - WS	-0.75	0.002	0.05	Relación negativa fuerte al 95% de confiabilidad
CA-13	PM ₁₀ - WS	0.57	0.03	0.05	Relación positiva fuerte al 95% de confiabilidad
	PM ₁₀ - T°	-0.54	0.038	0.05	Relación negativa fuerte al 95% de confiabilidad
CA-17	PM _{2,5} - WS	0.54	0.037	0.05	Relación positiva fuerte al 95% de confiabilidad
	PM ₁₀ - HR	0.35	0.199	0.20	Relación positiva débil al 80% de confiabilidad

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla 15 muestra una relación negativa fuerte al 95 por ciento de confiabilidad entre el material particulado PM_{2,5} y la velocidad del viento (-0.75) para el punto CA-3, lo que refleja que, a menores velocidades, las concentraciones captadas serán mayores. Teniendo en cuenta que las velocidades registradas en este punto son bajas, parte del material particulado captado podría deberse a emisiones cercanas al punto de monitoreo posiblemente de la quema del campo más cercano a este punto como lo indicaron Uribe & Suárez (2009), Pu *et al.* (2011), Gonzáles *et al.* (2014), o las que podrían provenir de la resuspensión del polvo, debido a la presencia de pistas sin pavimentar que presenta el Centro Poblado Roma (Méndez *et al.*, 2017). Así mismo, se presenta una relación negativa de -0.40 (a un 85 por ciento de confiabilidad) del PM_{2,5} y la temperatura, lo que indicaría que, a menores temperaturas, las concentraciones serán mayores, condiciones particulares que se reflejan en estudios hechos por Putuad *et al.* (2004), Hazenkamp *et al.* (2003) y Marcazzan *et al.* (2001)

En el punto CA-13, se aprecia una relación positiva fuerte (0,57) entre el material particulado PM₁₀ y la velocidad del viento, esta fuerte influencia indica que este contaminante podría ser transportado hasta el punto de muestreo desde lugares apartados, como lo expone Miranda *et al.* (2008) y Wark & Warner (2013). Considerando que durante el periodo de monitoreo se produjo la quema de caña de azúcar de los campos denominados Hornillo y

Santa Ana, del centro poblado Lache, donde se ubica el segundo punto de monitoreo, estas concentraciones obtenidas de PM_{10} podrían ser producto de esta actividad agroindustrial como se menciona anteriormente.

Con respecto al punto CA-17, ubicado en una vivienda de tres pisos en el distrito Casa Grande, la Tabla 15 muestra que el PM_{10} presenta una relación negativa fuerte con la temperatura (-0.54 a un 95 por ciento de confiabilidad), es decir, que las mayores concentraciones de material particulado PM_{10} se encontrarían cuando las temperaturas son bajas, lo cual evita la dispersión del material particulado como lo expusieron Ramírez *et al.* (2009), donde se identificaron diferentes fuentes de contaminación, siendo una de ellas la quema de residuos agrícolas. De igual manera estudios en la ciudad de Ponferrada, España, mostraron mayores niveles de contaminantes durante las épocas más frías en zonas donde ocurre combustión de carbón, quema de biomasa y fuentes industriales diversas (IDAEA, 2009). Por otro lado, se obtuvo una correlación positiva de 0.54, con una confiabilidad del 95 por ciento, entre el $PM_{2.5}$ y la velocidad del viento, lo que podría indicar un mayor arrastre de partículas a mayores velocidades de viento registradas, siendo este parámetro meteorológico uno de los que influye más en las concentraciones de material particulado fino como el $PM_{2.5}$, así como lo indica Guzmán (2002) y coincidiendo con lo expuesto por Glavas *et al.* (2008). Por último, se encontró una relación directa de 0.35 entre el PM_{10} y la humedad relativa, según Muñoz *et al.* (2000), esto puede estar asociado a las reacciones debido a la formación de compuestos higroscópicos, como es el caso de la absorción de humedad y la inversión térmica.

4.4 Cálculo del Índice de Calidad del Aire de los contaminantes evaluados y comparación con los rangos de niveles de contaminación

Se realizó el cálculo del Índice diario de calidad del aire mediante el *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - The Air Quality Index (AQI)*, documento de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA). Así mismo, se empleó el INCA nacional para poder utilizarlo en este estudio como referencia, tomando en cuenta los valores del Estándar de Calidad del Aire actuales.

A manera de ejemplo, se muestran los cálculos hechos para el primer día de monitoreo (8 de noviembre de 2018): PM₁₀ y PM_{2,5} en el punto CA-3, primer promedio móvil de 8 horas de CO en el punto CA-13 y para SO₂ en el punto CA-17:

a. Índice de Calidad para PM₁₀ - Punto de monitoreo CA-3

<p>Air Quality Index</p> $AQI_{PM_{10}} = \frac{50 - 0}{54 - 0} (38,13 - 0) + 0 = 38$		<p>Índice de Calidad de Aire Nacional</p> $I (PM_{10}) = [30]*100/100 = 30$
---	--	---

b. Índice de Calidad para PM_{2,5} - Punto de monitoreo CA-3

<p>Air Quality Index</p> $AQI_{PM_{2,5}} = \frac{100 - 51}{35,4 - 12,1} (18,28 - 12,1) + 51 = 64$		<p>Índice de Calidad de Aire Nacional</p> $I (PM_{2,5}) = [18]*100/50 = 37$
---	--	---

c. Índice de Calidad para CO - Punto de monitoreo CA-13

<p>Air Quality Index</p> $AQI_{CO} = \frac{50 - 0}{4,4 - 0} (3,9 - 0) + 0 = 44$		<p>Índice de Calidad de Aire Nacional</p> $I (CO) = [4438,8]*100/10000 = 44$
---	--	--

d. Índice de Calidad para SO₂ - Punto de monitoreo CA-17

<p>Air Quality Index</p> $AQI_{SO_2} = \frac{50 - 0}{0,035 - 0} (0,027 - 0) + 0 = 38$		<p>Índice de Calidad de Aire Nacional</p> $I (SO_2) = [70,4]*100/250 = 28$
---	--	--

A continuación, se presentan en las tablas 16, 17 y 18 con los resultados para material particulado y gases:

Tabla 16: índices diarios de Calidad del Aire para PM₁₀ y PM_{2,5}

Fecha de monitoreo	CA-3				CA-13				CA-17			
	AQI (PM ₁₀)	INCA (PM ₁₀)	AQI (PM _{2,5})	INCA (PM _{2,5})	AQI (PM ₁₀)	INCA (PM ₁₀)	AQI (PM _{2,5})	INCA (PM _{2,5})	AQI (PM ₁₀)	INCA (PM ₁₀)	AQI (PM _{2,5})	INCA (PM _{2,5})
8-Nov	28	30	64	37	21	23	53	26	35	38	47	23
9-Nov	28	30	61	34	29	31	64	37	43	46	6	3
10-Nov	42	45	84	56	31	33	54	27	51	55	8	4
11-Nov	33	36	7	3	28	30	5	3	48	51	52	25
12-Nov	55	63	71	44	48	51	55	28	56	66	50	24
13-Nov	38	41	88	59	35	38	66	38	57	68	70	42
14-Nov	40	43	54	27	38	41	65	38	52	57	60	33
15-Nov	56	65	70	43	33	35	59	32	50	54	53	26
16-Nov	53	60	55	28	44	47	60	32	59	72	57	30
17-Nov	58	69	61	34	49	53	46	22	58	69	54	27
18-Nov	56	65	79	51	34	36	40	19	60	74	39	19
19-Nov	59	71	92	63	48	52	61	34	62	77	61	34
20-Nov	49	53	72	44	39	42	58	31	51	56	66	38
21-Nov	43	47	62	34	42	46	50	24	46	50	42	20
22-Nov	51	56	77	49	37	40	49	23	57	67	54	27

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 17: Índices de Calidad del Aire para CO

8 horas móvil s	Fecha de monitoreo	CA-13		CA-17		Fecha de monitoreo	CA-13		CA-17		Fecha de monitoreo	CA-13		CA-17	
		A	IN	A	IN		A	IN	A	IN		A	IN	A	IN
		Q I	C A	Q I	C A		Q I	C A	Q I	C A		Q I	C A	Q I	C A
00:00-07:00		44	44	19	20		4	4	20	21		4	4	22	22
01:00-08:00		42	42	19	20		4	4	21	21		4	4	22	22
02:00-09:00		41	41	19	20		4	4	21	21		4	4	22	22
03:00-10:00		39	39	19	19		4	4	21	21		4	4	22	22
04:00-11:00		38	38	19	19		4	4	21	21		4	4	22	22
05:00-12:00		35	35	19	19		4	4	21	21		4	4	22	22
06:00-13:00	8-Nov	32	33	19	19	9-Nov	4	4	21	21	10-Nov	4	4	22	22
07:00-14:00		30	30	19	19		4	4	21	21		4	4	22	22
08:00-15:00		28	28	19	20		4	4	21	22		4	4	22	22
09:00-16:00		27	27	20	20		4	4	22	22		4	4	22	22
10:00-17:00		24	24	20	20		4	4	22	22		4	4	22	22
11:00-18:00		23	23	20	20		4	4	22	22		4	4	21	22
12:00-0-		22	22	20	20		4	4	22	22		4	4	21	22

Continuación...

19:00															
13:00															
0-20:00		23	23	20	20	4	4	22	22	4	4	21	22		
14:00															
0-21:00		24	24	20	20	4	4	22	22	4	4	21	21		
15:00															
0-22:00		32	33	20	20	4	4	21	21	4	4	21	21		
16:00															
0-23:00		40	41	20	20	4	4	21	21	4	4	21	21		
00:00															
0-07:00		4	4	21	21	4	4	22	22	5	5	21	21		
01:00															
0-08:00		4	4	21	21	4	4	22	22	5	5	21	21		
02:00															
0-09:00		4	4	21	22	4	4	22	22	5	5	21	21		
03:00															
0-10:00		4	4	21	22	5	5	22	22	5	5	21	21		
04:00															
0-11:00		4	4	21	22	5	5	22	22	6	6	21	21		
05:00															
0-12:00	11-Nov	4	4	22	22	12-Nov	5	5	22	22	13-Nov	6	6	21	22
06:00															
0-13:00		4	4	22	22	5	5	22	22	7	7	21	22		
07:00															
0-14:00		4	4	22	22	6	6	21	22	7	7	21	22		
08:00															
0-15:00		4	4	22	22	6	6	21	22	8	8	21	22		
09:00															
0-16:00		4	4	22	22	6	6	21	21	8	8	22	22		
10:00															
0-		4	4	22	22	6	6	21	21	8	8	22	22		

Continuación...

15:00															
09:00															
0-16:00		10	10	23	23		13	13	22	22		17	17	23	23
10:00															
0-17:00		10	10	23	23		12	12	22	22		16	17	23	23
11:00															
0-18:00		9	9	23	23		12	12	22	22		16	16	23	23
12:00															
0-19:00		9	9	22	23		12	12	22	22		16	16	23	23
13:00															
0-20:00		9	9	22	23		12	12	22	22		15	15	23	23
14:00															
0-21:00		9	9	22	23		13	13	22	22		16	16	23	23
15:00															
0-22:00		8	8	22	22		13	13	22	22		16	16	23	23
16:00															
0-23:00		8	8	22	22		13	13	22	22		16	16	23	23
00:00															
0-07:00		23	23	20	21		28	28	21	21		29	30	22	22
01:00															
0-08:00		23	23	21	21		28	28	21	21		29	30	22	22
02:00															
0-09:00		23	23	21	21		28	28	21	21		30	30	22	22
03:00	17-Nov														
0-10:00		23	23	21	21		28	28	21	21		30	30	22	22
04:00															
0-11:00		23	23	21	21		28	29	21	21		30	30	22	22
05:00															
0-12:00		23	23	21	21		28	28	21	21		30	30	22	22
06:00															
0-00:00		23	23	21	21		28	28	21	21		30	30	22	22

Continuación...

13:00													
07:00													
0-14:00		22	23	21	21	27	27	21	21	30	30	22	22
08:00													
0-15:00		22	22	21	22	27	27	21	21	30	30	22	22
09:00													
0-16:00		21	22	22	22	27	27	21	22	30	30	22	22
10:00													
0-17:00		21	21	22	22	27	27	22	22	30	30	22	22
11:00													
0-18:00		21	21	22	22	27	27	22	22	30	30	22	22
12:00													
0-19:00		21	21	22	22	26	26	22	22	30	30	22	23
13:00													
0-20:00		20	20	22	22	25	26	22	22	30	30	22	23
14:00													
0-21:00		20	20	22	22	25	25	22	22	29	30	22	23
15:00													
0-22:00		20	20	22	22	25	25	22	22	29	29	22	23
16:00													
0-23:00		20	20	22	22	25	25	22	22	29	29	22	22
00:00													
0-07:00		30	30	20	21	30	30	21	21	4	4	21	22
01:00													
0-08:00		30	30	21	21	30	30	21	21	4	4	21	22
02:00	20-Nov					21-Nov				22-Nov			
0-09:00		30	30	21	21	30	30	21	21	4	4	22	22
03:00													
0-10:00		30	30	21	21	30	30	21	21	4	4	22	22
04:00													
0-		30	30	21	21	30	30	21	21	4	4	22	22

Continuación...

11:00												
05:00												
0-12:00	30	30	21	21	30	30	21	21	4	4	22	22
06:00												
0-13:00	30	30	21	21	30	30	21	22	4	4	22	22
07:00												
0-14:00	30	30	21	21	30	30	22	22	4	4	22	22
08:00												
0-15:00	30	30	21	21	30	30	22	22	4	4	22	22
09:00												
0-16:00	29	30	21	22	30	30	22	22	4	4	22	22
10:00												
0-17:00	30	30	22	22	30	30	22	23	4	4	22	22
11:00												
0-18:00	29	29	22	22	30	30	23	23	4	4	22	22
12:00												
0-19:00	28	28	22	22	29	30	22	23	4	4	22	22
13:00												
0-20:00	27	27	22	22	29	29	22	23	4	4	22	22
14:00												
0-21:00	26	26	22	22	29	29	23	23	4	4	22	22
15:00												
0-22:00	26	26	22	22	28	28	22	23	4	4	22	22
16:00												
0-23:00	25	25	22	22	27	27	22	23	4	4	22	22

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 18: Índices diarios de Calidad del Aire para SO₂

Fecha de monitoreo	CA-13		CA-17	
	AQI (SO ₂)	INCA (SO ₂)	AQI (SO ₂)	INCA (SO ₂)
8-Nov	5	3	38	28
9-Nov	5	3	38	28
10-Nov	5	3	44	32
11-Nov	5	3	47	34
12-Nov	5	3	49	36
13-Nov	5	3	48	35
14-Nov	5	3	49	36
15-Nov	5	3	51	38
16-Nov	5	4	53	39
17-Nov	5	3	53	39
18-Nov	5	3	53	40
19-Nov	5	3	55	41
20-Nov	5	3	31	22
21-Nov	5	3	31	23
22-Nov	5	3	32	23

FUENTE: Elaboración propia

4.4.1 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al PM₁₀

De acuerdo a la Tabla 16, se tiene que el punto CA-13, presenta tres días con calidad de aire moderada de acuerdo al INCA y valores por debajo de 50, para todos los días de monitoreo, de acuerdo al AQI equivalente a una calidad Buena del Aire, lo que sugiere que no existen efectos secundarios sobre la salud de la población. Con respecto al punto CA-3, según el AQI, este presentó cinco días donde la calidad del aire, tuvo una clasificación Moderada, con valores entre 55 y 59; y ocho días con la misma clasificación de calidad de aire bajo el INCA. Para el punto CA-17, se obtuvieron 10 días con la clasificación Moderada presentando índices entre 51 y 62, y doce días según lo calculado por el INCA con valores entre 51 y 77.

Según lo establecido por las guías del AQI e INCA, esto podría significar la existencia de posibles efectos adversos en personas sensibles con asma y adultos con enfermedad cardiovascular como hipertensión arterial o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica, las cuales deberían reducir la actividad física fuerte o prolongada.

Estas medidas concuerdan con diferentes estudios a través de los años, Ostro *et al.* (1996), Wong *et al.*, (2006), Jiménez (2014) y Escudero (2017), establecieron una asociación significativa entre las enfermedades respiratorias y la exposición a una calidad de aire que presente concentraciones elevadas de material particulado PM₁₀. Dávalos (2007) y Reupo (2015) presentaron estudios donde la población se veía afectada por el PM₁₀ generado en parte por actividades de quema de caña y biomasa, causando el aumento de consultas médicas efectuadas por infecciones respiratorias, siendo los niños, adultos mayores y madres lactantes los más afectados (Astudillo *et al.*, 2007 y Muñoz & Carvallo, 2009), sobre todo si el tiempo de exposición a este contaminante aumenta (Cordero *et al.*, 2018). Así mismo, Arbex *et al.* (2000) y Cancado *et al.* (2006) encontraron, una relación entre la quema agrícola producida en campos de Brasil y la cantidad de terapias respiratorias y las admisiones hospitalarias por enfermedades pulmonares, confirmando el deterioro de la salud que padecen los individuos que habitan cerca de cultivos sometidos a esta práctica.

4.4.2 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al PM_{2,5}

La Tabla 16 muestra que para los puntos CA-13 y CA-17, los días que presentaron una clasificación de calidad de aire Moderada según el AQI fueron de una cantidad considerable, 10 días para el primer punto y 9 días para el segundo punto. Por otro lado, el punto CA-3 presenta una calidad de aire moderada en 14 de los 15 días monitoreados según el AQI, y en cuatro días de acuerdo al INCA, se debe tener en cuenta que al tener un valor de ECA mayor al de la OMS, podría interferir en la clasificación obtenida de la calidad de aire.

Según las recomendaciones hechas por las guías del AQI e INCA la población sensible y la población en general debería de evitar realizar actividades al aire libre ya que podría experimentar problemas de salud.

Estas recomendaciones concuerdan con Gomiscek *et al.* (2004) y Nikasinovic *et al.* (2006) los cuales mencionan que la relación de partículas finas en el aire tiene un impacto considerable sobre la salud humana, incluso en concentraciones por debajo de los límites establecidos en las normas internacionales. Por su parte Hoek *et al.* (2013) mencionan que una exposición a largo plazo debido a actividades continuas como quemas de biomasa o emisiones industriales resultan en riesgos cardiovasculares y respiratorios por exposición de PM_{2,5}, al igual que Escudero (2017).

4.4.3 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al CO

Con respecto al monóxido de carbono, la tabla 17 muestra que ambos puntos CA-13 y CA-17 obtuvieron valores correspondientes a una clasificación Buena, tanto para lo calculado por el AQI como por el INCA, lo cual representa una calidad del aire satisfactoria sin efectos negativos sobre la población.

4.4.4 Análisis de los índices de calidad obtenidos con respecto al SO₂

La Tabla 18, presenta los valores obtenidos de SO₂ para el punto CA-13 y CA-17, donde se aprecia que para el primer punto la calidad del aire resultó con una clasificación de Buena, con índices de 5 para el AQI, y 3 para el INCA. En el punto CA-17, el AQI nos brinda dos resultados, una calidad de aire Buena durante 10 días de monitoreo y 5 días con una clasificación de calidad Moderada con valores de 51 y 55, a diferencia del INCA por el cual se obtiene una calidad de aire buena para todos los días de monitoreo. Se debe mencionar los valores utilizados en el INCA se basan en el ECA nacional actual para SO₂ de 250 µg/m³, valor que podría modificar la calidad de aire obtenida con una utilizando el valor establecido por la OMS, por lo que se debería considerar los efectos negativos que puede causar este contaminante en la salud en la población sensible y en la población en general, así como lo que encontraron Penard-Morand *et al.* (2010), en un estudio en Francia, donde las emisiones de SO₂ tuvieron una relación significativa con altas tasas de asma y rinitis en niños. Wong *et al.* (2006) indicaron también que existe una asociación fuerte entre este contaminante y la muerte por enfermedades respiratorias.

Según las indicaciones hechas por el INCA, si se obtuviese una Mala calidad del aire se debería de evitar las actividades al aire libre, de acuerdo a Nguyen *et al.* (2012), los niños suelen pasar más tiempo en el exterior que los adultos, y en términos relativos, inhalan el doble de aire que los adultos, por que serían unos de los más vulnerables a la presencia de tóxicos ambientales, como lo menciona Méndez (2014), al encontrar un aumento de enfermedades respiratorias agudas en el grupo de población infantil hasta los 10 años. Así mismo, Carey *et al.* (2013), relacionan la exposición aguda y prolongada de este contaminante a enfermedades de vías respiratorias como bronquitis, neumonía y todos, sin diferenciar un grupo de edad. Tal como lo hicieron Nardocci *et al.* (2013), los cuales relacionaron, entre otros contaminantes, al SO₂ con el incremento de mortalidad y morbilidad por problemas cardiovasculares y respiratorios. Por su parte, las exposiciones de

estos gases durante el embarazo y los periodos tempranos de vida, se han asociado con nacimientos prematuros, retraso en el crecimiento intrauterino, síndrome de muerte temprana y mortalidad infantil. (Clark *et al.*, 2010, Cheng *et al.*, 2012 y Ching *et al.*, 2014).

4.5 Propuestas de alternativas de solución para reducir los impactos identificados generados por la quema de caña de azúcar.

4.5.1 Cosecha en verde

Estudios realizados desde hace muchos años como el de Molina (1998) y Braunbeck *et al.* (1999) afirman que la cosecha en verde de la caña de azúcar es una práctica que ha sido bien aceptada en muchos países debido a los beneficios que presenta, aunque implica nuevos retos tecnológicos. La implementación de la cosecha en verde traería beneficios como la disminución de la contaminación ambiental, mejora en la estructura y fertilidad de los suelos, menores requerimientos hídricos, entre otros. Además de representar una alternativa viable y sustentable a la cosecha que se realiza de forma tradicional, con ventajas en la reducción de tiempo en el corte y de la mano de obra empleada. Así mismo, las emisiones contaminantes de la quema se reducen y sus efectos directos en la salud de los trabajadores que laboran en la cosecha de los cañaverales. Esto coincide con lo publicado por Copa (2006), la cual considera que un control de los cultivos de forma manual, con maquinaria puede reemplazar a la quema, con beneficios a largo plazo.

En lo que respecta a la cosecha de las plantaciones comerciales de caña de azúcar, prácticamente en casi todo el mundo se realiza la quema de los cultivos con el fin de facilitar su cosecha manual, con excepción de algunas regiones cañeras como Cuba, Australia, Sudáfrica y algunas plantaciones de Brasil. Sin embargo, existen aquellos países y localidades donde la producción de caña y azúcar se opera siguiendo los Principios de la Agricultura Orgánica, obviamente la quema no aplica; como el caso de Paraguay, Brasil, República Dominicana y Colombia, principalmente, según lo publicado por CONADESUCA (2015). Este mismo autor, expone que ya existen máquinas modernas adecuadas para una cosecha totalmente mecanizada, permitiendo una mejor planificación y organización de la zafra, una operación más eficiente de cosecha y una entrega adecuada de la caña al ingenio, además de contribuir a la mejora de la calidad de la materia prima; por último, menciona también que esta práctica podría reducir los efectos negativos de la quema sobre el ambiente.

4.5.2 Incentivos Económicos

Un método para combatir esta práctica son los incentivos económicos, y en particular los impuestos y tasas ambientales. Los incentivos son instrumentos que proporcionan motivaciones financieras o de otro tipo, para alentar a las partes responsables a reducir sus emisiones de contaminantes o hacer sus productos menos dañinos al medio ambiente, subraya Giraudo (2010).

Este experto destaca que la quema genera, sólo en la disminución de rendimiento de predios cañeros, pérdidas por aproximadamente \$ 100 millones, sin estimar en dinero los daños provocados al suelo por pérdidas de materia orgánica y fertilidad; y a la sociedad - contaminación del aire, enfermedades de vías respiratorias, cortes de suministro eléctrico, incendios en propiedad privada, accidentes en rutas, etc.; así como un desperdicio del uso de los residuos agrícolas de la cosecha que son quemados, y que representan un gran potencial en la producción de energía. Con estos incentivos se espera lograr un cambio en la conducta de los productores locales, a través de la creación de un tributo que incida sobre el comportamiento del productor, para hacerlos pagar por la contaminación generada. De esta forma se reducirá la cantidad de contaminación, pues ya no será tan beneficioso producir contaminando para la empresa y se producirá un aumento del precio del bien producido, evitando la generación de una externalidad negativa, dado que produce daños al resto de la sociedad, y quien la genera, no responde por sus costos, los cuales son soportados por la sociedad y/o el Estado.

4.5.3 Planes de Manejo Ambiental mejorados

Es necesario que cada agroindustria elabore un plan de manejo ambiental, implementando energías más limpias para cultivos y proporcionando prácticas de manejo de conservación de suelo, agua y aire. Se podrían implementar tecnologías apropiadas que eviten la quema y optimicen la recolección:

- Diseñar trajes con propiedades especiales para los trabajadores, que disminuyan el impacto al momento de la quema y recolección de la caña.
- Diseñar elementos que faciliten las técnicas de corte y máquinas que trabajen 100% con energía renovable.

- Reducir la quema de caña de azúcar mediante la capacitación y promoción de buenas prácticas agrícolas.
- Participar de ferias tecnológicas, para poder promover e implementar tecnologías eficientes en los procesos productivos dentro de la empresa agroindustrial.

V. CONCLUSIONES

1. Dentro de la zona de estudio se encuentra la agroindustria Casa Grande S.A.A, reconocida como la mayor productora nacional de azúcar en el país. Cuenta con un PAMA en el que se compromete a reducir hasta en un 100 % la cosecha mediante quema, con un plazo hasta el año 2016 y el cual no se ha cumplido en su totalidad, encontrándose denuncias de pobladores hacia dicha empresa. Durante el periodo de monitoreo, pudieron identificarse 8 quemas alrededor del distrito Casa Grande y sus centros poblados, se debe considerar que al no contar con información sobre el cronograma de quemas de la agroindustria Casa Grande S.A.A, existe la posibilidad de que hayan ocurrido un número mayor de quemas durante los días en los que se realizó el estudio.
2. Las concentraciones obtenidas de PM_{10} no sobrepasaron el ECA nacional ($100 \mu g/m^3$) en ningún punto de monitoreo, sin embargo, sí se existió una superación del valor guía de la OMS ($50 \mu g/m^3$), siendo la mayor concentración de $71 \mu g/m^3$ para el punto CA-3, $53 \mu g/m^3$ en el punto CA-13 y $77 \mu g/m^3$ para el punto CA-17. Las concentraciones obtenidas de $PM_{2,5}$ no superaron el ECA nacional ($50 \mu g/m^3$) en ninguno de los puntos de monitoreo, pero si se obtuvo una superación del valor guía de la OMS ($25 \mu g/m^3$) en el punto CA-3 en tres días del total monitoreado, con concentraciones de $28 \mu g/m^3$, $30 \mu g/m^3$ y $32 \mu g/m^3$. Por otro lado, el CO obtenido cumplió con la normativa nacional para valores horarios y media aritmética de 8 horas móviles en todos los días de monitoreo para los puntos de monitoreo CA-13 y CA-17. Por último, no existió una superación del ECA nacional para el SO_2 ($250 \mu g/m^3$) medido en los puntos CA-13 y CA-17. Con respecto al valor guía de la OMS ($20 \mu g/m^3$), este se vio superado en el punto CA-17, en el cual se excedió también el objetivo intermedio de la OMS ($50 \mu g/m^3$) en todos los días de monitoreo, siendo $101,5 \mu g/m^3$ el máximo valor obtenido.

3. El PM_{10} se vio influenciado positivamente por la velocidad del viento en el punto CA-13, y de manera negativa con la temperatura en el punto CA-17. Para el caso del $PM_{2,5}$, se obtuvo una relación negativa con la temperatura y la velocidad del viento en el punto CA-3 y una relación positiva con la velocidad del viento en el punto CA-17. Por otro lado, la velocidad del viento y el SO_2 se relacionaron positivamente en los puntos CA-13 y CA-17, así como con el CO en el punto CA-17. No se encontró una relación por parte de la humedad relativa que pudiese describir los comportamientos de los contaminantes evaluados.
4. Con respecto al cálculo de los Índices de Calidad del Aire, en el punto CA-13 solo se obtuvo una Buena calidad del aire en todos los días de monitoreo para el PM_{10} según el AQI. Los puntos CA-3 y CA-17 también presentaron una Buena calidad del aire, pero obtuvieron más días con una calidad del aire Moderada según los dos índices empleados. Para el $PM_{2,5}$, los puntos CA-13 y CA-17, presentaron una Buena calidad del aire en todos los días al emplearse el INCA y la mayoría de días con una calidad Moderada del aire de acuerdo al AQI; por su parte, el punto CA-3, obtuvo una calidad del aire Moderada en casi todos los días de monitoreo, según el AQI que con lo calculado por el INCA. Con respecto al CO, los puntos CA-13 y CA-17 obtuvieron una calidad del aire Buena según ambos índices, al igual que el SO_2 en el punto CA-13, sin embargo, para el punto CA-17, de acuerdo al AQI, se obtuvo también una calidad del aire Moderada.
5. Se planteó la cosecha en verde como la principal alternativa de solución para reducir los impactos generados por la quema de caña de azúcar, ya que reduciría las emisiones de contaminantes y sus efectos directos en la salud de los trabajadores y la población aledaña a los campos de cultivo. Otras posibles soluciones como los incentivos económicos y tasas ambientales son propuestas, así como la mejora en los Planes de Manejo Ambiental de los ingenios azucareros presentes en el país, con el objetivo de implementar tecnologías apropiadas y eficientes que disminuyan o eviten la quema, así como las emisiones producidas durante el proceso de producción dentro de la misma empresa agroindustrial.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar una vigilancia ambiental anual en los ámbitos de influencia de los campos de cultivo de caña de azúcar cosechados por mediante quema, realizando mediciones específicas de aquellos contaminantes que afectan en mayor proporción a la población e informar oportunamente sobre el estado de la calidad del aire, para facilitar a las autoridades ambientales y a los mismos pobladores la toma de medidas encaminadas a la mejora.
2. Realizar un inventario de emisiones específicas para la actividad agroindustrial y quema de biomasa (pre cosecha de caña de azúcar) para el desarrollo de políticas públicas apropiadas sobre la reducción de contaminantes y la mejora de los modelos de calidad del aire, que permita estudiar los impactos locales y en área remotas.
3. Contar con un Índice de Calidad del Aire Nacional actualizado, teniendo en cuenta los Estándares de Calidad actuales, así como los valores guía propuestos por la Organización Mundial de la Salud, ya que los resultados de indicadores obtenidos suministran información que ayuda a comprender la calidad del aire en la zona de estudio de manera fácil y contundente.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Astudillo, P.; Prieto, C.; Mancilla, P. (2007). Exceso de morbilidad respiratoria en niños y adultos mayores en una comuna de Santiago con una alta contaminación atmosférica por partículas. *Revista Médica de Chile*. 135(2): 221-228. doi: 10.4067/S0034-98872007000200012.
2. Arbex, M.; Bohm, G.; Saldiva, P.; Conceicao, G.; Pope, A.; Braga, A. (2000). Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy. *Journal of the Air & Waste management Association*. 50(10):1745-9. doi: 10.1080/10473289.2000.10464211.
3. Artiño, B.; Salvador, P.; Alonso, D.; Querol, X.; Alastuey, A. (2003). Anthropogenic and natural influence on the PM₁₀ and PM_{2.5} aerosol in Madrid (Spain). Analysis of high concentrations episodes. *Environmental Pollution*, 125(3), 453-465. doi: 10.1016/S0269-7491(03)00078-2.
4. Barnett, A.; Williams, G.; Schwartz, J.; Neller, A.; Best, T.; Petroeschvly, A. (2005). Air pollution and child respiratory health: a case-crossover study in Australia and New Zealand. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 171(11):1272-8. doi: 10.1164/rccm.200411-1586OC.
5. Barroso, L. & Vilaboa, I. (2013). Contaminación ambiental por quema de caña de azúcar: Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz. Recuperado de: http://static1.squarespace.com/static/56228080e4b04bb42a1523da/t/568ae82e1c1210a1a5dc824e/1451943982421/TG2013_Vilaboa_Barroso_0.pdf.
6. Banco Central de Reserva del Perú - Sucursal Trujillo. (2018). Caracterización del departamento de La Libertad. Departamento de Estudios Económicos. Recuperado de: <http://crp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/la-libertad-caracterizacion.pdf>
7. Bustamante, C. (2014). Análisis de la situación actual de las emisiones del Ingenio Central Progreso, Veracruz (Trabajo de grado, Universidad Veracruzana). Recuperada de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46736/BustamanteMarinKaren.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

8. Braunbeck, O.; Bauen, A.; Rosillo, F.; Cortéz, L. (1999). Prospects of green cane harvesting and cane residue use in Brazil. *Biomass and Bioenergy*. 17(6): 495-506. Recuperado de: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/prospects-for-green-cane-harvesting-and-cane-residue-use-in-brazil-K530cojtK0>
9. Camargo, L. (2008). La quema: ¿el lado amargo de la caña? *El Espectador*. Recuperado de: <http://www.elespectador.com/impreso/vivir/articuloimpreso-quema-el-lado-amargo-decana>.
10. Carrera, J. (2009). Impacto ambiental ocasionado por la quema de la caña de azúcar en Laredo. (Tesis profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a13v13n26.pdf
11. Cançado, J.; Saldiva, P.; Pereira, L.; Lara, L.; Artaxo, P.; Martinelli, L.; Arbex, M.; ... Braga, A. (2006). The Impact of Sugar Cane Burning Emissions in the Respiratory System of Children and Elderly. *Environmental Health Perspectives*. 114(5): 725-9. doi: 10.1289/ehp.8485
12. Carey, I.; Atkinson, R.; Kent, A.; Van Staa, T.; Cook, D.; Anderson, H. (2013). Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. *American Journal of Respiratory and critical care medicine*. 187(11):1226-33. doi: 10.1164/rccm.201210-1758OC.
13. Carrera, J. & Loyola, E. (2010). Impacto Ambiental Generado por la Quema de la Caña de Azúcar en Laredo – Trujillo (Tesis profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Recuperada de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/1079>
14. Castro, P.; Sevilla, S.; Coello, J. (2008). Estudio sobre la situación de lo Biocombustibles en el Perú. Oxfam Internacional. Recuperado de: https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/ITDG/Situacion_de_los_biocombustibles_en_el_Peru_ITDG.pdf
15. Centro Nacional del Medio Ambiente. (2013). Evaluación de Calidad del Aire y Meteorología asociada a SO₂. Universidad de Chile. Recuperado de: http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/V_Evaluacion_de_Calidad_del_Aire_y_Meteorologia_asociada_a_SO2.pdf
16. Comité Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Caña de Azúcar. (2015). Cosecha de caña de azúcar en estado verde. Boletín Técnico Informativo. México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114363/1.-_Boletin_Julio_2015.pdf

17. Contini, D.; Cesari, D.; Donato, A.; Chirizzi, D.; Belosi, F. (2014). Characterization of PM₁₀ and PM_{2,5} and their metals content in different typologies of sites in South Eastern Italy. *Atmosphere* 5: 435-453. doi:10.3390/atmos5020435
18. Contreras, A. (2010). Impactos ambientales de la producción de agrocombustibles derivados de la caña de azúcar en los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla. (Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperada de: <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Ana-Beatiz-Contreras-Sandoval.pdf>.
19. Copa, A. (2006). Quema: el agro busca alternativas. *Revista Dinero y Finanzas*. Recuperada de: <http://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/06/La-Quema-de-la-Ca%C3%B1a-de-Az%C3%BAcar-en-Guanacaste-Impacto-Ambiental.pdf>
20. Cordero, E.; Cornejo, A.; Cruz, D.; Mamani, J. (2018). Efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población del distrito N°3 Vinto - Oruro. *Acta Nova*. 8(3). Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100002
21. Coronado, M.; Montero, G.; García, C.; Pérez, A.; Pérez, L. (2011). Emisiones de las quemas de residuos agrícolas en el Valle de Mexicali, 1987-2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 28(1). Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000500016
22. Corporación Azucarera del Perú S.A. (2018). Historia Casa Grande. Recuperado de: http://www.coazucar.com/esp/casagrande_nosotros.html
23. Cheng, Y.; Cai, Z.; Zhang, J.; Zhu, T. (2012). Stimulation of NO and N₂O emissions from soils by SO₂ deposition. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02688.x
24. Ching, L.; Shih, Y.; Kuan, L.; Wen, H.; Wu, H.; Bih, S.; Pau, C. (2014). Multilevel Analysis of Air Pollution and Early Childhood Neurobehavioral Development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 11(7): 6827-6841. doi: 10.3390/ijerph110706827
25. Clark, N.; Demers, P.; Karr, C.; Koehoorn, M.; Lencar, C.; Tamburic, L.; Brauer, M. (2010). Effect of early life exposure to air pollution on development of childhood asthma. *Environmental Health Perspective*. 118(2): 284-90. doi: 10.1289/ehp.0900916.
26. Dancé, J. & Sáenz, D. (2016). La cosecha de caña de azúcar: Impacto económico, social y ambiental. (Tesis maestría, Universidad San Martín de Porres). Recuperado de: ww.usmp.edu.pe/contabilidadyeconomía/images/pdf/investigacion/cosecha.pdf

27. Dávalos, E. (2007). La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad. *Revista Desarrollo y sociedad*. 117-164. Recuperado de: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.13043/dys.59.4>
28. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. (2012). Resumen de Salud Pública - Monóxido de Carbono. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs201.pdf
29. Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Particulate Matter (PM) Basics. Recuperado de: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
30. EPA. (2018). National Air Quality 2010-2018 status and trends. Carbon Monoxide. Recuperado de: <https://www.epa.gov/air-trends/carbon-monoxide-trends>
31. Escudero, P. (2017). Material particulado y su incidencia en alteraciones respiratorias en los trabajadores de la construcción en viviendas rurales tipo Miduvi. (Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25950>.
32. Ferreira, W.; Campos, L.; Moya, J.; Cabral, J. (2015). Impacto económico y ambiental del uso del gas natural en la generación de electricidad en El Amazonas. *Dyna*. 82(190):89-95. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49637154012.pdf>
33. Food and Agriculture Organization. Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2007) Sistema de Información de los Recursos del Pienso. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-a1507s.pdf>
34. Galvis, B. & Rojas, N. (2006). Relación entre PM_{2,5} y PM₁₀ en la ciudad de Bogotá. (Tesis de maestría, Universidad de Los Andes). Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8967/u270753.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
35. Giraudo, E. (2010). Impuestos verdes como método de internalización de los costos generados por la quema de cañaverales en Tucumán, Buenos Aires - Argentina. (Tesis de maestría, Universidad Torcuato Di Tella). Recuperado de: [www.colegioabogadostuc.org.ar > documentos > 95_Quema de Cañaverales](http://www.colegioabogadostuc.org.ar/documentos/95_Quema%20de%20Ca%C3%B1averales)
36. Glavas, S.; Nikolakis, P.; Ambatzoglou, D.; Mihalopoulos, N. (2008). Factors affecting the seasonal variation of mass and ionic composition of PM_{2,5} at a central Mediterranean coastal site. *Atmospheric Environment*. 42(21): 5365-5373. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.02.055.
37. Godoi, A.; Ravindra, K.; Godoi, R.; Andrade S.; Santiago, M.; Van Vaeck, L. (2004). Fast chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol samples from

- sugar cane burning. *Journal of Chromatography* (1-2):49-53. doi: 10.1016/j.chroma.2003.10.048.
38. Gomiscek, B.; Hauck, H.; Stopper, S.; and Preining, O. (2004). Spatial and temporal variations of PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and particle number concentration during the AUPHEP-project, *Atmospheric Environment*, 38, 3917-394. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.03.056.
 39. Gonzáles, G., et al. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista Peruana de medicina experimental y salud pública*. Vol 31(3)
 40. Gowers, A.; Cullinan, P.; Ayres, J.; Anderson, H.; Stratchan, D.; Holgate, I.;... Maynard, R. (2012). Does outdoor air pollution induce new cases of asthma? Biological plausibility and evidence, a review. *Air Pollution and Lung Health*. Asian Pacific Society of Respiriology. 17(6):887-98. doi: 10.1111/j.1440-1843.2012.02195.x.
 41. Guzmán, W. (2002). Evaluación de los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Laredo, emitidos por la empresa Agroindustrial Laredo. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Trujillo). Recuperado de: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article>
 42. Hays, M.; Fine, P.; Geron, C.; Kleeman, M.; Gullet, B. (2005). Open burning of agricultural biomass: physical and chemical properties of particle-phase emissions. *Atmospheric Environment*. 39(36):6747-6764. doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.07.072
 43. Hazenkamp, M; Gotschi, T.; Ackermann, U.; Bono, R.; Burney, P.; Cyrus, J.;... Kunzli, N. (2003). PM_{2.5} assessment in 21 European study centers of ECRHS II: method and first winter results. *Journal of the Air & Waste Management Association*. doi: 10.1080/10473289.2003.10466189
 44. Hernández, A. & Morales, L. (2019). Quemadas de biomasa en Venezuela afectan calidad del aire en Colombia. *Unimedios Bogotá*. Recuperado de: <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/quemas-de-biomasa-en-venezuela-afectan-calidad-del-aire-en-colombia/>
 45. Ho, K.; Lee, S.; Chan, C.; Yu, J.; Chow, J. Yao, X.H. (2003). Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 37(1):31-39. doi: 10.1016/S1352-2310(02)00804-X
 46. Hoek, G y otros. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*. 12(43). Recuperado de: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-12-43>
 47. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III

- de Comunidades Indígenas. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/Libro.pdf
48. Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2005). Programas Nacionales de Investigación de Cultivos: Caña de Azúcar. Recuperado de: <http://www.inia.gob.pe/pn-agroindustriales-agroexportacion/>
 49. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua. (2009). Niveles, composición y fuentes de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ en España: Cantabria, Castilla, León, Madrid y Melilla. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informe_completo2007_tcm30-187949.pdf
 50. Jiménez, D. (2014). Incidencia de rinitis alérgica con relación a la exposición de material particulado emitido por los billetes en el área de especies monetarias del Banco Central del Ecuador. (Tesis doctoral, Universidad de Guayaquil). Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4808>
 51. Lara, L.; Artaxo, P.; Martinelli, L.; Victoria, R.; Ferraz, E. (2005). Properties of aerosols from sugarcane burning emissions in Southeastern Brazil. *Atmospheric Environment*. 39(26):4627-37. doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.04.026
 52. Linares, C. & Díaz, J. (2008). Las PM_{2,5} y afección a la salud. El caso de la ciudad de Madrid, España. *Revista Ecologista*. 58:46-49. Recuperado de: https://www.um.es/estructura/servicios/sprevencion/c-seguridad/documentos/EE_58_PM25.pdf
 53. Madriñan, C. (2012). Compilación y análisis sobre la contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; *Saccharum Officinarum* L, en El Valle Geográfico Del Rio Cauca. (Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: <bigital.unal.edu.co/5039/1/carloseduardomadrinanpalomino.2002.pdf>
 54. Marcazzan, G.; Vaccaro, S.; Valli, G.; Vecchi, R. (2001). Characterization of PM₁₀ and PM_{2,5} particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmospheric Environment*. 35(27):4639-4650. doi: 10.1016/S1352-2310(01)00124-8.
 55. Memoria Casa Grande S.A.A (2019). Estados Financieros Auditados de los años 2018 y 2017. Recuperado de: <http://www.casagrande-smv.com/hechos/Casa%20Grande%20Memoria%202018.pdf>
 56. Méndez, F. (2014). Relaciones entre enfermedades respiratorias y la distribución espacial de contaminantes atmosféricos asociadas al Complejo Industrial de Ventanas. (Tesis de grado,

57. Universidad Academia de Humanismo Cristiano). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.academia.cl/bitstream/handle/123456789/1483/tlgeo%2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
58. Méndez, J.; Pinto, L.; Galvis, B.; Pachón, J. (2017). Estimación de factores de emisión de material particulado resuspendido antes, durante y después de la pavimentación de una vía en Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 27(1). doi: 10.18359/rcin.1797
59. Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.
60. Miranda, K. & Ortiz, L. (2008). Evaluación de la concentración de material particulado suspendido PM₁₀ y su relación con la morbilidad asociados a niños menores a catorce años por enfermedad respiratoria aguda en el municipio Toluviejo (sucre). (Tesis de grado, Universidad de la Salle). Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14074/T41.08%20M673e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
61. Molina, D. (1998). Estudio de caso sobre el manejo convencional y agroecológico del cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca - Colombia. Reserva Natural El Hatice. Recuperado de: http://xrp.ingeniopuga.com.mx/I_Azucar/Institutos/Cipav/index_archivos/ejmolina.htm
62. Montoya, J. (2011). Efectos de la quema de la caña de azúcar en el medio ambiente y salud de las personas. *Ventana Ambiental*. Recuperado de: <https://ventanaambiental.blogspot.com.co/2011/09/efectos-de-laquema-de-la-cana-de.html>
63. Morales, J. (2011). Impacto Ambiental de la Actividad Azucarera y Estrategias de Mitigación. (Tesis de grado, Universidad Veracruzana). Recuperado de: http://www.ciama-mex.org/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=39
64. Morales, R. (2006). Contaminación Atmosférica urbana: Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. *Centro de Química Ambiental 1*. Recuperado de: <http://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/635/w3-article-163795.html>.
65. Municipalidad Distrital de Casa Grande. (2012). Mejoramiento de las condiciones de transitabilidad de las calles del sector 4B Calle Madre de Dios, Chora, Cajamarca, Amazonas, Putumayo, Marañon y pasaje Marañon en la localidad de Casa Grande, Distrito Casa Grande - Ascope - La Libertad. Recuperado de: http://ofi5.mef.gob.pe/appFs/Download.aspx?f=3610_OPIMDCG_2012927_132624.pdf.

66. Munir, S. (2017). Analysing temporal trends in the ratios of PM_{2,5}/PM₁₀ in the UK, *Aerosol and Air Quality Research*, 17; 34-38. doi: 10.4209/aaqr.2016.02.0081
67. Muñoz, C.; Carmona, M.; Pedroza, S.; Granados, G. (2000). Análisis de datos de PM_{2,5} registrados con el equipo TEOM en las estaciones Azcapotzalco (AZC) y Santa Úrsula (SUR) de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA). Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Jalapa. México. pp1-11. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliaire/mexicon/R-0205.pdf>
68. Muñoz, F. & Carvalho, M. (2009). Efecto del tiempo de exposición de PM₁₀ en las urgencias por bronquitis aguda. *Cadernos de Saúde Pública*. 25(3):529-539. Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v25n3/08.pdf>
69. Nardocci, A.; Freitas, C.; Ponce de León, A.; Junger, W.; Gouveia, C. (2013). Air pollution and respiratory and cardiovascular diseases: a time series study in Cubatao, Sao Paulo State, Brazil. *Cadernos de Saude Publica*. 29(9):1867-2986. doi: 10.1590/0102-311X00150012
70. Nguyen, D., Le, T., Ngo, L., Mehta, S., Do, v., Thach, T.,... Cohen, A. (2012). Effects of short-term exposure to air pollution on hospital admissions of Young children for acute lower respiratory infections in Ho Chi Minh City, Vietnam. Research report (Health Effects Institute). Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22849236>
71. Nikasinovic, L.; Just, J.; Sahraoui, F.; Seta, N.; Grimfeld, A.; Momas, I. (2006). Nasal inflammation and personal exposure to fine particules PM_{2,5} in asthmatic children, *American Academy of Allergy*. Doi: 10.1016/j.jaci.2006.03.023.
72. Oppenheimer, C., Tsanev, V., Allen, A., Mcgonigle, A., Cardoso, A., Wiatr, A. (2004). NO₂ emissions from agricultural burning in Sao Paulo, Brazil. *Environmental Science and Technolgu*. doi: 10.1021/es0496219
73. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud (en línea). Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
74. Ostro, B.; Sánchez, J.; Aranda, C.; Eskeland, G. (1996). Air pollution and mortality: results from study of Santiago, Chile. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 6(1)97-114. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8777376>
75. Penard-Morand, C., Charpin, D., Raheison, C., Kopferschmitt, C., Callaud, D., Lavaud, F. (2010). Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. *European Respiratory Journal*. 36(1): 33-40. doi: 10.1183/09031936.00116109

76. Pino, P.; Walter, T.; Oyarzun, M.; Villegas, R.; Romieu, I. (2004). Fine particulate matter and wheezing illnesses in the first year of life. *Epidemiology*.15(6):702-708. doi: 10.1097/01.ede.0000142153.28496.d0
77. Putuad, J.; Raes, F.; Van Dingenen, R.; Brueggemann, E.; Facchini, M.; Decesari, S.,... Wiedensohler, A. (2004). A European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment*. 38(16): 2579-2595. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.01.041.
78. Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Española de Salud Pública*. 82(5). doi: 10.1590/S1135-57272008000500001
79. Querol, X.; Alastuey, A.; Ruiz, C.; Artiñano, B.; Hansson, H.; Harrison, R.;... Schneider, J. (2004). Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in selected European cities. *Atmospheric Environment* 38(38): 6547-6555. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.08.037
80. Quijano, A., & Orozco, J. (2005). Monitoreo de material particulado-fracción respirable (PM_{2.5}) en Pamplona (Colombia). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 3(2):1-11. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/903/90330201.pdf>
81. Quintero, N.; Reyna M.; Collins, K.; Guzmán S.; Powers, B.; Mendoza, A. (2006). Issues Related to Air Quality and Health in the California-Baja California Border Region. *The U.S. Mexican border environment*. 1(1). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/236672882_Issues_Related_to_Air_Quality_and_Health_in_the_California-Baja_California_Border_Region
82. Quispe, E. (2011). Grado de exposición a contaminantes ambientales y frecuencia a consultas por IRAS en menores de 5 años, distrito de Ate Vitarte, Lima-Perú. (Tesis de maestría, Universidad Peruana Unión. Recuperado de: <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/339>
83. Ramírez, H.; Andrade, M.; Bejaran, R.;García, M.; Wallo, A.; Pompa, A.; De la Torre O. (2009). The spatial-temporal distribution of the atmospheric polluting agents during the period 2000-2005 in the urban Area Of Guadalajara, Jalisco, Mexico. *Journal of Hazardous Materials*. 165(1-3), 1128-1141. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.127.
84. Ramos, S.; Bautista, R.; Valdez, A. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia*. 26(1):65-80. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a5.pdf>
85. Segura, J. (15 de febrero de 2018). Ingenios azucareros crean Asociación Peruana de Agroindustriales del Azúcar y Derivados. *Gestión*. Recuperado de:

<https://gestion.pe/economia/ingenios-azucareros-crean-asociacion-peruanaagroindustriales-azucar-derivados-227331>.

86. Reupo, G. (2015). Influencia del PM₁₀ en la incidencia de enfermedades respiratorias en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014 - 2015. (Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo). Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/15029/Reupo_FGM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
87. Rodríguez, V. (2003). Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores norte y este de la península Ibérica y Canarias. (Tesis de postgrado, Universidad de Barcelona). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10261/27476>
88. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú. (2018). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Casa Grande S.A.A.- La Libertad.
89. Schwela D. & Goelzer, B. (2013). Gestión de la contaminación atmosférica. Control de la Contaminación Ambiental. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Capítulo 55.3. Recuperado de: <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/55.pdf>
90. Toro, M.; Ramírez, J.; Quiceno, R.; Zuluaga, C. (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión CORINAIR. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Acodal, 191:42-49. Recuperado de: https://www.academia.edu/35896482/C%C3%A1lculo_de_la_emisi%C3%B3n_vehicular_de_contaminantes_atmosf%C3%A9ricos_en_la_ciudad_de_Medell%C3%ADn_mediante_factores_de_emisi%C3%B3n_corinair
91. Torres, G. (2013). Programa de adecuación y manejo ambiental para controlar, prevenir y mitigar el impacto ambiental en la empresa agroindustrial Casa Grande S.A.A. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo). Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7537>
92. Uribe, L. & Suárez, N. (2009). Evaluación de la calidad del aire del Valle de Sogamoso, respecto a material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), aplicando el modelo de dispersión AERMOD como herramienta de planificación. Bogotá, Colombia. (Tesis de postgrado, Universidad de La Salle). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10185/15004>

93. Vila, A.; Sedano, M; López, A.; Juan, A. sf. Correlación lineal y análisis de regresión 21 p. Recuperado de: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/RegresionLineal.pdf>
94. Villalobos, M. (2017). Influencia de la quema de biomasa de caña de azúcar en la concentración de PM_{2,5} en el aire de la zona urbana de Laredo. (Tesis de postgrado, Universidad César Vallejo). Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/22512/villalobos_cm.pdf
95. Wark, K. & Warner, C. (2013). Contaminación del Aire: origen y control. Editorial Limusa. Recuperado de: https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=22238852486&cm_sp=seedet_-_plp_-_bdp
96. Warneck, P. (1999). Chemistry of the natural atmosphere. International Geophysics. Academic Press. 71(2). Recuperado de: <https://www.elsevier.com/books/chemistry-of-the-natural-atmosphere/warneck/978-0-12-735632-7>
97. Wong, T.; Tam, W.; Yu, T.; Wong, A. (2006). Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China. Occupational and Environmental. Medical. 59(1):30-5. doi: 10.1136/oem.59.1.30
98. Yokelson, R.; Christian, T.; Karl, T. & Guenther, A. (2008). The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data. Atmospheric Chemistry and Physics. 8:3509-3527. doi: 10.5194/acp-8-3509-2008.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Resumen de concentraciones de material particulado en el punto CA-3

Fecha de monitoreo	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)
8-Nov	30	18
9-Nov	30	17
10-Nov	45	28
11-Nov	36	2
12-Nov	63	22
13-Nov	41	30
14-Nov	43	13
15-Nov	65	21
16-Nov	60	14
17-Nov	69	17
18-Nov	65	25
19-Nov	71	32
20-Nov	53	22
21-Nov	47	17
22-Nov	56	24
Promedio	51,6	20,1
Desviación Estándar	13,9	7,5
Coficiente de variabilidad (CV) %	26,8	37,3

Anexo 2: Resumen de concentraciones de material particulado en el punto CA-13

Fecha de monitoreo	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)
8-Nov	23	13
9-Nov	31	18
10-Nov	33	14
11-Nov	30	1
12-Nov	51	14
13-Nov	38	19
14-Nov	41	19
15-Nov	35	16
16-Nov	47	16
17-Nov	53	11
18-Nov	36	10
19-Nov	52	17
20-Nov	42	15
21-Nov	46	12
22-Nov	40	12
Promedio	39,9	13,8
Desviación Estándar	8,6	4,5
Coefficiente de variabilidad (CV) %	22,2	32,8

Anexo 3: Resumen de las concentraciones de material particulado en el punto CA-17

Fecha de monitoreo	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)
8-Nov	38	11
9-Nov	46	2
10-Nov	55	2
11-Nov	51	13
12-Nov	66	12
13-Nov	68	21
14-Nov	57	16
15-Nov	54	13
16-Nov	72	15
17-Nov	69	14
18-Nov	74	9
19-Nov	77	17
20-Nov	56	19
21-Nov	50	10
22-Nov	67	14
Promedio	60,0	12,5
Desviación Estándar	11,3	5,4
Coefficiente de variabilidad (CV) %	18,8	43,3

Anexo 4: Resumen de concentraciones de CO en los puntos CA-13 y CA-17

Fecha de monitoreo	Horas	CA-13		CA-17	
		1 hora	Promedio 8 horas móviles	1 hora	Promedio 8 horas móviles
8-Nov	00:00	5040,2	-	1947,3	-
	01:00	5498,4	-	1981,7	-
	02:00	4696,5	-	1981,7	-
	03:00	4238,3	-	1935,9	-
	04:00	4582,0	-	1947,3	-
	05:00	3894,7	-	1947,3	-
	06:00	3665,6	-	1947,3	-
	07:00	3894,7	4438,8	1947,3	1954,5
	08:00	3436,5	4238,3	1947,3	1954,5
	09:00	4352,9	4095,2	1947,3	1950,2
	10:00	3436,5	3937,7	1947,3	1945,9
	11:00	2978,3	3780,2	1947,3	1947,3
	12:00	2176,4	3479,5	1947,3	1947,3
	13:00	2176,4	3264,7	1913,0	1943,0
	14:00	1947,3	3049,9	1935,9	1941,6
	15:00	2061,9	2820,8	2084,8	1958,8
	16:00	2405,5	2691,9	2073,3	1974,5
	17:00	2405,5	2448,5	2061,9	1988,9
	18:00	2405,5	2319,6	2107,7	2008,9
	19:00	2405,5	2248,0	2107,7	2029,0
	20:00	2863,7	2333,9	1638,1	1990,3
	21:00	2634,6	2391,2	2073,3	2010,3
	22:00	8820,3	3250,3	2073,3	2027,5
23:00	8591,2	4066,5	2050,4	2023,2	
9-Nov	00:00	431,5	-	2039,0	-
	01:00	431,5	-	2039,0	-
	02:00	572,7	-	2027,5	-
	03:00	431,5	-	2016,1	-
	04:00	431,5	-	2073,3	-
	05:00	431,5	-	2084,8	-
	06:00	431,5	-	2084,8	-
	07:00	431,5	449,2	2119,2	2060,5
	08:00	431,5	449,2	2084,8	2066,2
	09:00	431,5	449,2	2107,7	2074,8
	10:00	431,5	431,5	2153,5	2090,5
	11:00	431,5	431,5	2153,5	2107,7
	12:00	431,5	431,5	2187,9	2122,0
	13:00	431,5	431,5	2187,9	2134,9
	14:00	431,5	431,5	2176,4	2146,4
	15:00	431,5	431,5	2222,3	2159,3
	16:00	431,5	431,5	2233,7	2177,9
	17:00	431,5	431,5	2313,9	2203,6
18:00		431,5	2199,4	2209,4	

Continuación...					
	19:00	431,5	431,5	2176,4	2212,2
	20:00	431,5	431,5	2187,9	2212,2
	21:00	431,5	431,5	2187,9	2212,2
	22:00	431,5	431,5	1042,4	2070,5
	23:00	431,5	431,5	2222,3	2070,5
	00:00	431,5	-	2222,3	-
	01:00	431,5	-	2199,4	-
	02:00	431,5	-	2233,7	-
	03:00	431,5	-	2187,9	-
	04:00	431,5	-	2210,8	-
	05:00	431,5	-	2176,4	-
	06:00	431,5	-	2222,3	-
	07:00	431,5	431,5	2210,8	2208,0
	08:00	431,5	431,5	2176,4	2202,2
	09:00	431,5	431,5	2176,4	2199,3
	10:00	431,5	431,5	2165,0	2190,8
10-Nov	11:00	431,5	431,5	2187,9	2190,8
	12:00	431,5	431,5	2187,9	2187,9
	13:00	431,5	431,5	2165,0	2186,5
	14:00	431,5	431,5	2153,5	2177,9
	15:00	431,5	431,5	2142,1	2169,3
	16:00	431,5	431,5	2199,4	2172,2
	17:00	431,5	431,5	2165,0	2170,7
	18:00	431,5	431,5	2130,6	2166,4
	19:00	431,5	431,5	2130,6	2159,3
	20:00	431,5	431,5	2130,6	2152,1
	21:00	431,5	431,5	2119,2	2146,4
	22:00	431,5	431,5	2119,2	2142,1
	23:00	431,5	431,5	2119,2	2139,2
	00:00	431,5	-	2142,1	-
	01:00	431,5	-	2130,6	-
	02:00	431,5	-	2130,6	-
	03:00	431,5	-	2130,6	-
	04:00	431,5	-	2142,1	-
	05:00	431,5	-	2142,1	-
	06:00	431,5	-	2153,5	-
	07:00	431,5	431,5	2142,1	2139,2
11-Nov	08:00	431,5	431,5	2176,4	2143,5
	09:00	431,5	431,5	2187,9	2150,7
	10:00	431,5	431,5	2187,9	2157,8
	11:00	431,5	431,5	2165,0	2162,1
	12:00	431,5	431,5	2187,9	2167,9
	13:00	431,5	431,5	2187,9	2173,6
	14:00	431,5	431,5	2222,3	2182,2
	15:00	431,5	431,5	2210,8	2190,8
	16:00	431,5	431,5	2187,9	2192,2
	17:00	431,5	431,5	2199,4	2193,6

Continuación...	18:00	431,5	431,5	2245,2	2200,8
	19:00	431,5	431,5	2233,7	2209,4
	20:00	431,5	431,5	2222,3	2213,7
	21:00	431,5	431,5	2279,5	2225,1
	22:00	431,5	431,5	2245,2	2228,0
	23:00	431,5	431,5	2405,5	2252,3
		00:00	431,5	-	2325,4
	01:00	431,5	-	2302,4	-
	02:00	431,5	-	2233,7	-
	03:00	431,5	-	2187,9	-
	04:00	431,5	-	2187,9	-
	05:00	431,5	-	2187,9	-
	06:00	431,5	-	2210,8	-
	07:00	431,5	431,5	2199,4	2229,4
	08:00	431,5	431,5	2222,3	2216,5
	09:00	458,2	434,8	2210,8	2205,1
	10:00	687,3	466,8	2176,4	2197,9
12-Nov	11:00	572,7	484,5	2176,4	2196,5
	12:00	687,3	516,4	2165,0	2193,6
	13:00	687,3	548,4	2073,3	2179,3
	14:00	572,7	566,1	2073,3	2162,1
	15:00	458,2	569,4	2165,0	2157,8
	16:00	458,2	572,7	2153,5	2149,2
	17:00	458,2	572,7	2142,1	2140,6
	18:00	458,2	544,1	2199,4	2143,5
	19:00	458,2	529,8	2165,0	2142,1
	20:00	687,3	529,8	2130,6	2137,8
	21:00	572,7	515,5	2130,6	2144,9
	22:00	458,2	501,2	2130,6	2152,1
	23:00	458,2	501,2	2130,6	2147,8
	00:00	431,5	0,0	2119,2	0,0
	01:00	431,5	0,0	2119,2	0,0
	02:00	458,2	0,0	2119,2	0,0
	03:00	458,2	0,0	2142,1	0,0
	04:00	458,2	0,0	2130,6	0,0
	05:00	458,2	0,0	2130,6	0,0
	06:00	572,7	0,0	2130,6	0,0
	07:00	572,7	480,2	2142,1	2129,2
13-Nov	08:00	572,7	497,8	2142,1	2132,1
	09:00	572,7	515,5	2153,5	2136,4
	10:00	572,7	529,8	2142,1	2139,2
	11:00	801,8	572,7	2176,4	2143,5
	12:00	801,8	615,7	2187,9	2150,7
	13:00	916,4	672,9	2187,9	2157,8
	14:00	916,4	715,9	2142,1	2159,3
	15:00	916,4	758,9	2187,9	2165,0
	16:00	801,8	787,5	2187,9	2170,7
	17:00	801,8	816,1	2222,3	2179,3

Continuación...	18:00	801,8	844,8	2222,3	2189,3
	19:00	801,8	844,8	2187,9	2190,8
	20:00	801,8	844,8	2199,4	2192,2
	21:00	687,3	816,1	2222,3	2196,5
	22:00	801,8	801,8	2233,7	2208,0
	23:00	687,3	773,2	2222,3	2212,3
		00:00	916,4	-	2279,5
	01:00	1030,9	-	2245,2	-
	02:00	1030,9	-	2291,0	-
	03:00	916,4	-	2634,6	-
	04:00	1030,9	-	2302,4	-
	05:00	1030,9	-	2233,7	-
	06:00	1030,9	-	2233,7	-
	07:00	1030,9	1002,3	2382,6	2325,3
	08:00	1030,9	1016,6	1443,3	2220,8
	09:00	1145,5	1030,9	2451,4	2246,6
	10:00	1145,5	1045,2	2405,5	2260,9
14-Nov	11:00	1145,5	1073,9	2313,9	2220,8
	12:00	916,4	1059,6	2256,6	2215,1
	13:00	1030,9	1059,6	2302,4	2223,7
	14:00	1030,9	1059,6	2279,5	2229,4
	15:00	916,4	1045,3	2279,5	2216,5
	16:00	801,8	1016,6	2268,1	2319,6
	17:00	801,8	973,7	2256,6	2295,3
	18:00	801,8	930,7	2222,3	2272,4
	19:00	916,4	902,1	2245,2	2263,8
	20:00	801,8	887,7	2245,2	2262,4
	21:00	801,8	859,1	2245,2	2255,2
	22:00	801,8	830,5	2222,3	2248,1
	23:00	801,8	816,1	2187,9	2236,6
	00:00	1030,9	-	2165,0	-
	01:00	1030,9	-	2199,4	-
	02:00	1030,9	-	2245,2	-
	03:00	1374,6	-	2222,3	-
	04:00	1718,2	-	2222,3	-
	05:00	1489,1	-	2153,5	-
	06:00	1374,6	-	2176,4	-
	07:00	1718,2	1345,9	2142,1	2190,8
15-Nov	08:00	1718,2	1431,8	2119,2	2185,1
	09:00	1603,7	1503,4	2142,1	2177,9
	10:00	1489,1	1560,7	2142,1	2165,0
	11:00	1489,1	1575,0	2142,1	2155,0
	12:00	1374,6	1532,1	2153,5	2146,4
	13:00	1030,9	1474,8	2199,4	2152,1
	14:00	916,4	1417,5	2199,4	2155,0
	15:00	1030,9	1331,6	2210,8	2163,6
	16:00	1374,6	1288,7	2199,4	2173,6
	17:00	1260,0	1245,7	2199,4	2180,8

Continuación...	18:00	1374,6	1231,4	2222,3	2190,8
	19:00	1374,6	1217,1	2222,3	2200,8
	20:00	1489,1	1231,4	2245,2	2212,3
	21:00	1260,0	1260,0	2279,5	2222,3
	22:00	1260,0	1303,0	2256,6	2229,4
	23:00	1260,0	1331,6	2256,6	2235,2
16-Nov	00:00	1260,0	-	2245,2	-
	01:00	1374,6	-	2256,6	-
	02:00	1489,1	-	2245,2	-
	03:00	1603,7	-	2233,7	-
	04:00	1603,7	-	2291,0	-
	05:00	1603,7	-	2325,4	-
	06:00	1718,2	-	2336,8	-
	07:00	1718,2	1546,4	2325,4	2282,4
	08:00	1718,2	1603,7	2371,2	2298,2
	09:00	1832,8	1661,0	2371,2	2312,5
	10:00	1832,8	1703,9	2279,5	2316,8
	11:00	1832,8	1732,6	2268,1	2321,1
	12:00	1718,2	1746,9	2256,6	2316,8
	13:00	1603,7	1746,9	2153,5	2295,3
	14:00	1832,8	1761,2	2279,5	2288,1
	15:00	1489,1	1732,6	2325,4	2288,1
	16:00	1489,1	1703,9	2336,8	2283,8
	17:00	1489,1	1661,0	2325,4	2278,1
	18:00	1489,1	1618,0	2371,2	2289,6
	19:00	1489,1	1575,0	2371,2	2302,5
	20:00	1489,1	1546,4	2279,5	2305,3
	21:00	1832,8	1575,0	2279,5	2321,1
	22:00	1832,8	1575,0	2256,6	2318,2
	23:00	1718,2	1603,7	2245,2	2308,2
17-Nov	00:00	2061,9	-	2039,0	-
	01:00	2291,0	-	2039,0	-
	02:00	2291,0	-	2027,5	-
	03:00	2291,0	-	2039,0	-
	04:00	2405,5	-	2073,3	-
	05:00	2405,5	-	2084,8	-
	06:00	2405,5	-	2084,8	-
	07:00	2291,0	2305,3	2119,2	2063,3
	08:00	2405,5	2348,3	2084,8	2069,1
	09:00	2291,0	2348,3	2107,7	2077,6
	10:00	2291,0	2348,3	2153,5	2093,4
	11:00	2291,0	2348,3	2153,5	2107,7
	12:00	2291,0	2333,9	2187,9	2122,0
	13:00	2176,4	2305,3	2187,9	2134,9
	14:00	2061,9	2262,4	2176,4	2146,4
	15:00	2061,9	2233,7	2165,0	2152,1
	16:00	1832,8	2162,1	2233,7	2170,7
17:00	2061,9	2133,5	2313,9	2196,5	

Continuación...	18:00	2176,4	2119,2	2199,4	2202,2
	19:00	1947,3	2076,2	2176,4	2205,1
	20:00	1832,8	2018,9	2187,9	2205,1
	21:00	2061,9	2004,6	2187,9	2205,1
	22:00	2061,9	2004,6	2187,9	2206,5
	23:00	1832,8	1976,0	2222,3	2213,7
	<hr/>				
18-Nov	00:00	2634,6	-	2222,3	-
	01:00	2749,2	-	2222,3	-
	02:00	2863,7	-	2027,5	-
	03:00	2749,2	-	2039,0	-
	04:00	2978,3	-	2073,3	-
	05:00	2978,3	-	2084,8	-
	06:00	2863,7	-	2084,8	-
	07:00	2749,2	2820,8	2119,2	2109,2
	08:00	2863,7	2849,4	2084,8	2092,0
	09:00	2749,2	2849,4	2107,7	2077,6
	10:00	2863,7	2849,4	2153,5	2093,4
	11:00	2863,7	2863,7	2153,5	2107,7
	12:00	2749,2	2835,1	2187,9	2122,0
	13:00	2749,2	2806,5	2187,9	2134,9
	14:00	2291,0	2734,9	2176,4	2146,4
	15:00	2749,2	2734,9	2084,8	2142,1
	16:00	2863,7	2734,9	2233,7	2160,7
	17:00	2863,7	2749,2	2313,9	2186,5
	18:00	2634,6	2720,5	2199,4	2192,2
	19:00	2291,0	2649,0	2176,4	2195,1
	20:00	2061,9	2563,0	2187,9	2195,1
	21:00	2291,0	2505,8	2187,9	2195,1
	22:00	2061,9	2477,1	2187,9	2196,5
23:00	2863,7	2491,4	2222,3	2213,7	
<hr/>					
19-Nov	00:00	2978,3	-	2176,4	-
	01:00	2863,7	-	2222,3	-
	02:00	2978,3	-	2245,2	-
	03:00	2863,7	-	2268,1	-
	04:00	2978,3	-	2233,7	-
	05:00	2978,3	-	2256,6	-
	06:00	3092,8	-	2256,6	-
	07:00	2978,3	2964,0	2233,7	2236,6
	08:00	2978,3	2964,0	2222,3	2242,3
	09:00	2978,3	2978,3	2176,4	2236,6
	10:00	2978,3	2978,3	2153,5	2225,1
	11:00	2978,3	2992,6	2210,8	2218,0
	12:00	2978,3	2992,6	2187,9	2212,2
	13:00	2978,3	2992,6	2187,9	2203,6
	14:00	2978,3	2978,3	2256,6	2203,6
	15:00	2978,3	2978,3	2256,6	2206,5
	16:00	2978,3	2978,3	2233,7	2207,9
17:00	2978,3	2978,3	2302,4	2223,7	

Continuación...	18:00	2978,3	2978,3	2325,4	2245,2
	19:00	2978,3	2978,3	2279,5	2253,8
	20:00	2978,3	2978,3	2222,3	2258,1
	21:00	2863,7	2964,0	2199,4	2259,5
	22:00	2863,7	2949,7	2210,8	2253,8
	23:00	2978,3	2949,7	2214,2	2248,5
	00:00	2978,3	-	2039,0	-
01:00	3092,8	-	2039,0	-	
02:00	2978,3	-	2027,5	-	
03:00	2978,3	-	2039,0	-	
04:00	2978,3	-	2073,3	-	
05:00	2978,3	-	2084,8	-	
06:00	2978,3	-	2084,8	-	
07:00	2978,3	2992,6	2119,2	2063,3	
08:00	2978,3	2992,6	2084,8	2069,1	
09:00	2978,3	2978,3	2107,7	2077,6	
10:00	2978,3	2978,3	2153,5	2093,4	
20-Nov	11:00	2978,3	2978,3	2061,9	2096,3
	12:00	2978,3	2978,3	2187,9	2110,6
	13:00	2978,3	2978,3	2176,4	2122,0
	14:00	2978,3	2978,3	2176,4	2133,5
	15:00	2978,3	2978,3	2187,9	2142,1
	16:00	2863,7	2964,0	2245,2	2162,1
	17:00	3092,8	2978,3	2325,4	2189,3
	18:00	2291,0	2892,4	2222,3	2197,9
	19:00	2291,0	2806,5	2176,4	2212,2
	20:00	2291,0	2720,6	2176,4	2210,8
	21:00	2405,5	2649,0	2176,4	2210,8
	22:00	2405,5	2577,4	2176,4	2210,8
	23:00	2405,5	2505,8	2210,8	2213,7
	00:00	2978,3	-	2222,3	-
	01:00	2978,3	-	2222,3	-
	02:00	3092,8	-	2027,5	-
	03:00	3092,8	-	2039,0	-
	04:00	2978,3	-	2073,3	-
	05:00	2978,3	-	2084,8	-
	06:00	3092,8	-	2084,8	-
	07:00	2978,3	3021,2	2119,2	2109,2
21-Nov	08:00	2978,3	3021,2	2084,8	2092,0
	09:00	2978,3	3021,2	2107,7	2077,6
	10:00	2978,3	3006,9	2153,5	2093,4
	11:00	2978,3	2992,6	2268,1	2122,0
	12:00	2978,3	2992,6	2256,6	2144,9
	13:00	3092,8	3006,9	2153,5	2153,5
	14:00	3092,8	3006,9	2279,5	2177,9
	15:00	3092,8	3021,2	2325,4	2203,6
	16:00	3092,8	3035,6	2336,8	2235,1
	17:00	3092,8	3049,9	2268,1	2255,2

Continuación...	18:00	2634,6	3006,9	2256,6	2268,1
	19:00	2634,6	2963,9	2222,3	2262,4
	20:00	2749,2	2935,3	2245,2	2260,9
	21:00	2749,2	2892,4	2233,7	2271,0
	22:00	2405,5	2806,4	2222,3	2263,8
	23:00	2405,5	2720,5	2222,3	2250,9
	<hr/>				
22-Nov	00:00	431,5	-	2142,1	-
	01:00	431,5	-	2119,2	-
	02:00	431,5	-	2142,1	-
	03:00	431,5	-	2142,1	-
	04:00	431,5	-	2142,1	-
	05:00	431,5	-	2153,5	-
	06:00	431,5	-	2199,4	-
	07:00	431,5	431,5	2199,4	2155,0
	08:00	431,5	431,5	2210,8	2163,6
	09:00	431,5	431,5	2199,4	2173,6
	10:00	431,5	431,5	2199,4	2180,8
	11:00	431,5	431,5	2222,3	2190,8
	12:00	431,5	431,5	2222,3	2200,8
	13:00	431,5	431,5	2245,2	2212,3
	14:00	431,5	431,5	2279,5	2222,3
	15:00	431,5	431,5	2256,6	2229,4
	16:00	431,5	31,5	2256,6	2235,2
	17:00	431,5	31,5	2176,4	2232,3
	18:00	431,5	431,5	2222,3	2235,2
	19:00	431,5	431,5	2245,2	2238,0
	20:00	431,5	431,5	2268,1	2243,7
	21:00	431,5	431,5	2233,7	2242,3
	22:00	431,5	431,5	2256,6	2239,4
23:00	431,5	431,5	2256,6	2239,4	
<hr/>					
Promedio		1610,8	1593,7	2173,5	2175,9
Desviación Estándar		1237,8	1103,8	119,9	79,1
Coeficiente de Variabilidad (CV) %		76,8	69,3	5,5	3,6
<hr/>					

Anexo 5: Resumen de concentraciones horarias de SO2 de los puntos CA-13 y CA-17

Fecha de Monitoreo	Horas	CA-13	CA-17
		1 hora	1 hora
8-Nov	00:00	8,4	45,1
	01:00	8,4	47,4
	02:00	8,4	54,2
	03:00	8,4	59,5
	04:00	8,4	60,5
	05:00	8,4	65,0
	06:00	8,4	65,0
	07:00	8,4	74,1
	08:00	8,4	71,0
	09:00	8,4	68,6
	10:00	8,4	70,7
	11:00	8,4	70,5
	12:00	8,4	71,3
	13:00	8,4	75,7
	14:00	8,4	79,9
	15:00	8,4	79,9
	16:00	8,4	80,4
	17:00	8,4	77,0
	18:00	8,4	81,2
	19:00	8,4	79,9
	20:00	8,4	78,9
	21:00	8,4	78,1
	22:00	8,4	78,1
	23:00	8,4	78,6
9-Nov	00:00	8,4	45,1
	01:00	8,4	47,4
	02:00	8,4	54,2
	03:00	8,4	59,5
	04:00	8,4	60,5
	05:00	8,4	65,0
	06:00	8,4	65,0
	07:00	8,4	74,1
	08:00	8,4	71,0
	09:00	8,4	68,6
	10:00	8,4	70,7
	11:00	8,4	70,5
	12:00	8,4	71,3
	13:00	8,4	75,7
	14:00	8,4	79,9
	15:00	8,4	79,9
	16:00	8,4	80,4

Continuación...	17:00	8,4	77,0	
	18:00	8,4	81,2	
	19:00	8,4	79,9	
	20:00	8,4	78,9	
	21:00	8,4	78,1	
	22:00	8,4	78,1	
	23:00	8,4	78,6	
	<hr/>			
		00:00	8,4	76,8
		01:00	8,4	78,1
		02:00	8,4	77,6
		03:00	8,4	77,8
		04:00	8,4	80,4
		05:00	8,4	79,9
		06:00	8,4	79,9
		07:00	8,4	79,4
		08:00	8,4	82,3
		09:00	8,4	82,0
		10:00	8,4	82,5
	10-Nov	11:00	8,4	82,3
		12:00	8,4	80,7
		13:00	8,4	80,2
		14:00	8,4	80,2
	15:00	8,4	79,1	
	16:00	8,4	82,0	
	17:00	8,4	82,0	
	18:00	8,4	81,7	
	19:00	8,4	81,7	
	20:00	8,4	82,3	
	21:00	8,4	80,7	
	22:00	8,4	80,4	
	23:00	8,4	80,2	
<hr/>				
	00:00	8,4	84,9	
	01:00	8,4	83,1	
	02:00	8,4	90,1	
	03:00	8,4	83,8	
	04:00	8,4	87,5	
	05:00	8,4	84,4	
	06:00	8,4	89,1	
11-Nov	07:00	8,4	87,8	
	08:00	8,4	87,5	
	09:00	8,4	86,5	
	10:00	8,4	86,5	
	11:00	8,4	86,2	
	12:00	8,4	85,9	
	13:00	15,5	85,7	
	14:00	11,0	84,9	
	15:00	8,4	85,1	
<hr/>				
	16:00	8,4	86,5	

Continuación...	17:00	8,4	85,1	
	18:00	8,4	85,7	
	19:00	8,4	86,2	
	20:00	8,4	85,7	
	21:00	8,4	84,9	
	22:00	8,4	86,2	
	23:00	8,4	85,1	
	<hr/>			
		00:00	8,4	85,7
		01:00	8,4	86,2
		02:00	8,4	86,5
		03:00	8,4	87,0
		04:00	8,4	86,7
		05:00	8,4	86,2
		06:00	8,4	86,5
		07:00	8,4	85,7
		08:00	8,4	85,9
		09:00	8,4	87,2
		10:00	8,4	87,0
	12-Nov	11:00	8,4	87,0
		12:00	8,4	88,0
		13:00	8,4	87,5
		14:00	8,4	89,6
	15:00	8,4	88,8	
	16:00	8,4	89,3	
	17:00	8,4	120,5	
	18:00	8,4	110,0	
	19:00	8,4	124,2	
	20:00	8,4	78,1	
	21:00	8,4	89,3	
	22:00	8,4	88,6	
	23:00	8,4	84,9	
<hr/>				
	00:00	8,4	88,3	
	01:00	8,4	88,3	
	02:00	8,4	88,3	
	03:00	8,4	88,0	
	04:00	8,4	88,3	
	05:00	8,4	87,0	
	06:00	8,4	87,8	
13-Nov	07:00	8,4	87,5	
	08:00	8,9	88,0	
	09:00	10,0	87,5	
	10:00	8,4	88,0	
	11:00	8,4	88,0	
	12:00	8,4	88,0	
	13:00	8,4	89,6	
	14:00	8,4	88,8	
	15:00	8,4	88,6	
<hr/>				
	16:00	8,4	90,1	

Continuación...	17:00	8,4	88,0
	18:00	8,4	88,6
	19:00	8,4	88,3
	20:00	8,4	87,8
	21:00	8,4	87,8
	22:00	8,4	87,0
	23:00	8,4	88,0
	00:00	8,4	90,1
	01:00	8,4	90,4
	02:00	8,4	89,6
	03:00	8,4	89,3
	04:00	8,4	92,0
	05:00	8,4	90,9
	06:00	8,4	92,0
	07:00	8,4	91,2
	08:00	8,4	89,6
	09:00	8,4	89,9
	10:00	8,4	89,1
14-Nov	11:00	8,4	90,1
	12:00	8,4	88,3
	13:00	8,4	89,1
	14:00	8,4	88,8
	15:00	8,4	89,1
	16:00	8,4	87,8
	17:00	8,4	89,1
	18:00	8,4	88,6
	19:00	8,4	88,8
	20:00	8,4	88,8
	21:00	8,4	88,3
	22:00	8,4	88,3
	23:00	8,4	87,8
	00:00	8,4	88,6
	01:00	8,4	88,8
	02:00	8,4	88,8
	03:00	8,4	89,1
	04:00	8,4	90,4
	05:00	8,4	90,4
	06:00	8,4	90,4
15-Nov	07:00	8,4	90,9
	08:00	8,4	90,9
	09:00	8,4	92,2
	10:00	8,4	92,5
	11:00	8,4	97,2
	12:00	8,4	97,5
	13:00	8,4	97,2
	14:00	8,4	97,5
	15:00	8,4	97,5
	16:00	8,4	96,4

Continuación...	17:00	8,4	96,2	
	18:00	8,4	96,9	
	19:00	8,4	96,4	
	20:00	8,4	96,2	
	21:00	8,4	96,4	
	22:00	8,4	97,7	
	23:00	8,4	97,2	
	<hr/>			
		00:00	8,4	96,4
		01:00	8,4	96,7
		02:00	8,4	96,4
		03:00	8,4	96,9
		04:00	8,4	98,0
		05:00	8,4	95,6
		06:00	8,4	96,7
		07:00	8,4	97,5
		08:00	10,2	98,0
		09:00	10,2	98,5
		10:00	14,1	98,2
	16-Nov	11:00	9,2	98,8
		12:00	14,7	99,0
		13:00	11,3	99,0
		14:00	12,8	98,5
	15:00	13,9	98,5	
	16:00	14,4	98,0	
	17:00	13,9	97,5	
	18:00	8,4	97,5	
	19:00	17,8	98,5	
	20:00	8,4	97,2	
	21:00	8,4	96,9	
	22:00	8,4	96,4	
	23:00	8,4	97,5	
<hr/>				
	00:00	8,4	98,0	
	01:00	8,4	96,7	
	02:00	8,4	96,7	
	03:00	8,4	96,9	
	04:00	8,4	96,7	
	05:00	8,4	96,7	
	06:00	8,4	97,5	
17-Nov	07:00	8,4	97,5	
	08:00	8,4	97,5	
	09:00	8,4	97,5	
	10:00	8,4	98,0	
	11:00	8,4	98,2	
	12:00	8,4	98,8	
	13:00	8,4	98,0	
	14:00	8,4	98,5	
	15:00	8,4	98,5	
<hr/>				
	16:00	8,4	98,0	

Continuación...	17:00	8,4	97,5	
	18:00	8,4	99,0	
	19:00	8,4	99,3	
	20:00	8,4	97,5	
	21:00	8,4	98,2	
	22:00	8,4	97,5	
	23:00	8,4	97,5	
	<hr/>			
		00:00	8,4	100,6
		01:00	8,4	99,6
		02:00	8,4	98,2
		03:00	8,4	96,2
		04:00	8,4	98,5
		05:00	8,4	98,5
		06:00	8,4	98,5
		07:00	8,4	99,0
		08:00	8,4	97,2
		09:00	8,4	99,0
		10:00	8,4	99,3
	18-Nov	11:00	8,4	99,8
		12:00	8,4	99,8
		13:00	8,4	100,1
		14:00	8,4	98,5
	15:00	8,4	98,2	
	16:00	8,4	98,8	
	17:00	8,4	98,8	
	18:00	8,4	98,8	
	19:00	8,4	98,5	
	20:00	8,4	98,5	
	21:00	8,4	98,2	
	22:00	8,4	99,3	
	23:00	8,4	101,1	
<hr/>				
	00:00	8,4	100,6	
	01:00	8,4	101,7	
	02:00	8,4	102,7	
	03:00	8,4	100,9	
	04:00	8,4	102,2	
	05:00	8,4	100,9	
	06:00	8,4	101,7	
19-Nov	07:00	8,4	103,0	
	08:00	8,4	100,3	
	09:00	8,4	100,9	
	10:00	8,4	100,6	
	11:00	8,4	100,6	
	12:00	8,4	100,3	
	13:00	8,4	101,4	
	14:00	8,4	102,4	
	15:00	8,4	102,4	
<hr/>				
	16:00	8,4	101,7	

Continuación...	17:00	8,4	101,4	
	18:00	8,4	102,4	
	19:00	8,4	101,1	
	20:00	8,4	101,9	
	21:00	8,4	100,3	
	22:00	8,4	102,2	
	23:00	8,4	103,0	
	<hr/>			
		00:00	8,4	54,9
		01:00	8,4	54,9
		02:00	8,4	54,9
		03:00	8,4	54,9
		04:00	8,4	55,2
	05:00	8,4	55,9	
	06:00	8,4	55,5	
	07:00	8,4	55,9	
	08:00	8,4	55,9	
	09:00	8,4	55,5	
	10:00	8,4	55,2	
20-Nov	11:00	8,4	55,6	
	12:00	8,4	56,7	
	13:00	8,4	56,0	
	14:00	8,4	56,0	
	15:00	8,4	57,1	
	16:00	8,4	56,0	
	17:00	8,4	56,6	
	18:00	8,4	56,7	
	19:00	8,4	57,0	
	20:00	8,4	56,9	
	21:00	8,4	57,0	
	22:00	8,4	57,6	
	23:00	8,4	58,7	
<hr/>				
	00:00	8,4	55,5	
	01:00	8,4	55,9	
	02:00	8,4	55,8	
	03:00	8,4	56,3	
	04:00	8,4	55,9	
	05:00	8,4	56,2	
	06:00	8,4	56,4	
21-Nov	07:00	8,4	56,7	
	08:00	8,4	56,6	
	09:00	8,4	56,7	
	10:00	8,4	56,6	
	11:00	8,4	56,7	
	12:00	8,4	56,7	
	13:00	8,4	57,0	
	14:00	8,4	58,1	
	15:00	8,4	56,2	
	16:00	8,4	56,3	

Continuación...	17:00	8,4	57,6
	18:00	8,4	57,6
	19:00	8,4	59,7
	20:00	8,4	57,8
	21:00	8,4	57,0
	22:00	8,4	57,0
	23:00	8,4	57,7
	<hr/>		
	00:00	8,4	57,4
	01:00	8,4	59,2
	02:00	8,4	47,7
	03:00	8,4	53,1
	04:00	8,4	54,4
05:00	8,4	55,2	
06:00	8,4	55,3	
07:00	8,4	55,2	
08:00	10,2	59,4	
09:00	10,2	51,6	
10:00	8,4	55,6	
22-Nov	11:00	9,2	55,6
	12:00	9,4	57,0
	13:00	8,4	59,1
	14:00	8,4	56,4
	15:00	8,6	55,3
	16:00	9,2	57,4
	17:00	8,6	58,8
	18:00	8,4	59,1
	19:00	8,4	66,3
	20:00	8,4	66,6
	21:00	8,4	63,4
	22:00	8,4	62,9
	23:00	8,4	63,8
<hr/>			

Anexo 6: Resumen de concentraciones de SO₂ en el punto CA-13

Fecha de monitoreo	SO ₂ (µg/m ³)
8-Nov	8,4
9-Nov	8,4
10-Nov	8,4
11-Nov	8,4
12-Nov	8,4
13-Nov	8,4
14-Nov	8,4
15-Nov	8,4
16-Nov	9,1
17-Nov	8,4
18-Nov	8,4
19-Nov	8,4
20-Nov	8,4
21-Nov	8,4
22-Nov	8,4
Promedio	8,4
Desviación Estándar	0,2
Coefficiente de variabilidad (CV) %	2,1

Anexo 7: Resumen de concentraciones de SO₂ en el punto CA-17

Fecha de monitoreo	SO ₂ (µg/m ³)
8-Nov	70,4
9-Nov	70,4
10-Nov	80,4
11-Nov	86,0
12-Nov	90,7
13-Nov	88,2
14-Nov	89,5
15-Nov	93,9
16-Nov	97,6
17-Nov	97,8
18-Nov	98,9
19-Nov	101,5
20-Nov	56,1
21-Nov	56,8
22-Nov	57,7
Promedio	82,4
Desviación Estándar	16,1
Coefficiente de variabilidad (CV) %	19,6

Anexo 8: Registro diario de las variables meteorológicas en el punto CA-3

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección de viento (°)
8/11/2018	20,98	70,50	1,38	291
9/11/2018	22,37	70,00	1,48	286
10/11/2018	21,63	71,13	1,34	273
11/11/2018	22,01	68,04	1,91	270
12/11/2018	22,00	71,04	1,44	241
13/11/2018	21,70	70,33	1,34	292
14/11/2018	21,75	70,50	1,48	286
15/11/2018	21,83	70,96	1,43	270
16/11/2018	22,20	67,13	2,10	276
17/11/2018	21,85	67,83	1,49	271
18/11/2018	22,06	66,54	1,50	258
19/11/2018	21,67	69,79	1,17	265
20/11/2018	22,00	70,13	1,38	272
21/11/2018	22,32	69,71	1,55	274
22/11/2018	22,02	68,75	1,45	276

Anexo 9: Registro diario de las variables meteorológicas en el punto CA-13

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección de viento (°)
8/11/2018	20,74	78,38	1,07	217,50
9/11/2018	22,20	76,63	1,34	216,56
10/11/2018	21,00	79,79	0,97	210,00
11/11/2018	21,41	79,33	1,23	187,50
12/11/2018	21,18	79,33	1,61	206,25
13/11/2018	20,47	79,58	1,20	166,88
14/11/2018	21,31	77,42	1,31	232,50
15/11/2018	21,13	78,63	1,20	203,48
16/11/2018	20,77	77,75	1,37	212,81
17/11/2018	20,98	76,63	1,36	222,19
18/11/2018	21,23	75,00	1,33	207,19
19/11/2018	20,79	77,67	1,34	206,41
20/11/2018	21,14	78,38	1,28	230,63
21/11/2018	20,55	80,25	0,90	218,44
22/11/2018	21,33	76,58	1,27	218,44

Anexo 10: Registro diario de las variables meteorológicas en el punto CA-17

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección de viento (°)
8/11/2018	21,70	73,92	1,42	265,31
9/11/2018	21,50	74,75	1,36	279,38
10/11/2018	22,19	73,00	1,96	243,75
11/11/2018	21,93	73,13	2,00	256,88
12/11/2018	21,49	72,92	1,44	147,19
13/11/2018	21,81	72,63	2,00	266,25
14/11/2018	21,83	73,46	2,00	255,94
15/11/2018	21,83	71,92	2,05	255,94
16/11/2018	20,66	76,88	2,00	267,19
17/11/2018	19,75	81,79	1,79	237,19
18/11/2018	20,08	80,38	1,82	263,44
19/11/2018	20,02	81,71	2,02	259,69
20/11/2018	19,75	83,17	1,83	239,06
21/11/2018	20,68	80,13	1,82	257,81
22/11/2018	20,25	81,25	1,75	269,06

Anexo 11: Álbum fotográfico

Fotografía 1: Punto de monitoreo CA-3



Fotografía 2: Punto de monitoreo CA-13



Fotografía 3: Punto de monitoreo CA-17



Fotografía 4: Campos de caña de azúcar quemados



Fotografía 5: Pistas sin pavimentar en el centro poblado Lache - La Chica



Fotografía 6: Pistas sin pavimentar en el centro poblado Roma

