

CAÑA DE AZÚCAR: RUTA HACIA LA COSECHA EN VERDE

Determinación de distancias mínimas para la quema de caña de azúcar en las localidades de La Huaca y La Rinconada (provincia de Paita, Piura) mediante un modelamiento de dispersión de material particulado en el año 2018



Oefa

Organismo
de Evaluación
y Fiscalización
Ambiental

Caña de azúcar: ruta hacia la cosecha en verde. Determinación de distancias mínimas para la quema de caña de azúcar en las localidades de La huaca y La Rinconada (provincia de Paita, Piura) mediante un modelamiento de dispersión de material particulado en el año 2018

Editado por:

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)

Dirección: Av. Faustino Sánchez Carrión N.º 603
Jesús María, Lima, Perú.
Teléfono: 204-9900
www.gob.pe/oefa

Consejo Directivo

Johnny Marchán Peña - Presidente
Gloria Cadillo Ángeles - Consejera
Gunther Merzthal Yupari - Consejero
César Ortiz Jahn - Consejero
John Ortiz Sánchez - Consejero

Equipo investigador

Carlos Ortiz Rojas

Coordinación de Supervisión Ambiental en Industria
Dirección de Supervisión Ambiental en Actividades Productivas

Saúl Aldave Agüero

Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental

Michael Guevara Yanac

Coordinación de Supervisión Ambiental en Industria
Dirección de Supervisión Ambiental en Actividades Productivas

Karla Mónica Valer Cerna

Consultora ambiental
Presidencia del Consejo Directivo

Corrección de textos y revisión de estilo

Roxana Villalba Garcés

Diseño y diagramación

Oficina de Relaciones Institucionales y Atención a la Ciudadanía

Fotografías

Archivo del OEFA

Primera edición digital: mayo 2023

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional
del Perú N° 2023-03980

Libro electrónico disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/oefa/informes-publicaciones/4207871-cana-de-azucar-ruta-hacia-la-cosecha-verde>

CAÑA DE AZÚCAR: RUTA HACIA LA COSECHA EN VERDE

Determinación de distancias mínimas para la quema de caña de azúcar en las localidades de La Huaca y La Rinconada (provincia de Paita, Piura) mediante un modelamiento de dispersión de material particulado en el año 2018



Oefa

Organismo
de Evaluación
y Fiscalización
Ambiental

INDICE GENERAL

PRÓLOGO	8
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. CONTEXTO	13
1.1 Situación problemática	14
1.2 Instrumento de gestión ambiental de la empresa Agroaurora	15
1.3 Acciones regulatorias del OEFA para promover el cumplimiento de compromisos ambientales	16
1.3.1 Acciones de supervisión en Agroaurora	16
1.3.2 Intervención debido a denuncias ambientales en la zona de influencia de la empresa Agroaurora	17
1.4 Planteamiento del problema de investigación	17
1.4.1 Formulación del problema	17
1.5 Justificación	18
1.6 Objetivos	20
1.6.1 Objetivo general	20
1.6.2 ObjetivoS específicos	20
1.7 Limitaciones	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	23
2.1 Antecedentes del problema	24
2.2 Marco conceptual	25
2.3 Hipótesis	32
2.3.1 Formulación de hipótesis	32
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	35
3.1 Diseño metodológico	36
3.2 Diseño muestral	36
3.2.1 Respecto a la determinación de concentraciones modeladas haciendo uso del <i>software</i> Aermot	36
3.2.2 Respecto a la validación de datos de concentración de PM ₁₀ y PM _{2.5} obtenidos mediante el uso del <i>software</i> Aermot y lo obtenido en campo	42

3.2.3	Respecto a la distancia obtenida por el administrado Agroaurora en su EIA-sd utilizando el <i>software</i> Screen3	43
3.2.4	Técnicas de recolección de datos	45
3.2.4.1	Recopilación de datos <i>in situ</i> de calidad del aire y meteorología	45
3.2.5	Técnicas estadísticas para el procesamiento de los datos	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		49
4.1	Calidad de aire	50
4.2	Meteorología	51
4.3	Relación entre días de quema controlada de caña azúcar y parámetros meteorológicos	52
4.4	Concentraciones de material particulado	56
4.5	Determinación de distancias mínimas de quema realizado por Senamhi haciendo uso del <i>software</i> Aermod	57
4.5.1	Fuentes de emisión	57
4.5.2	Factores de emisión	58
4.5.3	Cálculos de tasas de emisión	59
4.5.4	Estimación de distancias referenciales	62
4.5.5	Estimaciones de concentraciones críticas	64
4.6	Diferencia significativa de distancias mínimas de quema de caña entre el estudio realizado por el administrado Agroaurora S.A.C. y DEAM-OEFA utilizando el <i>software</i> Screen3	70
4.7	Resultado esperado respecto a la validación del modelo de dispersión	81
4.7.1	Coeficiente de correlación y análisis de p-Value para PM ₁₀	81
4.7.2	Coeficiente de correlación y análisis de p-Value para PM _{2.5}	83
CAPÍTULO V. RESULTADO SISTEMATIZADO		87
5.1	Mejoras de las técnicas obtenidas	88
5.2	De la investigación aplicada al perfeccionamiento de regulación	94
5.2.1	Proyectos de ley	94
5.2.2	Aportes del Sector Ambiente a los proyectos de ley	100
5.2.3	Aporte al Reglamento de la Ley a partir de la investigación	115
CONCLUSIONES		123
OPORTUNIDADES DE MEJORA		129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		135
ANEXOS		142



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CIND-DSAP	Coordinación de Supervisión Ambiental en Industria de la Dirección de Supervisión Ambiental en Actividades Productivas
CPAAAAE	Comisión de Pueblos Andinos, Amazónicos y Afroperuanos, Ambiente y Ecología
DGCA-Minam	Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente
DEAM	Dirección de Evaluación Ambiental
DSAP	Dirección de Supervisión en Actividades Productivas
ECA	Estándar de calidad ambiental
EIA-sd	Estudio de impacto ambiental semidetallado
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
IGA	Instrumentos de gestión ambiental
Minam	Ministerio del Ambiente
Midagri	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, ex- Ministerio de Agricultura (Minagri)
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
Produce	Ministerio de la Producción
Senamhi	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
Sernamp	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
STEC- DEAM	Subdirección Técnica Científica de la Dirección de Evaluación
UNIDA- Minam	Unidad Funcional de Delitos Ambientales del Ministerio del Ambiente

PRÓLOGO



Los intentos por regular la quema de caña, práctica común previa a la cosecha de esta planta, se remontan a hace casi dos décadas. Más allá de las opiniones vertidas en informes de interpretación o en aplicaciones en instrumentos de gestión ambiental vigentes —emitidos o aprobados por el Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri), el Ministerio de la Producción (Produce) o el Ministerio del Ambiente (Minam)—, todos los actores relevantes coinciden en que esta práctica agroindustrial es muy perjudicial para el aire por la emisión de gases de efecto invernadero, para la salud de las personas de poblaciones colindantes a las plantaciones por la contaminación del aire con material particulado, y para el suelo por la eliminación de todo ser biológico y microbiológico presente en la zona de quema. Estas opiniones muestran señales claras de la necesidad de erradicar, gradual y progresivamente, la quema de caña en la etapa de cosecha.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), al igual que los actores señalados, considera que no se puede interpretar de manera extensiva la prohibición de quema de residuos de las actividades agrícolas, señalada en el artículo 27 del Decreto Supremo N.º 016-2012-AG. Se requiere de una regulación específica resultado del análisis técnico, económico, ambiental y social en torno a la actividad agroindustrial. Cabe resaltar que el Congreso de la República se encuentra en la misma línea y está evaluando dos proyectos de ley que buscan iniciar la regulación de la quema de caña.

Sumándose a este esfuerzo, el OEFA ha analizado las acciones regulatorias realizadas para evaluar el impacto de la práctica de quema de caña de un caso desarrollado en territorios de los distritos La Huaca y La Rinconada, provincia de Paita, región Piura, es decir, las

supervisiones que promovieron la adecuación y la predisposición de la empresa Agroaurora para acelerar el cambio de su método de cosecha, en el marco de justas reclamaciones de la ciudadanía afectada aledaña a los campos de cultivo.

En la intervención, el OEFA convocó al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) y, con su apoyo experto, modeló la dispersión del material particulado y obtuvo nuevas distancias de restricción de quema en campos de cultivo aledaños para los centros poblados La Huaca y La Rinconada. Estas distancias permitirían no exceder los ECA para aire en los parámetros PM_{10} y $PM_{2.5}$, e identificar el mejor horario del día para la quema.

Los resultados de la modelación de partículas, obtenidos usando el software Aermid, y las medidas administrativas impulsadas en el 2018 generaron que la empresa incremente su cosecha en verde en 25 %, actualice su EIA-sd en el 2021 con un 50 % de cosecha en verde, y alcance el 93 % en un lapso de cinco años. Esto demostró su compromiso voluntario por llegar a un equilibrio que haga sostenible su negocio.

La sistematización del conjunto de acciones y hechos ejecutados por la empresa, el fiscalizador ambiental y la sociedad permite recomendar el perfeccionamiento del instrumental regulatorio en materia de evaluación y supervisión en el sector azucarero

y similares, el uso de modelos de dispersión más precisos para sustentar los instrumentos de gestión ambiental, y la necesaria solicitud de la opinión experta del Senamhi como requisito para la certificación ambiental. Además, en el entendido de que este cambio será gradual y progresivo, se pudo establecer la ruta para la erradicación de esta práctica en un plazo de ocho años, y determinar, como exigencia, la comunicación efectiva y anticipada a la población y al fiscalizador antes de que ocurra la quema, así como las distancias mínimas, los horarios permitidos, etc.

Finalmente, es importante mencionar que la conversión a cosecha en verde requiere, por lo menos, el diseño de estrategias empresariales, la inversión inicial en maquinarias, la modificación de procedimientos, la preparación de los campos y el fortalecimiento de las capacidades de los/as trabajadores/as. Por esa razón, no se debe descartar la oportunidad de incluir incentivos y desincentivos económicos que contribuyan a alcanzar el objetivo de erradicar la quema de caña en un plazo previsto. Dicho esto, no es suficiente analizar la rentabilidad económica en el corto plazo, es importante enfocarse en la sostenibilidad de la actividad productiva en el mediano y largo plazo.

Johnny Marchán Peña

Presidente del Consejo Directivo
Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental (OEFA)

RESUMEN



El Perú es un importante productor de caña de azúcar a nivel mundial. Su principal uso industrial es la producción de azúcar y etanol. Para reducir costos en la fabricación de estos productos, muchas empresas realizan la quema de caña previa a la cosecha y desestiman la cosecha 'en verde'. Esto ocasiona problemas a nivel ambiental, ya que las emisiones que genera dicha práctica contribuyen severamente al deterioro de la calidad del aire, y Producen elevadas concentraciones de gases y material particulado. Por esa razón, dicha práctica es perjudicial para la salud de los habitantes de los centros poblados y los seres vivos ubicados en los alrededores de las áreas de cultivo de caña.

Una manera de predecir el impacto de esta práctica es a través del uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos generados por la quema de caña de azúcar. Estos modelos de dispersión permiten estimar distancias de hasta dónde el contaminante puede desplazarse, en función a las condiciones meteorológicas

del área estudiada. De ese modo, se puede predecir el cumplimiento o no de los estándares de calidad ambiental de aire (ECA para aire) y evitar que los contaminantes alcancen a los centros poblados en concentraciones perjudiciales para la salud. Cabe resaltar que la distancia entre los centros poblados y los puntos de quema de caña es un factor fundamental para evitar la afectación a la salud de la población.

Mediante la Resolución Directoral N.º 037-2017-Produce/DVMYPE-I/DGAAMI del 19 de enero 2017, se aprobó el estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) del proyecto "Cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar". Este proyecto tiene como titular a Agroaurora S.A.C. y se desarrolla en los distritos La Huaca y El Arenal, provincia de Paita y distrito de Miguel Checa, provincia de Sullana, departamento de Piura. Este EIA-sd establece un programa de quema controlada, con distancias mínimas de 1 562,46 m respecto al casco urbano y 80 m respecto al eje de vías principales, distancias establecidas

con el *software* Screen3; la cosecha mecanizada en verde (sin quema), se implementará de manera progresiva durante el periodo de treinta años, hasta el 2047.

No obstante, debido a la existencia de numerosas denuncias ambientales —registradas por pobladores afectados por los humos y las cenizas generados por las actividades de cosecha mediante quema en el área de influencia de Agroaurora S.A.C.—, la Coordinación de Supervisión Ambiental en Industria (CIND) de la Dirección de Supervisión Ambiental en Actividades Productivas (DSAP), en coordinación con la Subdirección Técnica Científica (STEC) de la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), consideró necesario realizar un estudio que permita identificar nuevas distancias de restricción de quema de caña, utilizando un modelo de dispersión diferente al utilizado por Agroaurora S.A.C.

Para lograr este propósito, el OEFA solicitó la colaboración del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) para que elabore un modelamiento de dispersión de calidad de aire en las localidades La Huaca y La Rinconada (provincia de Paita, Piura), área de influencia de Agroaurora S.A.C.

Con base en los resultados obtenidos en las acciones de monitoreo de la calidad de aire realizadas por la DEAM-OEFA en noviembre del 2018,

el Senamhi determinó las distancias mínimas para la quema de caña de azúcar en las localidades La Huaca y La Rinconada (provincia de Paita, Piura), mediante un modelamiento de dispersión de material particulado, para el cual utilizó el *software* Aermod.

Posteriormente, se realizó la validación estadística de las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), entre los datos obtenidos mediante el uso del *software* Aermod y los datos del monitoreo de calidad de aire, obtenidos en campo por la DEAM-OEFA en noviembre del 2018.

Finalmente, se verificó que existe una diferencia significativa entre los valores de distancia mínima establecidos por Agroaurora S.A.C. en su instrumento de gestión ambiental del 2017 con base en Sreen3, y el cálculo realizado por la DEAM-OEFA con ese mismo *software*.

Las nuevas distancias obtenidas en el modelamiento de dispersión elaborado por el Senamhi permitieron a la DSAP-OEFA ordenar una medida preventiva a Agroaurora S.A.C., estableciendo nuevas distancias para la quema de caña de azúcar en las localidades La Huaca y La Rinconada (provincia de Paita, Piura). El fin de esta medida fue proteger el ambiente y la salud de la población.





I. CONTEXTO

1.1 Situación problemática

Debido a recurrentes denuncias ambientales¹ durante el 2018—registradas por pobladores afectados por los humos y las cenizas generados por las actividades de cosecha en el área de influencia de la empresa Agroaurora S.A.C.—, la Coordinación de Industria de la Dirección de Supervisión de Actividades Productivas (DSAP), en coordinación con la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del OEFA, identificó la necesidad de realizar un estudio que permita evaluar las distancias de restricción de quema de caña, utilizando un modelo de dispersión diferente al empleado por el administrado Agroaurora S.A.C.

En virtud al convenio entre el OEFA y el Senamhi², se solicitó la colaboración de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica del Senamhi para realizar un modelamiento de dispersión de calidad de aire, en base a los resultados obtenidos de las acciones programadas de monitoreo de calidad de aire, realizados por la DEAM-OEFA, en el ámbito de influencia de la empresa Agroaurora S.A.C., ubicada en los distritos de La Huaca y El Arenal, provincia Paita, distrito de Miguel Checa, provincia de Sullana, departamento de Piura.

Del 25 de octubre al 18 de noviembre del 2018, el OEFA realizó el monitoreo de calidad de aire en las instalaciones del administrado Agroaurora S.A.C. conforme a los puntos definidos en su instrumento de gestión ambiental. Los resultados permitieron efectuar un modelamiento de dispersión de contaminantes mediante el *software* Aermol a fin de estimar nuevas distancias mínimas —diferentes a las obtenidas por el administrado con el uso del *software* Screen3— para la ejecución de acciones de quema controlada cuando existan poblaciones cercanas que no superen los ECA para aire.

1 Las denuncias se realizaron mediante la siguiente plataforma: <https://www.oefa.gob.pe/sinada/>

2 Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional entre el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)

1.2 Instrumento de gestión ambiental de la empresa Agroaurora

El sector competente para la evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental —respecto de la actividad manufacturera del sector industria prevista en la clase 1542: “Elaboración de azúcar” (equivalente a la clase 1072 de la revisión 4 de la CIU)— es el Ministerio de la Producción (Produce).

El administrado Agroaurora S.A.C. cuenta con los siguientes instrumentos de gestión ambiental:

Tabla 1. Instrumentos de gestión ambiental del administrado Agroaurora S.A.C.

Instrumento de gestión ambiental (IGA)	Documento de aprobación
Clasificación de evaluación preliminar (EVAP) a categoría II, estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd)	Resolución Directoral N.º 033-2016-Produce/DVMYPE-I/DIGGAM del 15 de enero del 2016
Estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) de cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar	Resolución Directoral N.º 0037-2017-Produce/DVMYPE-I/DIGGAM del 19 de enero del 2017
Resolución que aprueba el nuevo cronograma de ejecución de actividades del proyecto de inversión agroindustrial “Cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar”	Resolución Directoral N.º 307-2017-Produce/DVMYPE-I/DIGGAM del 22 de agosto del 2017
Resolución que aprueba la actualización del estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) de cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar	Resolución Directoral N.º 00594-2021-Produce/DGAAMI del 15 de noviembre del 2021

Nota: Elaboración propia.

1.3 Acciones regulatorias del OEFA para promover el cumplimiento de compromisos ambientales

Mediante Resolución de Consejo Directivo N.º 015-2016-OEFA/CD del 5 de julio del 2016, se determinó que, a partir del 8 de julio de ese mismo año, el OEFA asumiría las funciones de seguimiento, vigilancia, fiscalización, control y sanción en materia ambiental respecto de la actividad manufacturera del subsector industria prevista en la división 15: clase 1542 “Elaboración de azúcar”.

1.3.1 Acciones de supervisión en Agroaurora

El OEFA tiene dos tipos de supervisión:

- i) Supervisión regular, que se realiza de manera periódica y planificada
- ii) Supervisión especial, que se realiza para atender alguna denuncia o emergencia ambiental

Hasta la fecha la DSAP-CIND ha realizado veintitrés acciones de supervisión ambiental a la empresa Agroaurora, dieciséis de tipo especial, en respuesta a las situaciones extraordinarias, y siete programadas. Esto demostraría que esta zona de Piura era un territorio con una problemática aguda, por lo que la sociedad civil denunciaba reiteradamente esta situación.

Tabla 2. Resumen de las acciones de supervisión y fiscalización a Agroaurora S.A.C.

Inicio de supervisión	Final de supervisión	Tipo de supervisión	Número de informe de supervisión
27/07/2016	27/07/2016	Especial	0781-2016-OEFA-DS-IND
16/08/2016	17/08/2016	Especial	073-2017-OEFA-DS-IND
12/01/2017	13/01/2017	Especial	0122-2017/OEFA-DS-IND
16/05/2017	18/05/2017	Especial	0477-2017/OEFA-DSAP-IND
17/06/2017	17/06/2017	Especial	0617-2017/OEFA-DSAP-CIND
14/10/2017	14/10/2017	Especial	0808-2017/OEFA-DSAP-CIND
22/01/2018	22/01/2018	Especial	0132-2018/OEFA-DSAP-CIND
16/07/2018	21/07/2018	Regular	0329-2019-OEFA/DSAP-CIND

29/05/2018	29/05/2018	Especial	0573-2018-OEFA-DSAP-CIND
27/06/2019	29/06/2019	Especial	0760-2019-OEFA/DSAP-CIND
23/07/2019	23/07/2019	Especial	0071-2021-OEFA/DSAP-CIND
09/09/2019	12/09/2019	Regular	0118-2020-OEFA/DSAP-CIND
21/08/2019	21/08/2019	Especial	00773-2019-OEFA/DSAP-CIND
04/09/2019	04/09/2019		
14/10/2019	14/10/2019	Especial	0118-2020-OEFA/DSAP-CIND
04/12/2019	06/12/2019	Especial	0110-2020-OEFA/DSAP-CIND
17/04/2020	24/04/2020	Regular	0386-2020-OEFA/DSAP-CIND
14/09/2020	14/10/2020	Regular	0071-2021-OEFA/DSAP-CIND
12/10/2021	14/10/2021	Regular	102-2022-OEFA/DSAP-CIND
12/10/2021	14/10/2021	Especial	103-2022-OEFA/DSAP-CIND
22/04/2022	29/04/2022	Especial	172-2022-OEFA/DSAP-CIND
17/10/2022	28/10/2022	Especial	496-2022-OEFA/DSAP-CIND
17/10/2022	28/10/2022	Regular	544-2022-OEFA/DSAP-CIND

Nota: Elaboración propia.

1.3.2 Intervención debido a denuncias ambientales en la zona de influencia de la empresa Agroaurora

Debido a las denuncias hechas por la población por la quema de los campos aledaños a los centros poblados y a los reportes de emergencia registrados por el administrado, fue necesario que el equipo técnico desarrollara esta investigación para identificar las causas del deterioro ambiental de ese territorio a fin de promover cambios de desempeño ambiental por parte del titular.

1.4 Planteamiento del problema de investigación

1.4.1 Formulación del problema

¿Se pueden establecer nuevas distancias mínimas de quema de caña de azúcar para cosecharla, utilizando el *software* Aermid para los parámetros PM_{10} y $PM_{2,5}$ en aire, en los distritos de La Huaca y La Rinconada, provincia de Paita, departamento Piura?

1.5 Justificación

El Perú, gracias a las condiciones su clima y suelo, se ha convertido en un importante productor de caña de azúcar a nivel mundial, actividad que se desarrolla en nuestro país desde el siglo XVI (Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri], 2017). La caña es cultivada en la costa, sierra y selva, y se siembra y cosecha durante todo el año. El principal uso que se le da es la producción de azúcar y etanol.

Según Jurado (2020), las empresas azucareras en el Perú utilizan el método de quema del campo de caña de azúcar para luego cosecharla, debido a que no existe en la legislación peruana una norma expresa que prohíba esa práctica. Por un tema de costos, a las empresas les resulta menos oneroso quemar la caña que contratar trabajadores y maquinarias para cosecharla en verde. Sin embargo, la quema de la caña ocasiona problemas a nivel ambiental, ya que las emisiones que se generan por esta práctica contribuyen severamente al deterioro del ambiente, la contaminación del aire, el empobrecimiento de la calidad del suelo al matar a los microorganismos que en él viven, la destrucción de la atmósfera, y la afectación de la biodiversidad y la salud humana. En cuanto al aire, la quema provoca concentraciones considerables de gases (CO) y material particulado (PTS, PM₁₀, PM Coarse y PM_{2,5}).

En los alrededores de la mayoría de las áreas de cultivo de caña se han asentado centros poblados, integrados principalmente por las personas que laboran en la industria relacionada con la caña de azúcar. La poca distancia entre los centros poblados y las áreas de cultivos se convierte en un factor importante de evaluar, debido a la posible afectación a la calidad de vida de las personas que los conforman por las prácticas que se utilizan para la cosecha de la caña.

El tamaño de las partículas suspendidas, generadas por la práctica de cosecha mediante quema, es una característica muy importante, porque mientras más pequeño sea su diámetro aerodinámico, mayor será su capacidad de penetrar en las áreas más profundas del sistema respiratorio del ser humano (y de los animales).

Las cosechas de los campos de caña de azúcar a través de la quema generan constantes denuncias ante el Ministerio Público —especialmente provenientes de los pobladores que viven en centros poblados aledaños a ingenios azucareros— por la supuesta contaminación ambiental al aire que genera esta actividad. Esta situación exige una respuesta inmediata por parte de las autoridades ambientales sectoriales del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), Produce, Ministerio del Ambiente (Minam) y OEFA.

Teniendo toda esta información vinculada a la ubicación de receptores —centros poblados, puestos de salud, instituciones educativas, entre otros—, se puede estimar distancias de hasta dónde el contaminante puede desplazarse en función a las condiciones meteorológicas del área estudiada. Este valioso dato, regulado y cumplido, evitará que los contaminantes alcancen a los centros poblados con concentraciones perjudiciales para la salud.

Una de las alternativas de solución para minimizar la afectación de la población cercana a los puntos de quema de cultivos de caña es el uso de modelos de dispersión (González-Cruz et al., 2012). Los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos son herramientas que simulan el comportamiento de las emisiones que se liberan en el aire, para lo cual consideran las propiedades y características físicas y químicas de la atmósfera. Los resultados muestran las concentraciones del contaminante seleccionado a lo largo de un área previamente establecida (área de modelamiento) e identifican las zonas más afectadas por la alta concentración de contaminantes en el aire.

El *software* Aermod es uno de los programas que se encuentra regulado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) para realizar modelamientos de dispersión de contaminantes y ha sido empleado para determinar el área afectada por quema agrícola en países como Estados Unidos y Colombia, identificándose contaminantes atmosféricos en los territorios en los que se desarrolla dicha práctica (Patro y Huertas, 2019). Por eso, el presente trabajo, además de emplear información que ayuda a la interpretación de los datos obtenidos, utilizara el *software* que ha sido regulado por la EPA de Estados Unidos de Norteamérica (en adelante, Estados Unidos).

Se considera que la utilidad del *software* Aermod, como herramienta en la gestión de la calidad del aire, aportará un valor teórico importante para la regulación de la política ambiental del Perú, ya que, en base a los resultados obtenidos de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos, se puede realizar un análisis de cumplimiento de los estándares de calidad ambiental de aire (Decreto Supremo N.º 003-2017-Minam).

Cabe mencionar que, en nuestro país, el uso del *software* para realizar modelamientos de dispersión de contaminantes atmosféricos en el sector azucarero es una técnica relativamente nueva y poco utilizada, por lo que su uso puede generar información relevante que lleve a establecer nuevos procedimientos o regulaciones para la protección ambiental y el cuidado de la salud de las personas.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Determinar nuevas distancias mínimas de restricción de quema de caña de azúcar, mediante el uso del *software* Aermod para el administrado Agroaurora S.A.C. en los distritos de La Huaca y La Rinconada, provincia de Paita, departamento de Piura.

1.6.2 Problemas específicos

- Determinar si existe diferencia entre los valores de distancia mínima obtenidos por el administrado Agroaurora S.A.C. en su EIA-sd del 2017 y la evaluación realizada por la DEAM, utilizando el mismo *software* Screen3, en los distritos de La Huaca y La Rinconada, provincia de Paita, departamento de Piura.
- Validar estadísticamente las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) en el aire generado por la quema de campos de caña de azúcar del administrado Agroaurora S.A.C. en los distritos de La Huaca y La Rinconada, provincia de

Paita, departamento de Piura, a partir de los datos obtenidos mediante el uso del *software* AERMOD y recolectados en campo.

1.7 Limitaciones

Durante la época en que se desarrolló el este proyecto (2018), se presentaron principalmente las siguientes limitaciones:

- La falta de un manual o protocolo que sirva como guía para la elaboración de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos que indiquen el número mínimo de datos de monitoreo en campo y que sirvan para la validación de los modelos teóricos.
- En el 2018, el OEFA no contaba con un área específica que se dedique a la elaboración de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos; por eso, se tuvo que recurrir al Senamhi para conseguir el apoyo correspondiente.
- En nuestro país la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos para determinar distancias mínimas de quema de caña de azúcar es una materia relativamente nueva. Por eso, el desarrollo de este trabajo ha involucrado un aprendizaje para todos los actores que intervinieron en él.





II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

El 19 de enero del 2017, mediante Resolución Directoral N.º 037-2017-Produce/DVMYPE-I/DGAAMI, el Produce aprobó el estudio de impacto ambiental semidetallado del proyecto “Cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar” de titularidad de Agroaurora S.A.C., a desarrollarse en los distritos de La Huaca y El Arenal, correspondientes a la provincia de Paita; así como, distrito de Miguel Checa, provincia de Sullana, departamento de Piura.

En lo que respecta a la quema de caña de azúcar, el EIA-sd de Agroaurora del 2017 estableció lo siguiente:

- **La implementación de un programa de quema controlada:** No realizar actividades de quema en áreas contiguas a centros poblados y vías principales intermunicipales a una distancia mínima de 1 562,46 m respecto al casco urbano y 80 m respecto al eje de vías principales.
- **Cosecha mecanizada en verde (sin quema):** Adecuar sus campos de cultivo de caña de azúcar a la modalidad de cosecha en verde. Para tal efecto, la empresa cuenta con un cronograma de treinta años que comprende diez años para el ajuste varietal, diez años para la adecuación de los componentes y campos de cultivo a la variedad encontrada, y diez años para lograr la cosecha mecanizada en verde de todos sus campos de cultivo.

En ese sentido, el EIA-sd del 2017 tiene plazo para la culminación de la cosecha mecanizada en verde hasta el 19 de enero del 2047.

De la revisión del EIA-sd, se aprecia que Agroaurora realizó un modelamiento de dispersión de contaminantes³, utilizando el *software* Screen3, con lo que determinó la distancia mínima para la quema controlada y la cosecha mecanizada en verde de sus campos de cultivo.

2.2 Marco conceptual

- **Instrumento de gestión ambiental (IGA)**

El OEFA define al instrumento de gestión ambiental (IGA) como el “mecanismo orientado a la ejecución de la política ambiental, sobre la base de los principios establecidos en la Ley General del Ambiente y sus normas complementarias y reglamentarias. Este instrumento puede ser de planificación, promoción, prevención, control, corrección, información, financiamiento, participación, fiscalización, entre otros” (OEFA, 2016).

- **Estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd)**

El OEFA define estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) como un “instrumento de gestión ambiental para proyectos cuya ejecución puede originar impactos ambientales moderados y cuyos efectos negativos pueden ser eliminados o minimizados mediante la adopción de medidas fácilmente aplicables” (OEFA, 2016).

- **Estándar de calidad ambiental (ECA)**

El OEFA define estándar de calidad ambiental (ECA) como la “medida que establece el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos

3 Aprobado el 19 de enero del 2017 mediante Resolución Directoral N.º 037-2017-Produce/DVMYPE-I/DGAAMI.

presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente” (OEFA, 2016).

- **Material particulado**

Es el nombre que se le dan a los sólidos, los semisólidos, los líquidos, los aerosoles y las combinaciones entre estos presentes en el aire, y que tienen diámetros que oscilan entre los 0,001 μm . y los 500 μm . Por lo general, las partículas menores a 1 μm se originan en procesos de condensación, mientras que las partículas con diámetros superiores son producto de procesos de molienda, construcción y combustión.

- **Material particulado menor a 10 micras (PM_{10})**

Pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro es menor que 10 μm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín).

- **Material particulado menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$)**

Material particulado respirable, es decir, de diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 μm .

- **Cuartel**

Denominación que se da a un área de terreno con plantaciones de caña de azúcar. Para Agroaurora cada cuartel mide en su mayoría 10 ha.

- **Clasificación de los modelos de dispersión atmosférica**

Según el Manual Técnico para la Elaboración de Documentos Técnicos sobre Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos del Senamhi, los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos se pueden dividir en ocho tipos (Senamhi ,2021):

- **Modelos gaussianos**

Los modelos gaussianos se basan en hipótesis relativamente sencillas de acuerdo con la naturaleza estocástica de la turbulencia y la dispersión del contaminante. Tienen su origen en una solución particular de la ecuación de advección-difusión en condiciones muy restrictivas y son muy utilizados, debido a que son intuitivos, fáciles y manejables.

Estos modelos son válidos solo para condiciones topográficas y meteorológicas homogéneas dentro del área de estudio, asumiendo que el comportamiento del contaminante sigue una distribución gaussiana.

Los modelos de pluma gaussiana utilizan una aproximación de “estado estable”, que asume que, durante el paso del tiempo del modelo, las emisiones, la meteorología y otras entradas son constantes en todo el dominio del modelo. Esto genera como resultado una pluma resuelta con las emisiones distribuidas a lo largo de ella de acuerdo con una distribución gaussiana.

Esta formulación permite que los modelos gaussianos estimen los impactos de campo cercano de un número limitado de fuentes a una resolución relativamente alta, con escalas temporales de una hora y escalas espaciales de metros. Sin embargo, esta formulación permite solo contaminantes relativamente inertes, con consideraciones muy limitadas de

transformación y eliminación, y limita aún más el dominio para el que se puede utilizar el modelo.

Por lo tanto, los modelos gaussianos pueden no ser apropiados si las entradas del modelo están cambiando bruscamente durante el paso de tiempo o dentro del dominio del modelo deseado, o si se necesitan consideraciones químicas más avanzadas.

- **Modelo gaussiano recomendado: AERMOD**

Fue elaborado por el Comité de Mejora del Modelo Regulatorio de la Agencia de Protección Ambiental y la Sociedad Meteorológica Americana (AERMOD, por sus siglas en inglés). Es un modelo de dispersión de estado estacionario diseñado para modelar la dispersión de corto alcance (hasta 50 kilómetros) de las emisiones de contaminantes atmosféricos, en terrenos simples y complejos.

Entendiéndose como terrenos simples a aquellas áreas donde los receptores⁴ (centros poblados, colegios, hospitales, entre otros) se encuentran por debajo de la altura de donde se liberan los contaminantes de la fuente de emisión y, como terrenos complejos, a aquellas áreas donde los receptores se encuentran por encima de la altura indicada.

- **Modelos eulerianos**

Los modelos eulerianos usan un sistema fijo en el espacio para determinar las concentraciones de los contaminantes. Existen distintos grados de complejidad en estos modelos, que van de una representación simple de la dispersión hasta modelos que incluyen procesos fotoquímicos y procesos de aerosoles.

⁴ Se entiende como receptores a la ubicación de zonas de interés donde se requiere evaluar las concentraciones de contaminantes producto de la pluma de dispersión generadas por las fuentes de emisión.

Los modelos de cuadrícula fotoquímicos son modelos eulerianos tridimensionales basados en cuadrículas que tratan los procesos químicos y físicos en cada celda de la cuadrícula y utilizan procesos de difusión y transporte para mover especies químicas entre celdas de la cuadrícula.

Los modelos eulerianos asumen que las emisiones se distribuyen uniformemente a lo largo de cada celda de la cuadrícula del modelo. Al analizar resoluciones de cuadrícula gruesas, los modelos eulerianos tienen dificultades con la resolución de escala fina de plumas individuales. Sin embargo, estos tipos de modelos se pueden aplicar adecuadamente para la evaluación de los impactos de contaminantes reactivos a escala regional y de campo cercano de fuentes específicas o todas las fuentes.

Los modelos de cuadrícula fotoquímica simulan un entorno más realista para la transformación química, pero las simulaciones pueden requerir más recursos que los modelos de penacho lagrangiano o gaussiano.

- **Modelo euleriano recomendado: CMAQ**

El modelo de calidad del aire comunitario de multiescala (CMAQ, por sus siglas en inglés) es un modelo fotoquímico euleriano que permite simular el *smog* fotoquímico, la dispersión atmosférica de gases, el material particulado, y la deposición seca y húmeda de los contaminantes en escalas que varían desde la urbana hasta la regional. Por sus características este modelo puede solucionar condiciones de terrenos simples y complejos, así como condiciones meteorológicas homogéneas y heterogéneas.

- **Modelos lagrangianos**

Los modelos lagrangianos determinan la concentración de contaminantes en un volumen de aire que varía verticalmente y que se desplaza horizontalmente según una trayectoria en función del viento (Wark y Warner, 1990). Estos modelos permiten representar condiciones meteorológicas homogéneas y heterogéneas.

Los modelos lagrangianos, por otro lado, son de estado no estacionario y asumen que las condiciones de entrada del modelo están cambiando en el dominio del modelo y en su paso del tiempo. Los modelos lagrangianos también se pueden utilizar para determinar los impactos de campo cercano y lejano a partir de un número limitado de fuentes.

Tradicionalmente, los modelos lagrangianos se han utilizado para contaminantes relativamente inertes, con consideraciones de eliminación un poco más complejas que los modelos gaussianos. Algunos modelos lagrangianos tratan la química de partículas y gases en la columna. Sin embargo, estos modelos requieren campos de concentración de oxidantes variables en el tiempo y el espacio y, en el caso de partículas finas ($PM_{2,5}$), agentes neutralizantes, como el amoníaco.

Los campos de fondo confiables son críticos para aplicaciones que involucran la formación de contaminantes secundarios porque los impactos secundarios generalmente ocurren cuando los precursores en la pluma se mezclan y reaccionan con especies en la atmósfera de fondo.

Estos agentes oxidantes y neutralizantes no se miden de forma rutinaria, pero se pueden generar con un modelo de cuadrícula fotoquímica tridimensional.

- **Modelo lagrangiano recomendado: Austal**

Este modelo simula la dispersión de contaminantes atmosféricos mediante un proceso de caminata aleatoria (modelo de simulación lagrangiano) y posee algoritmos que consideran los efectos de terrenos complejos, la nubosidad y las reacciones químicas de primer orden.

- **Modelos del tipo *puff***

Los modelos tipo *puff* son una combinación entre los modelos gaussianos y los modelos lagrangianos: esencialmente calculan la dispersión de contaminantes provenientes de una emisión instantánea llamada “*puff*” a lo largo de una trayectoria. En este tipo de modelos las emisiones experimentan procesos de transformación química al mismo tiempo que se desplazan a través de un campo meteorológico tridimensional.

- **Modelo del tipo *puff* recomendado: *Calpuff***

El modelo *puff* de California (*Calpuff*, por sus siglas en inglés) contiene algoritmos para simular los efectos del terreno sobre los procesos de dispersión y remoción de los contaminantes. Las características del modelo permiten tratar al mismo tiempo a las fuentes puntuales y al área en dominios de modelado que varían desde metros a cientos de kilómetros. Este modelo también permite estimar las concentraciones de los contaminantes con resoluciones temporales que varían de una hora a un año promedio.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Formulación de hipótesis

Para el este estudio se ha planteado la siguiente hipótesis:

Hipótesis general:

Es posible determinar distancias mínimas de quema de caña de azúcar, haciendo uso del *software* AERMOD de la EPA para los parámetros PM_{10} y $PM_{2,5}$ en aire, en los distritos de La Huaca y La Rinconada, provincia de Paita, departamento de Piura.

Hipótesis específica:

Para hacer uso eficiente del *software* AERMOD en la determinación de distancias mínimas de quema, respecto a la dispersión de material particulado en el aire, es imprescindible primero validar el modelo a usar respecto a los datos de monitoreo obtenidos en campo. En este sentido, se plantea como hipótesis específica a demostrar que no existen diferencias significativas entre los valores encontrados en campo y los valores modelados mediante el uso del *software* AERMOD.

Para eso, se plantea lo siguiente:

H_0 = La concentración de los parámetros PM_{10} y $PM_{2,5}$ en aire registrados en campo difieren de las concentraciones modeladas obtenidas a través del uso del *software* AERMOD.

H_1 = La concentración de los parámetros PM_{10} y $PM_{2,5}$ en aire observados en campo no difieren de las concentraciones modeladas obtenidas a través del uso del *software* AERMOD.

B151-080
CUARTELES : B151-090

COORDENADAS
NORTE : 503663
ESTE : 9452650
ZONA : 13M
ALTITUD : 94 msnm

FECHA : 08/11/18
HORA : 2:17



The background image shows a construction site under a clear blue sky. In the foreground, there is a dirt road with visible tire tracks. To the left, a large piece of heavy machinery, possibly a bulldozer or excavator, is partially visible. In the middle ground, there are large mounds of earth or construction material. In the distance, some industrial structures or cranes are visible against the horizon.

III. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

3.1 Diseño metodológico

La metodología de trabajo del proyecto es experimental y consiste en monitoreos ambientales a través de estaciones meteorológicas. Estos monitoreos permiten realizar el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos elaborado por Senamhi mediante el uso de Aermod. Además, ayudan a determinar si hay diferencias respecto a las distancias mínimas de quema de caña entre lo determinado por el administrado Agroaurora S.A.C. y el DEAM del OEFA mediante el uso del *software* Screen3.

3.2 Diseño muestral

Para el cumplimiento de los tres objetivos planteados en el presente proyecto, se ha seguido el siguiente esquema de trabajo:

3.2.1 Respecto a la determinación de concentraciones modeladas haciendo uso del *software* Aermod

Para la determinación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$, el Senamhi hizo uso del *software* Aermod. De manera genérica realizó los siguientes pasos⁵:

- **Recopilación de datos modelados mediante el *software* Aermod**

La recolección de la data modelada se obtuvo del informe elaborado por el Senamhi. Los valores obtenidos se pueden ver en el anexo B.

5 Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora S.A.C. de fecha 4 de marzo del 2019.

A continuación, se describe la metodología empleada por el Senamhi para la generación de las concentraciones modeladas haciendo uso del *software* Aermod.

- **Modelamiento de contaminantes atmosféricos**

Para el modelamiento, el Senamhi empleó el *software* Aermod, el cual es un modelo gaussiano de pluma en estado estacionario que simula la dispersión de los contaminantes en el aire y su deposición. Realiza sus cálculos tomando en cuenta las características del terreno y la presencia de edificios cercanos a la fuente de emisión, los cuales pueden afectar la dispersión de la pluma.

Este *software* fue desarrollado por la EPA. En cuanto a las emisiones que trabaja el modelo pueden ser constantes o variables con el tiempo y provenir de diferentes tipos de fuentes: lineal, área, volumen, puntual, entre otras (Sánchez, 2016, p. 18).

- **Preprocesamiento con Aermet**

La información meteorológica para procesar proviene de las estaciones meteorológicas instaladas en campo durante las evaluaciones ambientales realizadas por el OEFA su información contiene datos de temperatura, humedad relativa, dirección del viento, velocidad de vientos y nubosidad.

Dado que las parcelas de caña fueron quemadas en diferentes fechas, para el modelamiento del 5 al 13 de noviembre del 2018, se utilizó información meteorológica de la estación ubicada en el centro poblado Sojo (SOJ-CA-07), mientras que para el 14 de noviembre se utilizó la información de la estación ubicada en el centro poblado Jibito (JIB-CA-05). Este criterio de tomar información de diferentes estaciones meteorológicas se relaciona con las cercanías y la representatividad de las zonas de quema (cuarteles).

Además, se descargó información de la página del Ogimet (datos de superficie) del Aeródromo de Piura y para la cobertura nubosa se utilizaron imágenes del satélite GOES 16.

Para el perfil vertical de la atmósfera, se descargó información de radio sondeo de la plataforma NOAA/ESRL (perfil vertical de la atmósfera) y también se usó las salidas del modelo meteorológico Weather Research Forecasting (WRF)⁶.

Una vez recopilada la información de superficie y altura, se aplicó una limpieza de datos, control de calidad y validación con el objetivo de usarla en la siguiente fase de minería de datos (García, 2015).

Después de la aplicación para la fase de preprocesamiento, el conjunto de datos resultante puede ser visto como una fuente consistente y adecuada para el ingreso a las etapas posteriores del modelamiento.

Con el preprocesador Aermet se pudo adecuar la información meteorológica obtenida al formato aceptado por los modelos de dispersión. Esta adecuación se divide en dos etapas:

1. Procesamiento de datos meteorológicos recolectados por las estaciones meteorológicas del OEFA: Se procesaron datos de temperatura, humedad relativa, vientos y nubosidad. A esta información se le sumó la data recolectada del Aeropuerto de Piura, la cual consistió en mensajes Metar y Synop. Para el caso de las nubes, se hizo un análisis de las imágenes con composición de bandas de

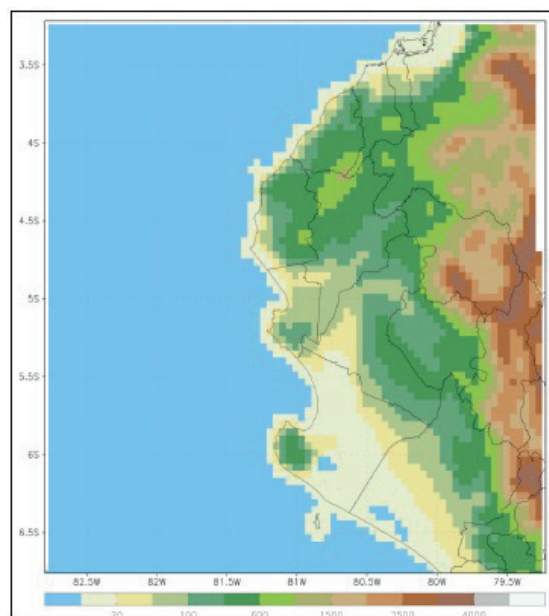
⁶ Sistema de cálculo numérico para simulación atmosférica (NWP) diseñado para satisfacer las necesidades tanto de investigación como de predicción atmosféricas.

color verdadero del satélite GOES 16. Para eso, se ajustó los periodos de tiempo de horas universales (GMT) a hora local, la localización exacta de la estación meteorológica y la altura de la base del anemómetro. Toda esta información permitió el ensamblado del archivo de formato Samsom, el cual ingresó al modelo Aermet. Luego de su procesamiento, se generó el archivo de formato Surface.

2. Procesamiento de los datos meteorológicos del perfil vertical de la atmósfera: Consistió en extraer información a diferentes alturas del modelo regional Weather Research and Forecasting (WRF), el cual trabajó para un dominio de 50 x 50 km centrado sobre la región de estudio. Se ubicó una región sobre la provincia de Paita donde se encuentra la empresa Agroaurora S.A.C. y luego se generaron salidas con una resolución espacial de 5 km. Asimismo, con respecto a la resolución temporal, se generaron salidas horarias (cada una hora) para todo el periodo en el que se realizaron los monitoreos de contaminantes del aire (del 5 de noviembre y al 14 de noviembre del 2018). Asimismo, con información descargada de la página de radio sondajes de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, [NOAA]), se pudo corroborar y validar las salidas del modelo WRF.

De esta manera, se obtuvieron los datos para generar los archivos en formato FSL, que ingresaron al modelo Aermet, luego de su procesamiento se generó el archivo de formato Profile.

Figura 1. Topografía [m] sobre el área de estudio obtenida con el modelo WRF

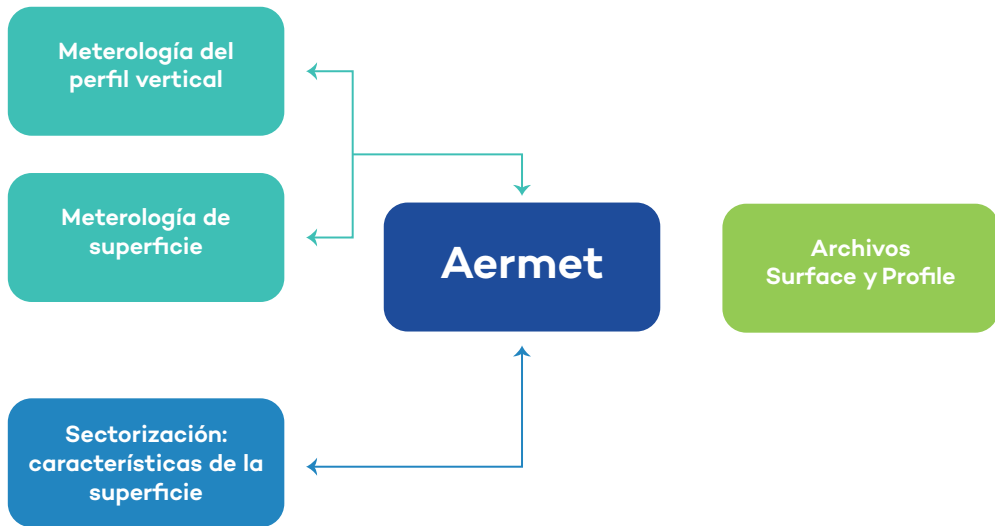


Nota: Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC.* Senamhi.

- **Preprocesamiento con Aersurface**

La información de superficie fue obtenida del satélite LandSat 8 con una resolución espacial de hasta quince metros y con once bandas espectrales (resolución espectral). Con esa información se procedió a determinar los usos de suelo de la zona bajo estudio para asignar sectores. Posteriormente, se usaron los valores preestablecidos de albedo, rugosidad y la razón de Bowen para cada sector dependiendo de la estación del año.

Figura 2. Diagrama de flujo del Aermet



Nota: Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC*. Senamhi.

- **Procesamiento con Terrain**

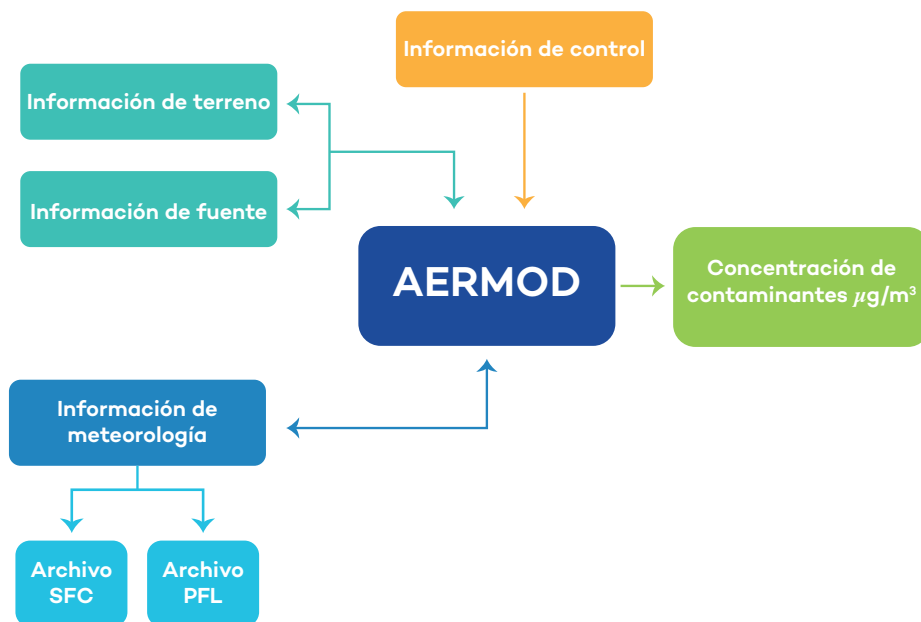
La información de altitudes (m s. n. m.) en toda el área de modelamiento fue obtenida de modelos de elevación digital (DEM) tipo STRM3/SRTM1. Para ello, se accedió al portal WebGis⁷ y se descargó el archivo (DEM) S13W077.hgt con Datum WGS84 y una resolución espacial de 90 m.

- **Procesamiento con Aermod**

Finalmente, con toda la información recolectada en las etapas anteriores, se procedió a realizar la corrida del modelo Aermod. A continuación, se presenta un flujograma del proceso:

7 Se puede acceder al portal web mediante el siguiente enlace: <https://www.usgs.gov/>

Figura 3. Diagrama de flujo de Aermod



Nota: Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC*. Senamhi.

3.2.2 Respecto a la validación de datos de concentración de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ obtenidos mediante el uso del software Aermod y lo recogido en campo

Para demostrar que se puede hacer uso del software Aermod para la determinación de distancias mínimas de quema de caña de azúcar, es necesario hacer una validación del modelo utilizado por Senamhi, es decir, demostrar que no hay diferencias significativas entre los valores observados en campo (datos de concentración obtenidos por el OEFA a través de las estaciones de monitoreo) y los datos de concentración obtenidos a través del modelo de dispersión (teórico) para PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$.

3.2.3 Respecto a la distancia obtenida por el administrador Agroaurora en su EIA-sd utilizando el software Screen3

El modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos utilizado por Agroaurora S.A.C. según su EIA-sd⁸ fue el Screen3. Este modelo de dispersión de tipo gaussiano entrega resultados de dispersión atmosférica, tales como la máxima concentración, la altura de pluma y los parámetros de dispersión verticales y laterales, frente a distintas posibilidades de escenarios como cercanía al mar, distintas estabilidades atmosféricas o terrenos complejos, etc.

Los datos de entrada que alimentan al *software* son la altura de la chimenea, la tasa de emisión del contaminante, las condiciones meteorológicas, la topografía del terreno, las concentraciones basales, entre otros. Por otro lado, los resultados esperados son los niveles del contaminante a una determinada distancia de la fuente o las tasas de deposición del contaminante sobre el terreno.

Cabe destacar que los modelos gaussianos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión y acierto es, en general, decreciente en tanto se aplican en localidades con relieve complejo y caracterizadas por circulaciones atmosféricas complejas. Al respecto la zona evaluada posee un relieve simple.

Este modelo describe, a través de una fórmula simple, el campo tridimensional de concentraciones generado por una fuente puntual en condiciones meteorológicas y de emisión estacionarias.

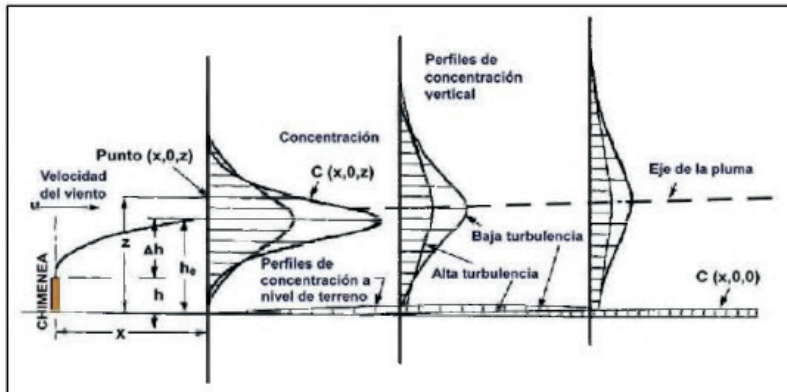
De acuerdo con Cabrera (2012), a medida que una pluma de contaminantes progresa en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración por mezcla

8 Estudio de impacto ambiental semidetallado del proyecto agroindustrial: “Cultivos de Caña de Azúcar y elaboración de Azúcar”, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 037-2017-PRODUCE/DVMYPEI/DIGGAM, el 19 de enero de 2017.

turbulenta adquiere una distribución gaussiana. Si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará una pluma en forma de cono. La concentración en la línea central de la pluma será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo.

A medida que la distancia viento abajo aumenta, los extremos de la pluma pueden impactar sobre el terreno, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 4. Progresión de la pluma en base a la turbulencia y parámetros de dispersión



Nota: Tomada de Cabrera, J. (2012). *Aplicación de un modelo de dispersión atmosférica* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica De Valparaíso]. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3110_01.pdf

La concentración de un contaminante en cualquier punto es tal que:

$$C(x,y,z) \propto \frac{1}{U} QGV \text{std}$$

Donde:

U = Rapidez del viento

Q = Tasa de emisión

G = Curva de Gauss normalizada en el plano. Esto es el plano perpendicular a la dirección del viento, x.

3.2.4 Técnicas de recolección de datos

3.2.4.1 Recopilación de datos *in situ* de la calidad del aire y meteorología

El OEFA instaló seis puntos de monitoreo, donde se realizaron mediciones de partículas y gases. En tres de ellos se instalaron estaciones meteorológicas para la medición de temperatura, la humedad relativa y los vientos. Para el caso de la nubosidad, se recolectó la información en campo sobre el tipo de cobertura observada a diferentes horarios.

Sin embargo, para fines de este estudio se trabajó solo con dos estaciones de monitoreo de calidad de aire: La Huaca y La Rinconada. Los códigos, coordenadas, altitud y descripción de los puntos de monitoreo son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Puntos de monitoreo de la calidad del aire

N.º	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		WGS84 - zona 17K ⁽ⁱⁱ⁾			
		Este (m)	Norte		
1	RIN-CA-01 ⁽ⁱⁱ⁾	(m)	9 457 426	98	Centro poblado Rinconada, distrito de El Arenal, provincia de Paíta
2	HUA-CA-10 ⁽ⁱⁱ⁾	504 391	9 456 763	24	Centro poblado La Huaca, distrito de la Huaca, provincia de Paíta

Nota: (i) Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEM). OEFA. (ii) Puntos de monitoreo que tuvieron una estación meteorológica.

Además, los resultados de los monitoreos relacionados con los centros poblados La Huaca y La Rinconada, motivo de este estudio, son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4. Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) registrada en los puntos de monitoreo del OEFA

FECHA	PM_{10}		$\text{PM}_{2.5}$	
	RINCONADA	HUACA	RINCONADA	HUACA
05/11/2018	28	33	6	10
06/11/2018	25	33	6	11
07/11/2018	24	41	5	10
08/11/2018	21	41	7	13
09/11/2018	20	34	5	10
10/11/2018	22	42	-	7
11/11/2018	20	24	6	11
12/11/2018	29	50	7	10
13/11/2018	30	33	9	9
14/11/2018	20	38	5	10

Nota: (i) Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

Para el monitoreo de la calidad del aire se utilizaron muestreadores de concentración masiva de partículas (marca Thermo Scientific modelo G10557) y de bajo volumen de flujo (marca BGI modelo PQ200), y estaciones meteorológicas (marca Davis modelo Vantage Pro2).

3.2.5 Técnicas estadísticas para el procesamiento de los datos

Para determinar que no existe diferencia significativa entre los valores obtenidos en campo y los valores modelados mediante el uso del *software* Aermod, para los parámetros PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, se han utilizaron los siguientes métodos estadísticos:

- i) **El coeficiente de correlación de Pearson (R):** Prueba que mide la relación estadística entre dos variables continuas. Para que las variables a analizar (concentraciones observadas *versus* concentraciones modeladas) se encuentren representadas adecuadamente, es necesario que el valor de correlación sea positivo, es decir, ambas variables deben aumentar o

disminuir al mismo tiempo.

ii) El cálculo de la distribución de Fisher (F): La estadística F es simplemente un cociente de dos varianzas. Las varianzas son una medida de dispersión, es decir, qué tan dispersos están los datos con respecto a la media.

iii) El cálculo de p-value: Si el valor p es menor que 0,05, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, lo que significa que no existe diferencia significativa entre lo encontrado en campo *versus* lo modelado.



IV. RESULTADOS



Tomando como referencia el informe elaborado por la DEAM⁹, a continuación, se presentan los resultados de monitoreo obtenidos en la evaluación ambiental de la calidad del aire realizada entre octubre y noviembre del 2018. Esta información que servirá como insumo para alimentar a Aermod y obtener las concentraciones modeladas. Además se utilizará para verificar la distancia obtenida por el administrado usando el *software* Screen3.

4.1 Calidad de aire

En la tabla 5, se muestra el resumen de los resultados de los parámetros meteorológicos de temperatura, presión, humedad relativa y velocidad del viento, obtenidos por un intervalo de una hora durante el periodo de evaluación.

Tabla 5. Resumen de parámetros meteorológicos de los puntos de monitoreo

Punto de monitoreo	Parámetro meteorológico	Media \pm SE	Desviación estándar	Rango	Periodo
HUA-CA-10	Temperatura (°C)	23,33 \pm 0,20	3,29	18,9-31,7	Del 4 al 16 de noviembre del 2018
	Presión (milibar)	1012,32 \pm 0,07	1,24	1009,3-1015,5	
	Humedad relativa (%)	73,1 \pm 0,58	9,80	49-87	
	Velocidad del viento (m/s)	1,97 \pm 0,06	0,95	0-4,5	
RIN-CA-10	Temperatura (°C)	21,53 \pm 0,12	2,91	17,7-31,1	Del 27 de octubre al 16 de noviembre del 2018
	Presión (milibar)	1003,28 \pm 0,07	1,72	998-1006,4	
	Humedad relativa (%)	72,48 \pm 0,37	9,06	45-85	
	Velocidad del viento (m/s)	2,16 \pm 0,06	1,44	0-5,8	

Nota: (i) Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

⁹ Evaluación Ambiental en el área de influencia de la empresa Agroaurora S.A.C. (2018).

Se aprecia en la tabla 5 que en el punto de monitoreo HUA-CA-10, ubicado en el centro poblado La Huaca, la temperatura osciló entre 18,9 °C y 31,7 °C; la presión, entre 1009,3 y 1015,5 milibar; la humedad relativa, entre 49 % y 87 %; y la velocidad de viento entre 0 m/s y 4,5 m/s.

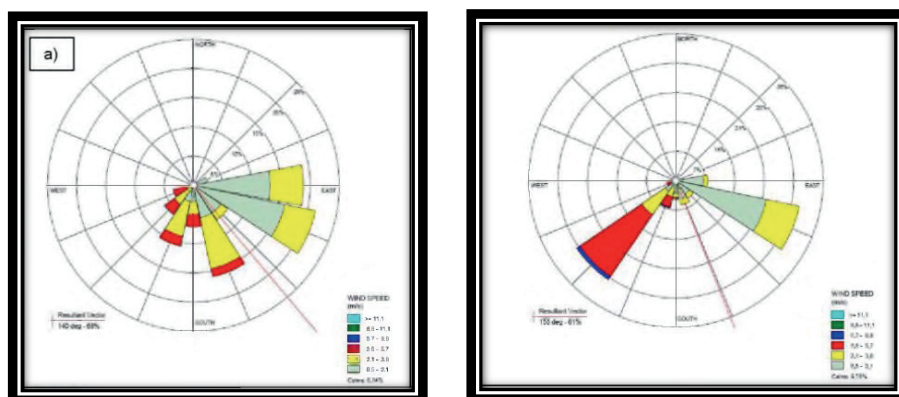
Para el punto de monitoreo RIN-CA-01 (ubicado en el centro poblado Nueva Rinconada), la temperatura osciló entre 17,7 y 31,1 °C; la presión entre 998 y 1006,4 milibar; la humedad relativa entre 45% y 85%; y la velocidad de viento entre 0 y 5,8 m/s.

4.2 Meteorología

Los valores de la dirección del viento son representados en un diagrama polar denominado rosa de vientos, en el cual cada “pétalo” o barra representa la dirección del viento y se sitúa en un ángulo determinado con una resolución de 22,5°. Además, los segmentos de colores representan la frecuencia de intervalos de velocidad del viento (ver figura 5).

En la figura 5, se observa que el punto de monitoreo HUA-CA-10, ubicado en el centro poblado La Huaca (distrito La Huaca), presentó una mayor frecuencia de ocurrencia de vientos provenientes del sureste (SE), seguido de vientos del sur (S), y en el punto RIN-CA-01, ubicado en el centro poblado Rinconada del distrito El Arenal, la dirección del viento que presentó mayor ocurrencia proviene del suroeste (SW) y en menor medida está seguida por vientos del sureste (SE).

Figura 5. Rosa de viento en el punto HUA-CA-10 y RIN-CA-01



Nota: (i) Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC. Senamhi. (ii) El gráfico a) pertenece a HUA-CA-10 y el b), a RIN-CA-01.

4.3 Relación entre días de quema controlada de caña azúcar y parámetros meteorológicos

En la tabla 6 se muestran los cuarteles y las áreas que fueron cosechados por la quema controlada de caña de azúcar dentro del periodo de la evaluación ambiental de calidad de aire.

Tabla 6. Identificación y área de los cuarteles cosechados por quema controlada de caña de azúcar

Cuarteles (ii)	Distrito	Área (ha)	Fecha de quema
B151-160	La Huaca	10,17	28/10/2018
B151-170	La Huaca	10,22	
B164-110	La Huaca	8,54	29/10/2018
B164-120	La Huaca	8,54	
B164-130	La Huaca	8,50	30/10/2018
B164-140	La Huaca	8,50	
B152-070	La Huaca	10,17	5/11/2018
B152-080	La Huaca	10,22	

B152-090	La Huaca	10,45	6/11/2018
B152-100	La Huaca	10,22	
B152-110	La Huaca	10,45	7/11/2018
B152-120	La Huaca	10,22	
B151-080	La Huaca	10,40	8/11/2018
B151-090	La Huaca	10,40	
B151-100	La Huaca	10,45	9/11/2018
B151-110	La Huaca	10,45	
B152-130	La Huaca	10,17	10/11/2018
B152-140	La Huaca	10,22	
B152-030	La Huaca	10,45	11/11/2018
B152-040	La Huaca	10,45	
B152-050	La Huaca	10,4	12/11/2018
B152-060	La Huaca	10,4	
B151-010	La Huaca	9,10	13/11/2018
B151-020	La Huaca	9,66	
B114-010	Miguel Checa	2,90	14/11/2018
B114-020	Miguel Checa	10,38	

Nota: (i) Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STECC). OEFA. (ii) Puntos de monitoreo que tuvieron una estación meteorológica.

Se observa que la quema controlada de caña de azúcar se realizó en trece días. En doce días se quemó caña en los cuarteles ubicados en el distrito La Huaca, entre 17 y 20,9 ha/día mientras que solo en un día fueron cosechados los cuarteles ubicados en el distrito de Miguel Checa (13,26 ha/día). El promedio diario de cosecha por quema controlada de caña de azúcar fue 19,41 ha/día.

En la tabla 7 se muestran las características meteorológicas que se presentaron durante el periodo de evaluación, en relación con las primeras horas del día (entre las 00:00 y 06:00 horas), debido a que el horario de quema que presentó Agroaurora en su EIA del 2017 fue de 00:00 a 04:00 horas. Las rosas de viento generadas para las primeras seis horas del día y en cada día se encuentran en el anexo A.

Tabla 7. Parámetros meteorológicos registrados en el periodo de evaluación en relación con el horario de cosecha por quema controlada de caña de azúcar (0-6 horas)

Días	¿Hubo quema?	Distrito donde se cosechó caña de azúcar	E.M. La Huaca HUA-CA-10 (periodo 0-6 h)			E.M. La Rinconada RIN-CA-10 (periodo 0-6 h)		
			Dirección predominante del viento	Velocidad (m/s)	Frecuencia (%)	Dirección predominante del viento	Velocidad (m/s)	Frecuencia (%)
28/10/2018	Sí	La Huaca	No se registraron datos.			ESE	0,5 – 2,1	50
							Calma	50
29/10/2018	Sí	La Huaca	No se registraron datos.			SW	Calma	83,3
							0,5 – 2,1	16,7
31/10/2018	Sí	La Huaca	No se registraron datos.			ESE	Calma	83,3
							0,5-2,1	16,7
1/11/2018	No	-	No se registraron datos.			ESE	0,5-2,1	100
							-	-
2/11/2018	No	-	No se registraron datos.			ESE	0,5 - 2,1	66,7
							Calma	33,3
4/11/2018	No	-	No se registraron datos.			SE	0,5-2,1	83,3
							Calma	16,7
5/11/2018	Sí	La Huaca	E	0,5-2,1	83,3	ESE	0,5-2,1	66,7
				2,1-3,5	18,7		Calma	33,3
6/11/2018	Sí	La Huaca	ESE	0,5-2,1	16,7	ESE	0,5-2,1	66,7
				2,1-3,5	83,3		Calma	33,3
7/11/2018	Sí	La Huaca	SE	0,5-2,1	100	SE	0,5-2,1	66,7
				-	-		Calma	33,3
8/11/2018	Sí	La Huaca	ESE	Calma	83,3	S	0,5-2,1	66,7
				0,5-2,1	16,7		Calma	33,3
9/11/2018	Sí	La Huaca	E	Calma	16,7	ESE	0,5-2,1	66,7
				0,5-2,1	83,3		Calma	33,3
10/11/2018	Sí	La Huaca	E	Calma	33,3	ESE	0,5-2,1	66,7
				0,5-2,1	66,7		Calma	33,3
11/11/2018	Sí	La Huaca	E	0,5-2,1	100	ESE	0,5-2,1	83,3
				-	-		Calma	16,7
12/11/2018	Sí	La Huaca	E	Calma	50	ESE	Calma	83,3
				0,5-2,1	50		2,1-3,6	16,7

13/11/2018	Sí	La Huaca	ESE	0,5-2,1	66,7	ESE	2,1-3,6	83,3
				2,1-3,5	33,3		0,5-2,1	16,7
14/11/2018	Sí	Miguel Checa	ESE	0,5-2,1	100	ESE	2,1-2,6	83,3
				-	-		0,5-2,1	16,7
15/11/2018	No	-	ESE	0,5-2,1	100	ESE	Calma	100
				-	-		-	-
16/11/2018	No	-	ESE	0,5-2,1	83,3	SE	0,5-2,1	80
				Calma	33,3		2,1-3,6	20

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019. (Informe N° 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

Como se mencionó, dentro de los veinte días de evaluación de calidad de aire, Agroaurora cosechó caña de azúcar por quema controlada en trece días: doce días en los cuarteles de cultivo del distrito de La Huaca y un día en los cuarteles del distrito de Miguel Checa.

Respecto a las dos estaciones meteorológicas instaladas en La Huaca y La Rinconada, se debe precisar que la estación ubicada en La Rinconada se instaló el 27 de octubre del 2018 y la otra estación, el 4 de noviembre del 2018. Asimismo, es preciso indicar lo siguiente:

- **En el punto HUA-CA-10** se registraron parámetros meteorológicos entre las 00:00 y 06:00 horas, en diez días de quema controlada de caña de azúcar. Las direcciones predominantes fueron E, ESE y SE mientras que la distribución relativa de las velocidades fue 0,5-2,1 m/s (68,34 %), calma (18,33 %), y 2,1-3,6 m/s (13,33 %).
- **En el punto RIN-CA-01** se registraron parámetros meteorológicos entre las 00:00 a 06:00 horas, en trece días de quema controlada de caña de azúcar. Las direcciones predominantes fueron ESE, S, SE y SW mientras que la distribución relativa de las velocidades fue 0,5-2,1 m/s (46,16 %), calma (28,2 %) y 2,1-3,6 m/s (25,63 %).

4.4 Concentraciones de material particulado

En la tabla 8 se presentan los resultados de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ en los dos puntos de monitoreo de calidad de aire (HUA-CA-10 y RIN-CA-01), durante el periodo de monitoreo comprendido entre el 27 de octubre y el 15 de noviembre del 2018.

Tabla 8. Resultados de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$

Punto de monitoreo	Parámetro	Media \pm SE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desviación estándar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rango ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
HUA-CA-10	PM_{10}	38,21 \pm 1,63	7,31	24-54
	$PM_{2,5}$	10,45 \pm 0,42	1,87	7-14
RIN-CA-01	PM_{10}	27,83 \pm 1,28	5,74	20-38
	$PM_{2,5}$	7,17 \pm 0,48	2,6	4-13

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

Se observa que los valores del parámetro PM_{10} en el punto de monitoreo HUA-CA-10 (ubicado en centro poblado La Huaca), durante los días del monitoreo, no superaron lo establecido en los ECA para aire (Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM = 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), se presentaron valores entre 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio del PM_{10} de 38,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, la concentración del parámetro $PM_{2,5}$ en el mismo punto estuvo entre 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio de 10,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, este no supero lo establecido en los ECA para aire (Decreto Supremo N.º 003-2008-Minam = 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Asimismo, la concentración del parámetro PM_{10} en el punto de monitoreo RIN-CA-01 (ubicado en centro poblado Nueva Rinconada), durante los días del monitoreo, no superó lo establecido en los ECA para aire (D.S. N.º 074-2001-PCM = 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pues presentó valores entre 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio del PM_{10} de 27,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que la concentración del parámetro $PM_{2,5}$ en el mismo punto estuvo entre 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con

un promedio de 7,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, este no superó lo establecido en los ECA para aire (Decreto Supremo N.º 003-2008-Minam = 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

4.5 Determinación de distancias mínimas de quema realizadas por Senamhi haciendo uso del software Aermod

El informe elaborado por el Senamhi indica que los contaminantes que más se observan en la quema de la caña de azúcar son ceniza volante, humo, partículas. Las actividades de cosecha de la caña de azúcar que generan impactos negativos al ambiente son las quemas controladas. Las cañas-plantas (primer corte) son cosechadas a una edad de dieciséis meses (rendimiento = 130 t/ha) y las cañas-socas (edad mayor a dos años) a los catorce meses (rendimiento = 156 t/ha). El primer año la empresa se planteó cosechas de 6 375 ha/año; por otro lado, el 75 % de la cosecha se proyecta para cuando se logre implementar la totalidad del área a cultivar (10 000 ha) con una tasa de cosecha diaria de 19,31 ha/día (Senamhi, 2019, p. 7).

Para las labores de cosecha, se realiza la siguiente secuencia: quema, corte, arrume, carguío y transporte (Agrobanco, 2011).

En la cosecha mecanizada, previa a la quema controlada, una cosechadora podría cortar hasta 50 t/h (generalmente, se cosecha de 35 a 40 t/h). Esto depende de la densidad de la plantación, el tamaño de la caña y la topografía del suelo. Normalmente las velocidades de cosecha se encuentran de 2,5 a 4,5 km/h. El terreno debe ser apto para el paso de maquinaria y el cañal debe estar sembrado a 1,9 metros entre surcos.

4.5.1 Fuentes de emisión

Las fuentes de emisión son aquellas áreas (cuarteles) donde se realizan las quemas controladas, las cuales están distribuidas sobre la explanada de la empresa Agroaurora S.A.C. Los cuarteles han sido quemados de manera alterna durante los días de

monitoreo de contaminantes realizados por el OEFA. Los códigos de los cuarteles, el área y la fecha de quema son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Cuarteles de quema de la empresa Agroaurora S.A.C.

Código	Área (ha)	Fecha de quema
B152-070	20,39	05/11/2018
B152-080		
B152-090	20,67	06/11/2018
B152-100		
B152-110	20,67	07/11/2018
B152-120		
B151-080	20,80	08/11/2018
B151-090		
B151-100	20,90	09/11/2018
B151-110		
B152-130	20,39	10/11/2018
B152-140		
B152-030	20,90	11/11/2018
B152-040		
B152-050	20,80	12/11/2018
B152-060		
B151-010	18,67	13/11/2018
B151-020		
B114-010	13,26	14/11/2018
B114-020		

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019. (Informe N° 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

4.5.2 Factores de emisión

Los factores de emisión se han obtenido de diferentes fuentes de información, las cuales permiten realizar los posteriores cálculos para las entradas del modelo Aermod.

Los factores de emisión para cada contaminante, así como las fuentes de información, son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 10. Factores de emisión de contaminantes por la quema de caña de azúcar (g/kg)

Detalles	PM ₁₀	PM _{2,5}
Factor de emisión (g/kg)	1,81	1,19
Fuente de información	Ineccuam, 2016 ⁽ⁱⁱ⁾	Ineccuam, 2016 ⁽ⁱⁱ⁾

Nota: (i) Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC*. Senamhi. (ii) Ineccuam es el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de la Universidad Autónoma de México.

4.5.3 Cálculos de tasas de emisión

Al no encontrarse información sobre la cantidad de biomasa de quema de caña de azúcar por parte de la empresa, se utilizó información conceptual encontrada en investigaciones sobre este cultivo para la determinación de la tasa de emisión; por ejemplo, el estudio “Acciones apropiadas para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero”, elaborado por Riegelhaupt et al. (2012).

En el estudio de Senamhi (2019) se consideraron varias fuentes de información para estimar las tasas de emisión de contaminantes generados en la quema de caña (INECC-UAM, 2016, AP-42, IPCC). Con la finalidad de realizar un correcto cálculo para las tasas de emisión del PM₁₀ y PM_{2,5}, se utilizaron factores de emisión de la guía de AP-42 e investigaciones citadas anteriormente.

La ecuación utilizada para estimar las “tasas de emisión” fue obtenida de la “Guía de AP-42 de incendios forestales y quemas prescritas”, donde la emisión es el producto del factor de emisión y la cantidad del área quemada, siendo el factor de emisión igual al rendimiento para el contaminante (masa del contaminante sobre la unidad de masa de combustible forestal consumida)

multiplicado por la carga de combustible consumido (masa de combustible forestal sobre unidad de área de tierra quemada).

Cabe resaltar que aún existen grandes incertidumbres para el cálculo de emisiones, pero es posible utilizar resultados de investigaciones exitosas para calcularlas, como la investigación de Akagi et al. (2011) donde se identificaron catorce tipos de quema de biomasa.

Como se ha considerado las quemas prescritas como una fuente de área, según lo mencionado en el documento “Introduction to Area Source Emission Inventory Development”, elaborado por Eastern Research Group (ERG. 2001) y el modelo utilizado fue Aermol, se necesitó como *input* la tasa de emisión en las unidades de $g/(sxm^2)$, por lo que se dividió las emisiones por el tiempo aproximado de quema.

Para el cálculo de las tasas de emisión, se distribuyó de forma equitativa las emisiones a lo largo del día: la cantidad total del contaminante emitido se dividió entre veinticuatro horas, por lo que se obtuvo de esta manera que al cabo de un día se tenga la misma cantidad que si la quema solo durase seis horas. En otras palabras, la cantidad total de contaminantes es el mismo, así se haya asumido que este se distribuye en veinticuatro horas o si la quema durara seis horas.

Ejemplo:

- Si la cantidad total estimada de PM_{10} es 48 toneladas (t) y este es emitido en 24 horas, la ratio de emisión (g/s) es 2 t/h.
- Si la cantidad total estimada de PM_{10} es 48 t y este solo se emite en 6 horas del día, la ratio de emisión (g/s) es de 8 t/h para este rango de 6 horas y el resto de las horas del día la ratio sería 0 t/h. Por lo tanto, al finalizar el día igual se generarían las 48 t.

De acuerdo con lo antes mencionado, Riegelhaupt et al. (2012) indica que la cantidad quemada de materia seca por hectárea es aproximadamente de 7 000 kg en precosecha y 8 000 kg en poscosecha. De esta manera, se asume que se queman 15 toneladas de materia seca (hojas, puntas y rastrojo, principalmente) por hectárea de caña quemada, considerando un rendimiento de caña de azúcar de 80 t/ha. Según esta relación para Agroaurora S.A.C. se observa que, para un rendimiento máximo de 156 t/ha, se tendrá la siguiente tasa de quema:

$$\text{Tasa de quema} = 156 \times 15 / 80 \text{ t/ha} = 29,25 \text{ t/ha}$$

Ahora que se conoce el área de los cuarteles de quema, se puede estimar la cantidad total en toneladas a quemar en cada cuartel:

$$\text{Cantidad para quemar (t)} = \text{tasa de quema (t/ha)} \times \text{área de quema (ha)}$$

Considerando el tiempo de un día, se pudo estimar la tasa de emisión en g/s, que precisamente es uno de los insumos que alimenta al *software* Aermod:

$$\text{Tasa de emisión (g/s)} = \text{cantidad a quemar (g)} / \text{tiempo (s)}$$

Con todos los cálculos realizados para cada contaminante y para cada cuartel de quema, se estimó la información de entrada para el modelo. Los códigos de cada cuartel y las tasas de emisión para cada uno de ellos son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 11. Tasas de emisión para cada contaminante y parcela de quema

Código	TASAS DE EMISIÓN (g/s)	
	PM ₁₀	PM _{2,5}
B152-070	12,494	8,214
B152-080	12,494	8,214
B152-090	12,666	8,327
B152-100	12,666	8,327
B152-110	12,666	8,327
B152-120	12,666	8,327
B151-080	12,745	8,380
B151-090	12,745	8,380
B151-100	12,807	8,420
B151-110	12,807	8,420
B152-130	12,494	8,214
B152-140	12,494	8,214
B152-030	12,807	8,420
B152-040	12,807	8,420
B152-050	12,745	8,380
B152-060	12,745	8,380
B151-010	11,440	7,521
B151-020	11,440	7,521
B114-010	8,125	5,342
B114-020	8,125	5,342

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019. (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

4.5.4 Estimación de distancias referenciales

Se tomó en consideración los valores de los estándares de calidad ambiental para aire (Decreto Supremo N.º 003-2017-Minam) para PM₁₀ (100 µg/m³) y PM_{2,5} (50 µg/m³) a fin de calcular las concentraciones referenciales. Para eso, se promediaron las concentraciones de todos los días en los que se realizaron los monitoreos en los puntos de monitoreo.

a. Límites de referencia

El límite de referencia para el modelo de dispersión en relación con el material particulado se obtiene restando al ECA respectivo el valor promedio de los niveles de concentración de material particulado, obtenidos del monitoreo ambiental de calidad de aire en los puntos de monitoreos respectivos, realizado entre el 5 y 14 de noviembre del 2018.

Límite de referencia = ECA – concentración promedio monitoreo

b. Interpolación para hallar la distancia de referencia

El cálculo de la distancia de referencia se realizó a partir de las isopleas generadas por el modelamiento con Aermol y con la ayuda del ArcGis Pro V 2.1, un *software* de información geográfica que tiene herramientas que permiten trazar distancias con precisión.

Asimismo, la ecuación de interpolación para hallar las distancias de referencias en el estudio se incluye para facilitar la comprensión sobre el procedimiento del cálculo de estas distancias. En otras palabras, se añade para tener una idea de cómo estimar distancias en general, pero, con el objetivo específico de determinar las distancias de Agroaurora S.A.C., se usó el ArcGis Pro V 2.1.:

$$x = \left(\frac{D2 - D1}{C2 - C1} \right) (C2 - CR) + D1$$

Donde:

X: Distancia del límite referencial (m)

CR: Concentración de referencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C1: Concentración distancia 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C2: Concentración distancia 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

D1: Distancia 1 (m)

D2: Distancia 2 (m)

4.5.5 Estimaciones de concentraciones críticas

Según los monitoreos ambientales realizados por el OEFA, se han calculado las concentraciones de fondo que serán utilizadas para estimar las concentraciones críticas en los diversos centros poblados de interés. Las concentraciones críticas se calculan sumando las concentraciones de fondo a las concentraciones estimadas por el modelamiento de dispersión atmosférica.

$$CC = CM + CF$$

Donde:

CC = Concentración crítica

CM = Concentración de modelamiento

CF = Concentración de fondo

Teniendo en cuenta la información meteorológica¹⁰ y los resultados del monitoreo de calidad de aire obtenidos por la DEAM, el Senamhi realizó un modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos mediante el *software* Aermod¹¹.

10 Se utilizó la información recolectada por las estaciones meteorológicas utilizadas durante la evaluación ambiental realizada por la DEAM, así como la información del Aeródromo de Piura y el satélite GOES 16. La información meteorológica recolectada fue revisada, validada y homologada mediante el procesador Aermot. Por otro lado, la información de superficie fue obtenida del satélite LandSat 8 y la información de altitudes, de modelos de elevación digital (DEM) mediante la WebGis.

11 El *software* Aermod es un modelo gaussiano de pluma en estado estacionario, el cual simula la dispersión de los contaminantes en el aire y su disposición. Realiza sus cálculos tomando en cuenta las características del terreno y la presencia de interferencias cercanas a la fuente de emisión, las cuales pueden afectar la dispersión de la pluma.

Considerando la información antes detallada (los resultados del monitoreo de calidad de aire obtenidos del 27 de octubre al 15 de noviembre del 2018), la data actualizada de las actividades de quema de Agroaurora verificada por la DEAM (promedio de área quemada: 19,31 ha/día, velocidad promedio: 1,17 m/s, horario de 00:00 a 04:00 h) y la información meteorológica recabada en campo (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, nubosidad, datos superficiales, perfil vertical atmosférico y altitud de terreno), el Senamhi realizó el modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos¹² mediante el *software* Aermid de la EPA.

Durante dicho modelamiento, se permitió determinar distancias de concentraciones críticas de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2,5}$ desde las parcelas de quema hacia los centros poblados ubicados en el área de influencia de Agroaurora¹³.

En tal sentido, la distancia de las concentraciones críticas representa una distancia más allá de la que superaría el ECA para aire respectivo, por lo que las acciones de quema deben realizarse como mínimo a esa distancia.

Las distancias de concentraciones críticas determinadas a través del modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos efectuado por Senamhi se detallan en las siguientes tablas:

12 Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora S.A.C. (Piura), de fecha 4 de marzo del 2019.

13 La quema de caña de azúcar ha sido considerada como una emisión en fuente de área junto a las quemas agrícolas y forestales. (Introduction to Area Source Emission Inventory Development, Emission Inventory Improvement Program – EIIP, Environmental protection Agency – EPA, 2001. EPA)

Tabla 12. Distancia de concentraciones críticas de PM₁₀ desde zonas de quema hacia centros poblados

Distancia promedio (km) de la zona de quema al centro poblado		Día y área de quema									
		5/11/2018 20,39 ha	6/11/2018 20,67 ha	7/11/2018 20,67 ha	8/11/2018 20,8 ha	9/11/2018 20,9 ha	10/11/2018 20,39 ha	11/11/2018 20,9 ha	12/11/2018 20,8 ha	13/11/2018 18,67 ha	14/11/2018 13,26 ha
		Distancia de concentración crítica (km) PM ₁₀									
Las Arenas de Colán	7,9	5,5	4,4		5,6	5,0	3,7	5,6	0,8	3,6	
Pucusalá	3,9			2,25	10,25			4,6	0,8	3,6	
Buena-ventura	4,9			2,25	10,25			4,7	0,8		
Amotape	12,9			2,25					0,9		
La Huaca	4,7			3,8			3,6				
La Rinconada	8,6				5,9					3,6	
Nuevo Libertad	8,9				4,8						
Tamarindo	8,8				4,8						
Sojo	9,5										2,25

Nota: Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC.* Senamhi.

Tabla 13. Distancia de concentraciones críticas de PM_{2,5} desde zonas de quema hacia centros poblados

Distancia promedio (km) de la zona de quema al centro poblado		Día y área de quema									
		5/11/2018 20,39 ha	6/11/2018 20,67 ha	7/11/2018 20,67 ha	8/11/2018 20,8 ha	9/11/2018 20,9 ha	10/11/2018 20,39 ha	11/11/2018 20,9 ha	12/11/2018 20,8 ha	13/11/2018 18,67 ha	14/11/2018 13,26 ha
		Distancia de concentración crítica (km) PM _{2,5}									
Las arenas de Colán	7,9	6,25	4,4		5,4	5,0	3,7	5,6	0,8	3,4	
Pucusalá	3,9			2,25	11,0			4,6	0,8	3,4	
Buena-ventura	4,9			2,25	11,0			4,7	0,8		
Amotape	12,9			2,25					0,9		
La Huaca	4,7			4,8			3,7				
La Rinconada	8,6				5,8					3,5	
Nuevo Libertad	8,9				4,8						
Tamarindo	8,8				4,8						
Sojo	9,5										2,25

Nota: Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC.* Senamhi.

De la simulación de dispersión de contaminantes producto de la quema de los campos de cultivo del administrado, realizada el 7 y 8 de noviembre del 2018, se aprecia que la pluma de dispersión de los contaminantes PM₁₀ y PM_{2,5} tiende a predominar su dispersión hacia el distrito de La Huaca y el centro poblado Rinconada, como se aprecia en las siguientes figuras:

Figura 6. Simulación de concentración de contaminantes para el componente PM_{10} producto de la quema de caña de azúcar, correspondiente al 7 de noviembre del 2018

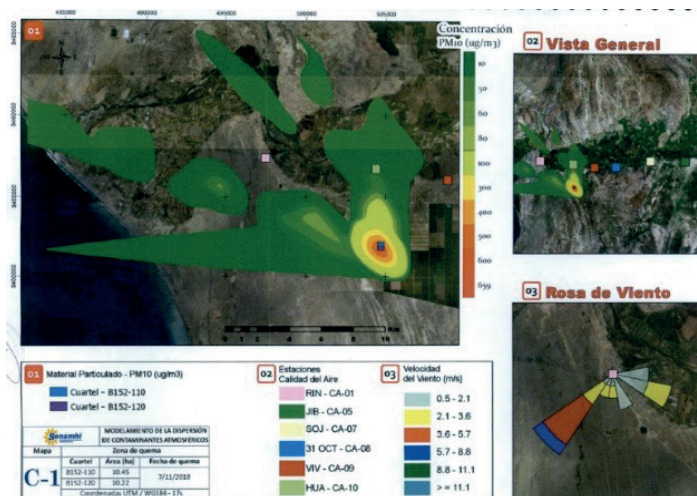
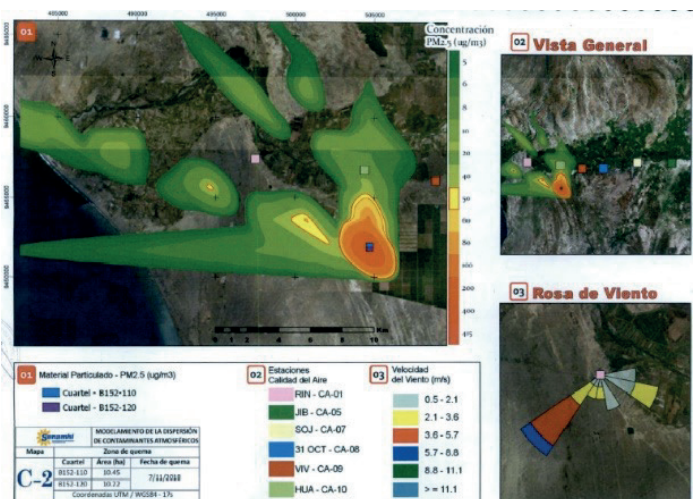


Figura 7. Simulación de concentración de contaminantes para el componente $PM_{2.5}$ producto de la quema de caña de azúcar, correspondiente al 7 de noviembre del 2018



Nota: Anexos. Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC. Senamhi.

Figura 8. Simulación de concentración de contaminantes para el componente PM_{10} producto de la quema de caña de azúcar, correspondiente al 8 de noviembre del 2018

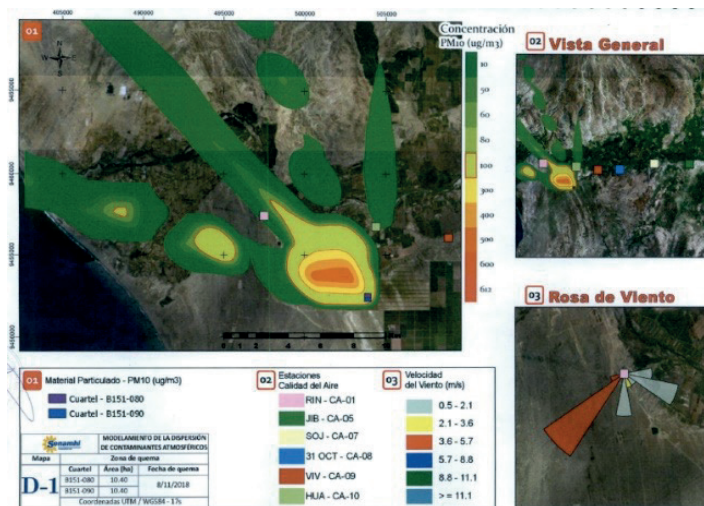
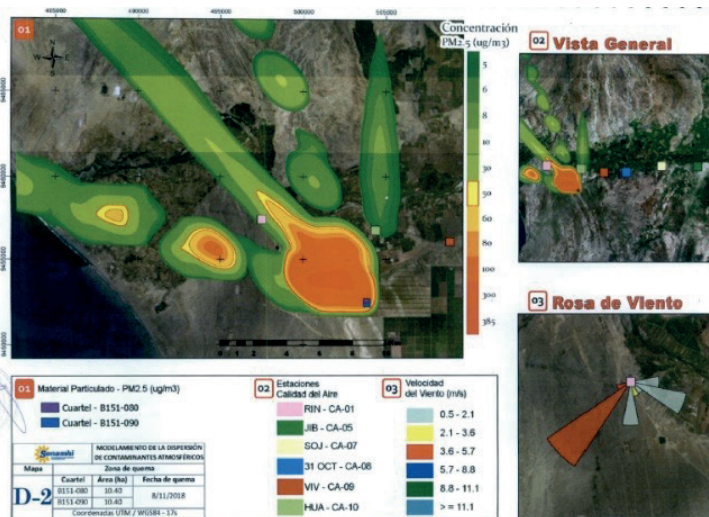


Figura 9. Simulación de concentración de contaminantes para el componente $PM_{2.5}$ producto de la quema de caña de azúcar, correspondiente al 8 de noviembre del 2018



Nota: Tomada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC. Senamhi.

Conforme a las simulaciones mostradas, se advierte que la tendencia de dispersión de los contaminantes, producto de las acciones de quema de caña de azúcar ejecutadas durante la evaluación ambiental realizada por la DEAM, es hacia el centro poblado Rinconada y el distrito de La Huaca. Por eso, dichas localidades serían las más expuestas a exceder los ECA para aire cuando se realizan actividades de quema, debido a la ubicación de las áreas de quema y a la cantidad y extensión de los campos a ser quemados, entre otros factores.

Considerando el contexto detallado anteriormente, así como el hecho de que, durante el periodo evaluado por la DEAM, las acciones de quema se dieron casi en su totalidad en cuarteles de cultivo cercanos al distrito de La Huaca, el modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos, realizado por el Senamhi mediante el *software* Aermol, únicamente pudo determinar las distancias referenciales (SENAMHI 2019) para los centros poblados La Huaca y Rinconada.

4.6 Diferencia significativa de distancias mínimas de quema de caña entre el estudio realizado por el administrado Agroaurora S.A.C. y DEAM-OEFA utilizando el *software* Screen3

Según el estudio de modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos realizado por el administrado en el 2017, Agroaurora realizó la medición del parámetro material particulado (PM_{10}) para calidad de aire en tres centros poblados durante un periodo de veinticuatro horas¹⁴ y obtuvo los siguientes resultados:

14 Sobre la base de los resultados obtenidos en el monitoreo de veinticuatro horas, Agroaurora determinó en su EIA-sd que el límite de referencia para el modelo de dispersión atmosférica en relación con PM_{10} es $123,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, considerando la siguiente operación:
Límite de referencia = valor de ECA aire – valor promedio de los niveles de concentración PM_{10}
Donde: $150 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 26,86 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 123,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 14. Resultados del monitoreo de la calidad del aire

Código	Estación de monitoreo	PM ₁₀ (µg/m ³)
CA-01	Centro Poblado Macacará	26,1
CA-02	Centro Poblado Sojo	42,03
CA-03	Centro Poblado 31 de Octubre	12,45
Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM(i)		150

Nota: (i) Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019) Se ha considerado de forma referencial el ECA para PM₁₀ establecido en el Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM, debido a que el ECA que estuvo vigente durante la evaluación y aprobación del EIA-sd no establecía valores límite para dicho parámetro.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019. (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

Para realizar dicho modelamiento, Agroaurora planteó tres escenarios, considerando los niveles del viento de la zona geográfica:

- Escenario 01: velocidad promedio del viento (1,88 m/s)
- Escenario 02: velocidad máxima del viento (2,28 m/s)
- Escenario 03: velocidad mínima del viento (1,616 m/s)

De los escenarios citados, Agroaurora seleccionó el escenario 03 (velocidad mínima del viento de 1,616 m/s) y un horario de quema de 11:00 p. m. - 02:00 a. m.¹⁵ para efectuar el modelamiento de dispersión de contaminantes mediante el *software* Screen3.

15 Los datos ingresados al modelo fueron los siguientes:

Información ingresada al modelo	
Tasa (o cantidad) de emisión (g/(s·m ²))	0,000831877
Altura de la fuente de liberación (metros)	5
Longitud del lado más largo del área rectangular (metros)	370
Longitud del lado más corto del área rectangular (metros)	270
Altura del receptor sobre el suelo (metros)	0
Opción urbana/natural (U=urbana, Rural=rural)	Rural
Opción de búsqueda de dirección del viento	No
Velocidad del viento	1,616 m/s

Considerando esto, el administrado determinó que las actividades de quema controlada no superan los ECA para aire cuando los cultivos de caña son quemados a una distancia superior a 1 562,46 m. Por consiguiente, la prohibición de quema debió restringirse únicamente a dicha área respecto a todos los centros poblados.

En mérito a ello y debido a las constantes denuncias de la población respecto a presencia de humos y cenizas en los centros poblados aledaños a las instalaciones de la empresa Agroaurora, es que la DEAM-OEFA realizó el modelamiento de dispersión de contaminantes¹⁶ para los parámetros PM_{10} y $PM_{2,5}$, utilizando el mismo *software* empleado por Agroaurora (Screen3) a fin de verificar las distancias obtenidas por el administrado en su EIA-sd del 2017.


A continuación, se detallan los resultados del modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos, teniendo en cuenta los criterios establecidos en el EIA-sd e ingresando los datos obtenidos en la evaluación.

En tabla 15 se muestra el resumen de resultados obtenidos de PM_{10} , según el *software* Screen3 en los puntos de monitoreo HUA-CA-10 y RIN-CA-01, para el periodo de evaluación.

16 Evaluación ambiental en el área de influencia de la empresa Agroaurora S.A.C. del 2018.

Tabla 15. Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando la velocidad promedio entre las 00:00 y 04:00 h, para el parámetro PM₁₀

Concentración de referencia (µg/m ³)	Datos obtenidos del Screen3, con velocidad promedio 1,167 m/s	
	Distancias (m) extraídas tomando como referencia el ECA 2017 - PM ₁₀	
	61,8	72,2
Puntos de monitoreo	HUA-CA-10	RIN-CA-01
Días	Distancias mínimas según ECA 2017 (m)	
28/10/2018	27 259,2	27 259,2
29/10/2018	21 229,5	19 059,8
30/10/2018	-	-
31/10/2018	27 208,2	17 935,9
1/11/2018	-	-
2/11/2018	-	-
3/11/2018	-	-
4/11/2018	-	-
5/11/2018	27 259,2	27 259,2
6/11/2018	27 263,4	27 263,4
7/11/2018	27 263,4	27 263,4
8/11/2018	27 254,9	27 254,9
9/11/2018	27 260,5	27 260,5
10/11/2018	27 259,1	27 259,1
11/11/2018	27 260,5	27 260,5
12/11/2018	27 254,9	27 254,9
13/11/2018	27 221,4	20 163,7
14/11/2018	16 851,4	13 551,1
15/11/2018	-	-
16/11/2018	-	-

 Mayor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

 Menor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

(-) Datos no obtenidos debido a que en estos días no hubo cosecha de caña de azúcar por quema controlada.

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

En la tabla 16 se aprecian las distancias a las que es dispersado el PM_{10} (durante periodos de una hora), que se genera por la cosecha de caña de azúcar mediante quema controlada (registros diarios), de acuerdo con la velocidad promedio de 1,167 m/s. Se tienen distintas concentraciones de referencia para PM_{10} , según los ECA para aire 2017 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A continuación, se presentan los principales resultados según el modelamiento realizado por el *software* Screen3 para los días donde hubo cosecha por quema controlada de azúcar, las que se detallan a continuación:

- **En el punto HUA-CA-10**, la concentración de referencia para PM_{10} (según los ECA para aire 2017) fue de $61,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor se encuentra entre 16 851,4 y 27 263,4 m de distancia de la zona de quema (registrada por día), en el periodo de una hora después de la quema programada. La menor distancia se registró el 14 noviembre del 2018 y las mayores el 6 y 7 noviembre del 2018.
- **En el punto RIN-CA-01**, la concentración de referencia para PM_{10} (según los ECA para aire 2017) fue de $72,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor se encontró entre 13 551,1 y 27 263,4 m de distancia de la zona de quema (registrada por día), en el periodo de una hora después de la quema programada. La menor distancia se registró el 14 noviembre del 2018 y las mayores, el 6 y 7 noviembre del 2018.

En la tabla 16 se muestra el resumen de resultados obtenidos de $PM^{2,5}$, según el *software* Screen3 en los puntos de monitoreo HUA-CA-10 y RIN-CA-01 para el periodo de evaluación.

Tabla 16. Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando la velocidad promedio entre las 00:00 y 04:00 h para el parámetro PM_{2,5}

Concentración de referencia (µg/m ³)	Datos obtenidos del Screen3, con velocidad promedio 1,167 m/s	
	Distancias (m) extraídas tomando como referencia el ECA 2017 - PM _{2,5}	
	39,55	42,83
Puntos de monitoreo	HUA-CA-10	RIN-CA-01
Días	Distancias mínimas según ECA 2017 (m)	
28/10/2018	4 790,2	4 360,9
29/10/2018	3 981,0	3 634,7
30/10/2018	-	-
31/10/2018	3 971,4	3 624,4
1/11/2018	-	-
2/11/2018	-	-
3/11/2018	-	-
4/11/2018	-	-
5/11/2018	4 902,3	4 460,2
6/11/2018	4 977,0	4 531,9
7/11/2018	4 976,9	4 530,6
8/11/2018	5 013,1	4 568,2
9/11/2018	5 043,9	4 591,1
10/11/2018	4 903,4	4 460,2
11/11/2018	5 043,9	4 596,0
12/11/2018	5 013,1	4 567,0
13/11/2018	4 434,2	4 034,7
14/11/2018	2 973,1	2 707,3
15/11/2018	-	-
16/11/2018	-	-

Mayor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

Menor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

(-) Datos no obtenidos, debido a que en estos días no hubo cosecha de caña de azúcar por quema controlada

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N° 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

En la tabla 17 se aprecian las distancias a las que son dispersados el $PM_{2,5}$ (durante periodos de una hora) que se generan por la cosecha de caña de azúcar mediante quema controlada (registros diarios), de acuerdo con la velocidad promedio de 1,167 m/s. Se tienen distintas concentraciones de referencia para $PM_{2,5}$, ECA para aire 2017 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A continuación, se presentan las principales características según el modelamiento realizado por el *software* Screen3 para los días donde hubo cosecha por quema controlada de azúcar:

- **En el punto HUA-CA-10**, la concentración de referencia para $PM_{2,5}$ (según los ECA para aire 2017) fue $39,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor se encuentra entre 2 973,1 y 5 043,9 m de distancia de la zona de quema (registrada por día) en el periodo de una hora después de la quema programada. La menor distancia se registró el 14 noviembre del 2018 y las mayores, el 9 y 11 noviembre del 2018.
- **En el punto RIN-CA-01**, la concentración de referencia para $PM_{2,5}$ (según los ECA para aire 2017) fue de $42,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor se encuentra entre 2 707,3 y 4 596,0 m de distancia de la zona de quema (registrada por día) en el periodo de una hora después de la quema programada. La menor distancia se registró el 14 noviembre del 2018 y la mayor, el 9 noviembre del 2018.

Es necesario mencionar que según el EIA-sd de Agroaurora, la quema controlada de caña de azúcar se realizaría entre las 00:00 y 04:00 horas, hecho que fue verificado durante la evaluación ambiental. Sin embargo, pese a que la empresa ha establecido una distancia mínima de quema controlada de caña de azúcar hacia los centros poblados —a fin de garantizar la no afectación a la calidad ambiental del aire de los centros poblados—, aún se pudo constatar que las cenizas generadas llegan a los centros poblados aledaños.

Esta ceniza (material particulado) es conocida como tizne y se desplaza según la velocidad del viento: mientras mayor sea la variabilidad de la dirección del viento, menor es la distancia frontal que recorre el tizne desde el sitio de la quema (Espejo, 2016).

Además, Cortés (2003) menciona que “desde el punto de vista físico y técnico, el horario nocturno y sobre todo el de la madrugada, es el menos apropiado para la dispersión atmosférica de los productos de una quema, como el humo, la ceniza, diferentes gases y material particulado, ya que es precisamente en ese lapso cuando tienen lugar las menores velocidades del viento y las más altas humedades, así como las más bajas temperaturas en superficie y, por consiguiente, la mayor probabilidad de ocurrencia de inversiones térmicas, dando como resultado que, bajo esas condiciones, se lleguen a presentar en la atmósfera las mayores concentraciones de los elementos mencionados (PM_{10} , $PM_{2,5}$ y gases)” (p. 29,40).

Según el EIA-sd, Agroaurora “asume el compromiso de no realizar la quema controlada a distancias menores a 1 562,46m, respecto al casco urbano; y 80 m, respecto al eje de vías principales intermunicipales” (Produce, 2017, p. 55). Estas distancias se han tomado de su modelo de dispersión de contaminantes, realizado con el *software* Screen3.

Al respecto, es necesario indicar que la empresa considera como dato de entrada al *software* un área de 10 ha. Sin embargo, según en el Programa de Quema Controlada del EIA-sd de Agroaurora S.A.C.¹⁷, se realizan quemas de 19,31 ha de cultivos de caña de azúcar al día. Además, por lo observado en campo, en el periodo de evaluación, las áreas de quema se estiman entre 13,26 y 20,9 ha.

17 Este programa contiene los procedimientos para realizar la quema de los campos de cultivo de caña de azúcar previa a la cosecha (sea mecanizada o manual) y garantizar que no se produzca la afectación de los pobladores de los centros poblados próximos a los campos de cultivos.

Otro dato de entrada que se consideró en el *software* — según su EIA-sd— fueron las velocidades del viento entre las 23:00 y 2:00 horas para el periodo 2015. La velocidad mínima fue 1,616 m/s, la velocidad promedio, 1,88 m/s, y la velocidad máxima, 2,28 m/s. Sin embargo, el dicho instrumento señala que el horario de quema controlada será de las 00:00 a las 04:00 horas.

Por ese motivo, se realizó un modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos con los resultados obtenidos y con los datos del administrado, sujeto a diferentes condiciones de entrada, según el EIA-sd de Agroaurora. Estos datos se aprecian en las tablas 17 y 18:

Tabla 17. Datos obtenidos mediante el *software* Screen3, utilizando diferentes condiciones de entrada según EIA-sd - PM₁₀

Datos obtenidos del Screen3 para PM ₁₀		
Concentración de referencia (µg/m ³)	Distancias (m) extraídas tomando como referencia el ECA-2017	
	61,8	72,2
Puntos de monitoreo	HUACA-10	RINCA-01
Condiciones de entrada	Distancia mínima según ECA 2017 (m)	
EIA-sd: 19,31 ha y velocidad mínima 1,62 m/s	7 719,2	6 434,8
EIA-sd: 19,31 ha y velocidad promedio 1,88 m/s	5 410,2	4 498,0
EIA-sd: 19,31 ha y velocidad máx. 2,28 m/s	3 431,7	2 845,8
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad promedio 1,17 m/s	16 845,6	14 078,5
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad máxima 2,23 m/s	3 619,2	2 999,1
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad 1,17 m/s Horario: 00:00 a 04:00 h	12 213,2	9 796,9

Datos obtenidos del Screen3 para PM ₁₀		
Concentración de referencia (µg/m ³)	Distancias (m) extraídas tomando como referencia el ECA-2017	
	61,8	72,2
Puntos de monitoreo	HUACA-10	RINCA-01
Condiciones de entrada	Distancia mínima según ECA 2017 (m)	
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad máxima 2,23 m/s Horario: 00:00 a 04:00 h	2 558,8	2 116,6

Mayor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

Menor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019. (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEM). OEFA.

Tabla 18. Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando diferentes condiciones de entrada según EIA-sd - PM_{2,5}

Datos obtenidos del Screen3 para PM _{2,5}		
Concentración de referencia (µg/m ³)	Distancias (m) extraídas tomando como referencia el ECA-2017	
	39,55	42,83
Puntos de monitoreo	HUACA-10	RINCA-01
Condiciones de entrada	Distancia mínima según ECA 2017 (m)	
EIA-sd: 10 ha y velocidad mínima 1,62 m/s	1 384,2	1 259,7
EIA-sd: 10 ha y velocidad promedio 1,88 m/s	1 079,0	1 037,2
EIA-sd: 10 ha y velocidad máxima 2,28 m/s	971,0	944,7
EIA-sd: 10 ha OEFA: velocidad promedio 1,17 m/s	2 996,6	2 729,9
EIA-sd: 10 ha OEFA: velocidad máxima 2,23 m/s	979,0	953,1
EIA-sd: 19,31 ha y velocidad mínima 1,62 m/s	2 986,0	2 715,2
EIA-sd: 19,31 h. y velocidad promedio 1,88 m/s	2 080,8	1 884,1

Datos obtenidos del Screen3 para PM _{2,5}		
Concentración de referencia (µg/m ³)	Distancias (m) extraídas tomando como referencia el ECA-2017	
	39,55	42,83
Puntos de monitoreo	HUACA-10	RINCA-01
Condiciones de entrada	Distancia mínima según ECA 2017 (m)	
EIA-sd: 19,31 ha y velocidad máxima 2,28 m/s	1 314,2	1 243,0
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad promedio 1,17 m/s	6 455,1	5 883,5
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad máxima 2,23 m/s	1 367,6	1 275,6
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad promedio 1,17 m/s. Horario: 00:00 a 04:00 h.	4 061,5	4 194,9
EIA-sd: 19,31 ha OEFA: velocidad máxima 2,23 m/s Horario: 00:00 a 04:00 h.	1 127,4	1 075,8

Mayor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

Menor distancia registrada de acuerdo con la concentración de referencia

Nota: Tomada de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019.* (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

Los datos de entrada con los que se obtuvieron las modelaciones en el *software* Screen3 de las tablas 18 y 19 permitieron obtener diversos escenarios, en los cuales se observaron distancias promedio superiores a 5 000 m (5 km), por lo que no se cumpliría la distancia mínima de 1 562,46 m a los centros poblados indicados por Agroaurora.

De acuerdo con el modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos realizado mediante el *software* Screen3, a mayor área de cultivo quemada, la concentración de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) incrementa; y, a mayor velocidad del viento, mejora la dispersión de material particulado.

Considerando lo anterior, el modelamiento de dispersión de contaminantes realizado por la DEAM, mediante el *software* Screen3, estimó las distancias mínimas de quema hacia centros poblados, las cuales no representarían un exceso de los ECA para aire:

- Para el distrito de La Huaca, la distancia mínima de quema es 4,2 km.
- Para el centro poblado La Rinconada, la distancia mínima de quema es 5,0 km.

4.7 Resultado esperado respecto a la validación del modelo de dispersión

4.7.1 Coeficiente de correlación y análisis de p-Value para PM₁₀

Tabla 19. Estadísticas del coeficiente de correlación y regresión lineal

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación de Pearson (R)	0,615021754
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	168,0383436	168,0383436	6,083680382	0,033303154
Residuos	10	276,2116564	27,62116564		
Total	11	444,25			

Nota: Elaboración propia.

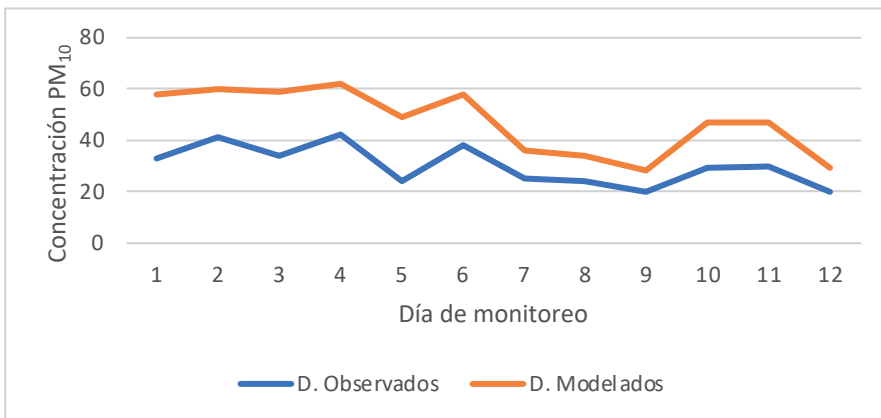
Del análisis de la tabla 20, se puede afirmar que el valor de correlación de Pearson es positivo (0,615), es decir, existe una relación continua entre las concentraciones observadas y modeladas. Además, al tener un valor crítico de distribución

$F_{\text{calculado}}$ de 6,083, el cual es mayor que el $F_{\text{teórico}} = 4,965$ (de tablas), se rechaza la H_0 y se acepta la H^1 . Por último, para el análisis de p-value, se ha obtenido un valor de 0,033, el cual es menor que 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada.

En relación con el análisis realizado en el párrafo anterior, de acuerdo con análisis estadístico, se rechaza la H_0 y se acepta la H^1 y se concluye que la concentración de los valores de PM_{10} observados en campo no difieren de los valores modelados obtenidos a través del uso del *software* AERMOD.

La Figura 10 muestra que existe una buena correlación entre los datos obtenidos en campo *versus* los datos modelados.

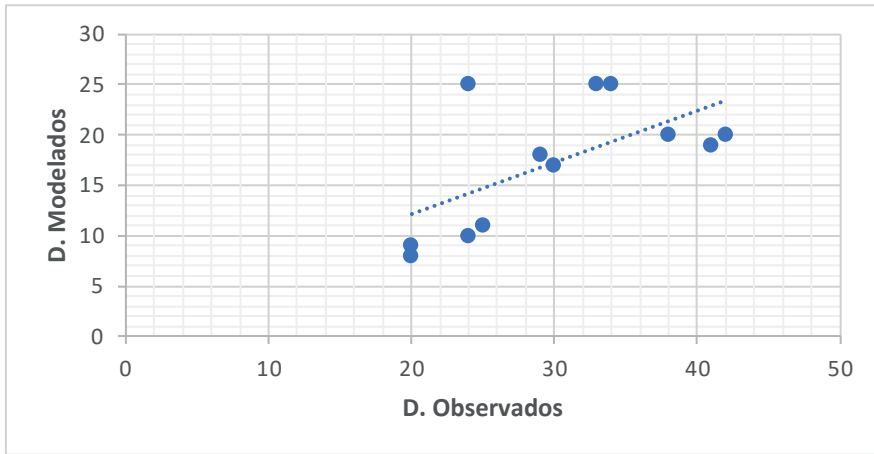
Figura 10. Correlación de datos modelados *versus* datos observados PM_{10}



Nota: Elaboración propia.

Además, la figura 11 muestra que existe una relación positiva entre los datos obtenidos mediante modelamiento *versus* los datos obtenidos en campo.

Figura 11. Tendencia de correlación de datos modelados versus datos observados PM_{10}



Nota: Elaboración propia.

4.7.2 Coeficiente de correlación y análisis de p-Value para $PM_{2,5}$

Tabla 20. Estadísticas del coeficiente de correlación y regresión lineal

Estadísticas de la regresión					
Coeficiente de Pearson (R)		0,70816397			
Observaciones		10			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	62,9503112	62,9503112	8,04802228	0,021916124
Residuos	8	62,5746888	7,8218361		
Total	9	125,525			

Nota: Elaboración propia.

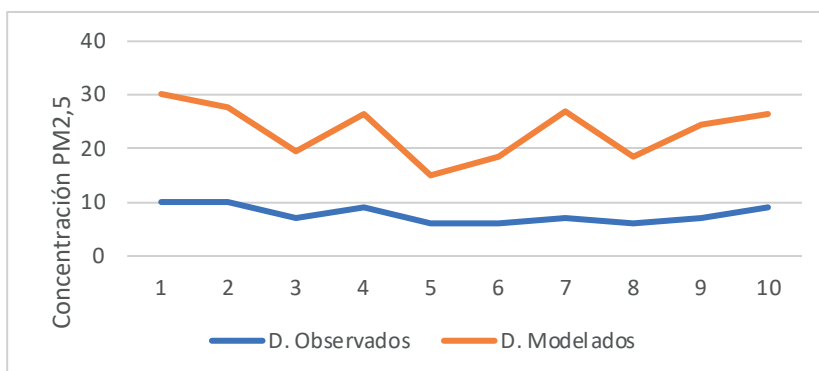
Del análisis de la tabla 20, se puede afirmar que el valor de correlación de Pearson es positivo (0,708), es decir, existe una relación continua entre las concentraciones observadas y modeladas. Además, al tener un valor crítico de distribución $F_{\text{calculado}}$ de 8,048, el cual es mayor que el $F_{\text{teórico}} = 5,318$ (de tablas), se rechaza la H_0 y se acepta la H^1 . Por último, para el análisis de

p-value, se ha obtenido un valor de 0,021, el cual es menor que 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada.

En relación con análisis realizado en el párrafo anterior, de acuerdo con el análisis estadístico, se rechaza la H_0 se acepta la H_1 y se concluye que la concentración de los valores de $PM_{2,5}$ observados en campo no difieren de los valores modelados obtenidos a través del uso del *software* Aermod.

La figura 12 muestra que existe una buena correlación entre los datos obtenidos en campo *versus* los datos modelados, como se observa a continuación:

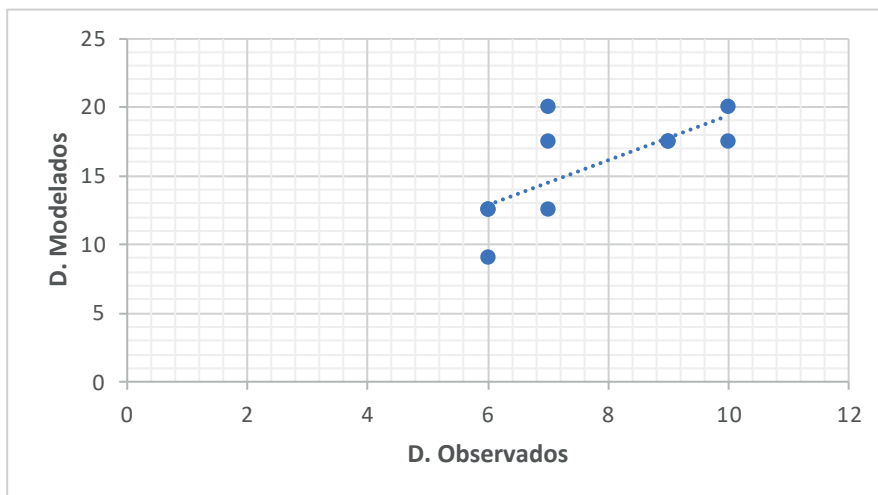
Figura 12. Correlación de datos modelados *versus* datos observados PM_{10}



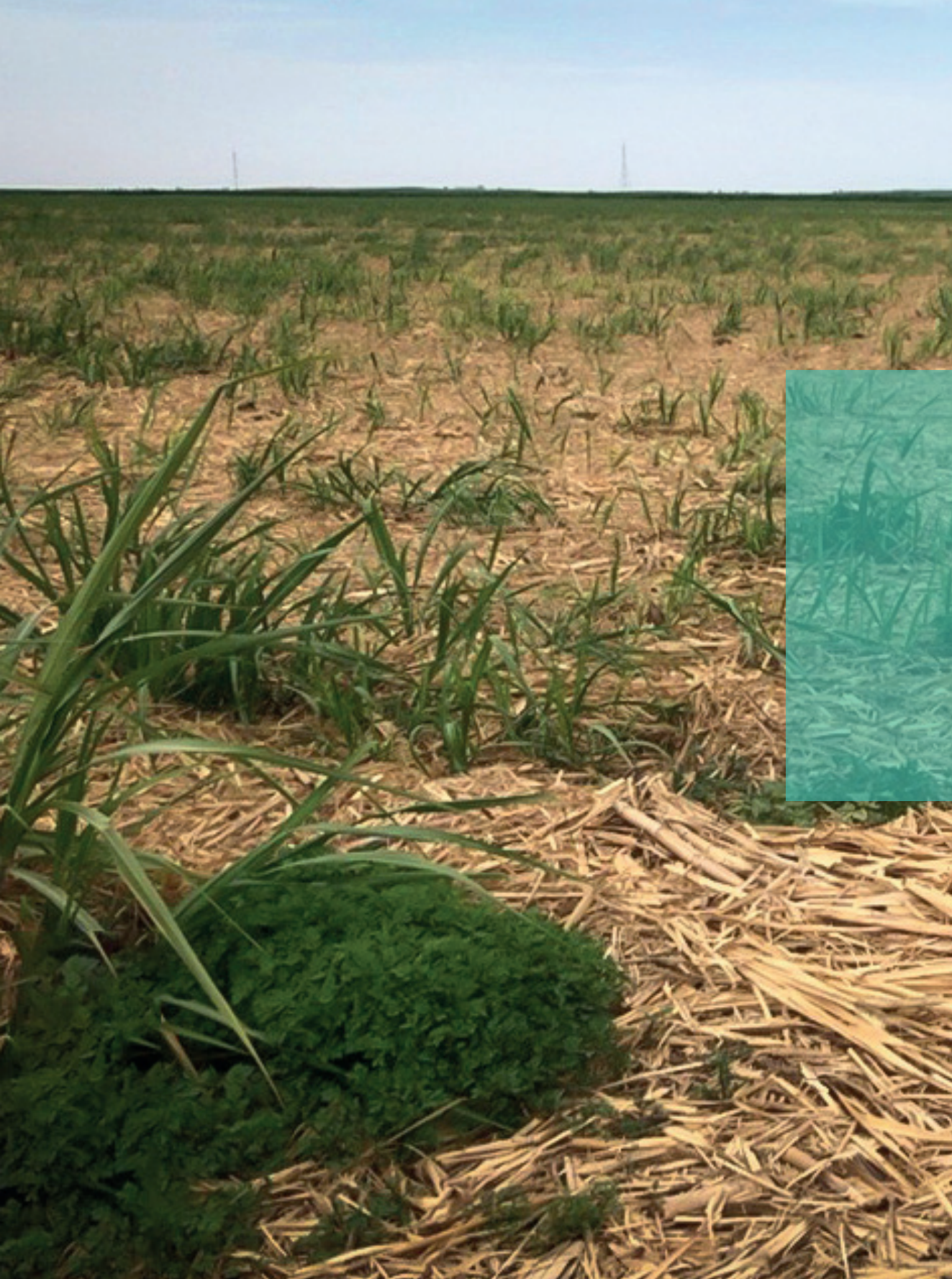
Nota: Elaboración propia.


Por otro lado, la figura 13 muestra que existe una relación positiva entre los datos obtenidos mediante modelamiento *versus* los datos obtenidos en campo:

Figura 13. Tendencia de correlación de datos modelados versus datos observados PM_{10}



Nota: Elaboración propia





V.
RESULTADO
SISTEMATIZADO

5.1 Mejoras de las técnicas obtenidas

Gracias al desarrollo del estudio de modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos, realizado en centros poblados del administrado Agroaurora S.A.C. en el 2018, el OEFA pudo implementar acciones en beneficio de la población y el ambiente. A continuación, se detallan algunas acciones de mejora:

- **Implementación de estaciones fijas de monitoreo de calidad de aire en la provincia de Paita (ámbito de estudio de la evaluación ambiental de causalidad de Agroaurora)**

Se han instalado estaciones fijas de monitoreo en algunas zonas de influencia de quema de caña, por lo que, mediante monitoreos en tiempo real, se puede verificar el comportamiento de calidad de aire de zonas aledañas a campos de cultivo que realizan cosecha mediante quema.

- **Acciones posteriores al modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos realizados por la DSAP-OEFA**

Posteriormente al modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos realizado por el Senamhi el 26 de julio del 2019, la DSAP emitió la Resolución N.º 00010-2019-OEFA/DSAP, la cual ordenó a Agroaurora S.A.C., como medida preventiva, no realizar acciones de quema de caña de azúcar en los campos de cultivo de la siguiente manera:

- Distrito de La Huaca: A una distancia de 4 425 m en dirección de los vientos sureste, sur, este, sur sureste y sur suroeste.
- Distrito de Rinconada: A una distancia de 7 092 m en dirección suroeste y este sureste.

- **Respecto a la restricción de áreas de quema**

El EIA-sd “Cultivos de Caña de Azúcar y elaboración de Azúcar” de titularidad de Agroaurora S.A.C, aprobado el 19 de enero del 2017 por el Produce, mediante Resolución Directoral N.º 037-2017-Produce/DVMYPE-I/DGAAMI, indica que no se debían realizar actividades de quema en áreas contiguas a centros poblados y vías principales intermunicipales a una distancia mínima de 1 562,46 m respecto al casco urbano y 80 m respecto al eje de vías principales. Esta distancia de restricción representaba aproximadamente el 12 % de los campos aptos para cultivo.

Al ordenar la medida preventiva, el área de prohibición de áreas de cultivo se incrementó en 904,85 ha aproximadamente (ver anexo C), lo cual representó un incremento del doble de áreas de restricción, por lo que el área de cosecha en verde sería de aproximadamente 25 %.

Además, es preciso mencionar que, por primera vez en el Perú, se establecieron distancias referenciales para la prohibición de quema de caña. Esta nueva práctica ya forma parte de los requisitos exigidos por el ente certificador Produce, para la aprobación de nuevos instrumentos de gestión ambiental o la actualización de los ya existentes.

- **Respecto a los horarios de quema**

El instrumento de gestión ambiental del 2017 del administrado Agroaurora S.A.C. indicaba que los horarios permitidos de quema controlada eran de 00:00 a 4:00 horas. Sin embargo, considerando la información meteorológica obtenida en campo, Senamhi (2019) concluyó que “las horas de mejor dispersión de contaminantes se encuentran entre las 11:00 y 17:00 horas, a causa de una mayor velocidad del viento, mayor desarrollo de la altura de la capa de mezcla, mayor temperatura del aire que permite que haya turbulencia y un mayor calentamiento diferencial entre mar y continente” (p. 68).

Atendiendo a ello, el Senamhi recomendó evitar la quema durante las noches, pues luego de liberadas las emisiones al ambiente estas pueden permanecer durante varias horas suspendidas en el aire, y posteriormente, ser dispersadas (por acción de los vientos del día) hacia las poblaciones, lo que impacta en la salud de las personas.

- **Respecto a la disminución de denuncias ambientales**

A continuación, se detalla el número de denuncias y emergencias ambientales del administrado Agroaurora S.A.C. asociadas a la quema de caña. En la tabla 21, se puede observar la disminución de las denuncias a través del tiempo: hasta el 2021 hubo veinticinco episodios reportados y en el 2022 y el 2023, solo tres.

Tabla 21. Denuncias y emergencias ambientales del administrado Agroaurora S.A.C.

Año	Denuncia ambiental	Emergencia ambiental	Total
2023 ⁽ⁱⁱ⁾	1	1	2
2022	-	1	1
2021	2	2	4
2020	2	4	6
2019	1	5	6
2018	5	-	5
2017	2	-	2
2016	2	-	2
Denuncias y emergencias hasta el 2021			25
Denuncias y emergencias en el 2022 y 2023			3

Nota: (i) Elaboración propia. (ii) El 2023 el administrado no opera de enero a mayo.

Es preciso mencionar que todas las denuncias y emergencias ambientales han sido atendidas durante las supervisiones realizadas al administrado por la DSAP-CIND. Las acciones de supervisión se presentaron en el capítulo I.

- **Respecto a la actualización del instrumento de gestión ambiental**

La empresa Agroaurora inició la solicitud de evaluación de la actualización del EIA-sd el 23 de setiembre del 2020. Dicha petición fue atendida catorce meses después, mediante una resolución directoral con fecha 15 de noviembre del 2021. El Produce aprobó la actualización de EIA-sd de la planta de “Cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar”, ubicada en la Carretera Sullana-Paita km 18 (margen izquierda), distrito de La Huaca, provincia de Paita y departamento de Piura, de titularidad la empresa Agroaurora S.A.C. En el EIA-sd se incluyen los siguientes compromisos respecto a la cosecha en verde (Produce, 2021):

Respecto a la reducción gradual de los porcentajes de caña quemada hasta el 2046, en los que el tipo de cosecha será 100 % caña verde dicha reducción se realizará tomando como referencia el 50 % de cosecha en verde al 2021, es decir, hay un incremento sustantivo respecto al 12 % que se tenía en el instrumento del 2017. Además, en la actualización del instrumento de gestión ambiental, se han incluido los siguientes compromisos al Programa de Quema Controlada:

- No quemar a una distancia mínima de 1 562,46 m, respecto al casco urbano de los centros poblados
- No quemar a una distancia de 4 425 m para el distrito de La Huaca, en dirección de los vientos sureste, sur, este, sur sureste y sur suroeste
- No quemar a una distancia de 7 092 m para el centro poblado La Rinconada, en dirección suroeste y este sureste
- No realizar acciones de quema de caña fuera del horario de 11:00 a 17:00 horas en todos los campos de cultivo

En función al modelamiento de dispersión realizado en el 2018, el administrado hizo los cambios necesarios en su IGA. Por eso, se presenta un cuadro comparativo de los principales compromisos ambientales de Agroaurora S.A.C. en el EIA del 2017 *versus* los compromisos vigentes de la actualización del EIA-sd del 2021, respecto a la alteración de la calidad de aire. Cabe resaltar que estos compromisos actualmente forman parte de las obligaciones que son verificadas durante las acciones de supervisión de la DSAP-CIND:

Tabla 22. Compromisos ambientales sobre la alteración de la calidad de aire del administrado Agroaurora S.A.C.

EIA-sd del 2017	Actualización del EIA-sd del 2021
<p>Antes del inicio del programa de quema de caña controlada, el administrado deberá presentar, al ente fiscalizador para el seguimiento respectivo, un mapa que tome en cuenta las áreas de no quema de caña. Este mapa debe considerar una distancia mínima de 1 562.46 m respecto al casco urbano de los centros poblados cercanos y 80 m respecto al eje de vías principales intermunicipales, donde únicamente se podrá realizar cosecha mecanizada en verde, sin quema de ningún tipo. El programa propone realizar la quema de 19,31 Ha/día de hectáreas de cultivo de caña de azúcar.</p> <p>El riego será permanente en las vías de acceso, por lo que debe ser diario y contemplar 8 h/día, sobre las vías que corresponden al sector donde se encuentra en labor, acorde a una planificación previa.</p> <p>Las unidades móviles tales como bulldozer tractor de oruga, cargadores frontales, tractores de llanta con rufa, excavadoras cosechadoras, sembradoras, entre otras, recibirán mantenimiento previo de acuerdo con el Programa de Mantenimiento.</p> <p>Se controlará la velocidad de los vehículos pesados. La velocidad promedio será 50 km/h y, en los sectores correspondientes, curvas y de alto tránsito de maquinaria pesada, la velocidad máxima será 30 km/h.</p> <p>Se verificarán las condiciones meteorológicas durante la aplicación de los fertilizantes y se evitarán días de vientos fuertes, así como los vientos calmos en horas muy soleadas.</p> <p>No se efectuará la quema de residuos vegetales (broza de caña), que se generen por la aplicación de cosecha mecanizada en verde, en ningún área del proyecto. La empresa deberá reutilizar dichos residuos conforme a las alternativas propuestas.</p> <p>Se adecuará la totalidad de los campos de cultivo de caña de azúcar para que sean cosechados mediante el procedimiento de cosecha mecanizada en verde sin quema. Una vez que concluya su programa de ajuste varietal contemplado a partir del primer año de inicio de operación al décimo, a partir del décimo primero al vigésimo, se adecuarán los componentes de fábrica y se reemplazarán los cultivos por cultivos desarrollado en el programa varietal. Para eso, es necesaria la adecuación de campos, maquinaria y fábrica. Finalmente, a partir del vigésimo primer año al trigésimo año se iniciará la ampliación de las áreas de cosecha mecanizada en verde sin quema hasta llegar a la totalidad de cosecha mecanizada en verde en todos los campos de cultivo de la empresa.</p>	<p>Humedecimiento de las vías de acceso. Se contempla sobre las vías que corresponden al sector que se encuentra en labor, siempre acorde a una planificación previa.</p> <p>Las unidades móviles, tales como bulldozer (tractor de oruga), cargadores frontales, tractores de llanta con rufa, excavadoras, cosechadoras, sembradoras, entre otras, recibirán mantenimiento previo, acorde al Programa de Mantenimiento.</p> <p>Se controlará la velocidad de los vehículos pesados.</p> <p>Programa de Quema controlada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A una distancia mínima de 1 562,46 m, respecto al casco urbano de los centros poblados. • A una distancia de 4 425 m, para el distrito de La Huaca, en dirección de los vientos sureste, sur, este, sur sureste y sur suroeste. • A una distancia de 7092 m. para el centro poblado Rinconada, en dirección suroeste y este sureste. • No realizar acciones de quema de caña fuera del horario de las 11:00 a 17:00 horas, en todos los campos de cultivo. • Reducir gradualmente los porcentajes de caña quemada hasta el 2046, cuando el tipo de cosecha será 100 % caña verde.

Nota: Elaboración propia.

- **Respecto al manual del Senamhi y la inclusión de distancias en los instrumentos de gestión ambiental**

Es preciso también indicar que el 29 de octubre del 2021, mediante Resolución de Presidencial Ejecutiva N.º 053-2021-SENAMHI/PREJ, el Senamhi aprobó el “Manual técnico para la elaboración de documentos técnicos sobre modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos”, que establece las condiciones y los requisitos a ser utilizados por cualquier persona natural o jurídica en la elaboración de los modelamientos de dispersión de contaminantes.

5.2 De la investigación aplicada al perfeccionamiento de la regulación

A la fecha el Ministerio del Ambiente, sus direcciones y órganos adscritos como el OEFA, han tomado conocimiento y emitido opinión de tres proyectos de ley que se encuentran en revisión del Congreso de la República del Perú. Estos proyectos son enunciativos, y no ingresan en materia técnica y replican —en buena cuenta— lo que en la actualidad se está haciendo, por lo que es útil el mandato de reglamentar las prácticas actuales en un plazo determinado.

5.2.1 Proyectos de ley

- **Proyecto de ley N.º 1115/2021-CR, “ley que regula la gestión y el manejo del cultivo de la caña de azúcar, prohibiendo su quema y optimizando el manejo de los residuos sólidos”**

Este proyecto fue presentado multipartidariamente a la Comisión de Pueblos Andinos, Amazónicos y Afroperuanos, Ambiente y Ecología, como primera dictaminadora (Comisión Agraria del Congreso de La República del Perú, 2023).

El artículo 1 establece que el objeto del proyecto normativo es regular la gestión y el manejo del cultivo de la caña de azúcar, de manera sostenible y ambientalmente responsable.

Por esa razón, prohíbe quemarla, en el marco de los principios de prevención y mitigación de riesgos ambientales, por lo que prioriza la protección de la vida, la salud y el bienestar de la persona humana.

En el artículo 2, el proyecto normativo señala que la finalidad de la ley es velar por la efectiva protección del derecho al medioambiente sano y equilibrado, así como por la promoción del desarrollo de la actividad agrícola de manera sustentable en armonía con las políticas nacionales, planes y estrategias vinculadas a la afectación del cambio climático.

El artículo 3 establece los alcances dicha norma, la cual se aplica a las personas naturales y jurídicas dedicadas a la actividad agrícola productiva de siembra y cosecha de caña de azúcar. Por otro lado, en la norma se le encarga al OEFA la supervisión, fiscalización y sanción de lo previsto en ella. Además, según ese mismo artículo, el OEFA es responsable de elaborar los documentos técnico-normativos que establezcan los límites máximos permitidos para los procesos vinculados a esta actividad.

El proyecto de ley señala en el artículo 4 definiciones sobre broza de caña, caña de azúcar, quema de caña, quema de caña parada, residuos sólidos agroindustriales y tizne. Luego, en su artículo 5, dispone que el plazo máximo para erradicar la práctica controlada de la caña de azúcar previa a la cosecha es de seis meses, contados a partir de su entrada en vigor, de manera improrrogable.

Por otro lado, el artículo 6 establece que Produce, en coordinación con el Minam y los productores de caña de azúcar, debe elaborar el plan de adecuación para que la totalidad de los campos de cultivo de caña de azúcar cosechados actualmente bajo la modalidad de quema controlada sean cosechados bajo la modalidad de cosecha mecanizada en verde u otra modalidad análoga.

El artículo 7 del proyecto normativo señala que, durante el plazo establecido en el artículo 5, los productores con autorizaciones vigentes pueden continuar la quema controlada de caña de azúcar, siempre que se ubiquen fuera de un radio perimetral no menor a un kilómetro y medido desde las periferias de las ciudades, centros poblados o asentamientos humanos, y de ochocientos metros de las subestaciones de energía eléctrica y de las carreteras principales. Además, precisa que el OEFA puede establecer distancias mayores, de acuerdo con cada caso concreto.

Por otro lado, el artículo 8 regula el registro de productores de caña de azúcar a nivel nacional que será administrado por Produce. También, resalta que la información de dicho registro es pública y gratuita, y que, en el caso de que los productores se encuentren dentro del marco de la ley N.º 30355, ley de Promoción y Desarrollo de la Agricultura Familiar, la inscripción en el registro de productores antes indicado es facultativa.

El artículo 9 del proyecto legislativo prohíbe, a partir de su vigencia, la autorización para el desarrollo de proyectos de inversión agroindustrial que impliquen la quema controlada de caña de azúcar. Además, el artículo 10 establece las infracciones a aplicar por el OEFA y las clasifica en infracciones leves, graves y muy graves. En esa línea el artículo 11 precisa que las infracciones previstas dan lugar a la imposición de sanciones, conforme lo establezca el reglamento respectivo. Además, el artículo 12 dispone que Produce —en coordinación con el Minam, los gobiernos regionales y los gobiernos locales— realice acciones de difusión, orientación y supervisión, según corresponda.

El artículo 13 del proyecto de reglamenta los incentivos para promover el adecuado manejo del cultivo de caña de azúcar y el artículo 14 indica que la implementación de dicha norma se financia con el presupuesto institucional de las entidades involucradas sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público.

La primera disposición complementaria final del proyecto normativo establece que el plan de adecuación será aprobado por el Produce en un plazo no mayor de sesenta días contados a partir de su vigencia. Además, la segunda disposición complementaria final señala que los productores con autorizaciones vigentes para realizar la quema controlada de la caña de azúcar deben adecuar sus instrumentos de gestión ambiental a lo dispuesto en dicha ley en un plazo de 120 días, contados desde la publicación de la norma.

La tercera disposición complementaria final del proyecto de ley establece que Produce debe implementar el registro de productores de caña de azúcar en un plazo no mayor de treinta días calendario, contados a partir de la vigencia de la ley. Por otra parte, la cuarta disposición complementaria final señala que las medidas administrativas dictadas por el OEFA, en el marco de sus competencias y funciones, mantienen su vigencia hasta que se haya verificado su cumplimiento o hayan desaparecido las condiciones que motivaron su emisión.

Finalmente, la quinta disposición complementaria final dispone que el Produce mediante decreto supremo reglamenta la ley en un plazo no mayor de treinta días calendario, contados desde el día siguiente de su publicación en el diario oficial *El Peruano*.

- **Proyecto de ley N.º 1259/2021-CR, “ley que prohíbe la quema en pie de cultivos como método de cosecha de la caña de azúcar”**

El proyecto de ley N.º 1259/2021/CR fue presentado por el señor congresista Víctor Zeferino Flores Ruiz, integrante del grupo parlamentario Fuerza Popular ante la Comisión Agraria.

Mediante el Informe N.º 00233-2022-Minam/SG/OGAJ se recopiló una síntesis del proyecto de ley precitado, el cual contiene seis artículos y una única disposición complementaria final. A continuación, se detallan los principales aspectos (Minam, 2022b):

El artículo 1 señala que el proyecto de ley tiene por objeto prohibir la quema en pie de cultivos como método previo de cosecha de la caña de azúcar y otorgar un plazo a los productores para el desarrollo e implementación de procedimientos de cosecha con tecnologías limpias en resguardo de la salud pública y la conservación ambiental.

El artículo 2 del proyecto normativo prohíbe la quema en pie de cultivos como método previo de cosecha de la caña de azúcar, por su alto nivel de daño al medioambiente, el suelo, la salud pública y el ecosistema, por lo que se debe agregar el incumplimiento a esta prohibición como una causal de falta administrativa muy grave, sujeta a la potestad sancionadora del OEFA.

Además, el artículo 3 de la propuesta legislativa encarga al Poder Ejecutivo establecer un plazo máximo improrrogable para que los productores de caña de azúcar desarrollen e implementen procedimientos de cosecha mecanizada en verde u otro similar.

El artículo 4 del proyecto de ley dispone que el Midagri, en coordinación con el Minam y el Produce, elabore el plan de adecuación para reemplazar la cosecha de caña de azúcar mediante la quema en pie por otros métodos que no sean nocivos para la salud pública y el medioambiente.

El artículo 5 del proyecto normativo señala que los productores de caña de azúcar con autorizaciones de quema en pie vigentes pueden continuar realizando esta técnica de cosecha siempre y cuando sus cultivos se encuentren ubicados en un radio perimetral alejado de localidades en las que se registre

vivencia, áreas naturales protegidas, áreas de investigación arqueológica, áreas de aeropuertos y pistas aéreas, áreas destinadas a la generación y transmisión eléctrica, entre otras. Las distancias mínimas, áreas específicas, condiciones climatológicas y demás especificaciones técnicas para el correcto manejo controlado de la quema de cultivos en pie las determinan las instituciones gubernamentales competentes en cada materia. Además, el artículo 6 establece que la implementación de la presente ley se financia con cargo al presupuesto institucional de las entidades involucradas, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público.

La única disposición complementaria final del proyecto de ley dispone que el Poder Ejecutivo, a través de los sectores o programas pertinentes, informará anualmente a la Comisión de Descentralización, Regionalización, Gobiernos Locales y Modernización de la Gestión del Estado y a la Comisión de Agricultura del Congreso de la República el avance en la implementación de lo establecido en la presente ley.

- **Proyecto de ley N.º 1304/2021-CR, “ley que prohíbe la quema del cultivo de caña de azúcar previo a su cosecha”**

El proyecto de ley N.º 1304/2021/CR fue presentado por el señor congresista Javier Rommel Padilla Romero, integrante del grupo parlamentario Renovación Popular ante la Comisión Agraria.

Mediante el Informe N.º 00319-2022-Minam/SG/OGAJ, se recopiló la información del proyecto de ley precitado, el cual contiene cuatro artículos y dos disposiciones complementarias y finales. A continuación, se detallan los puntos más relevantes (Minam, 2022c):

El artículo 1 establece como objeto de la ley prohibir la quema de la caña de azúcar previa a su cosecha para proteger el medioambiente y la salud de la población en general.

El artículo 2 señala que queda prohibido que cualquier productor, persona natural o jurídica, realice la quema de cultivo de caña de azúcar previa a su cosecha, cual fuere el radio perimetral del cultivo que afecte la salud de la población, que no tenga autorización de las entidades competentes en su materia o que expongan al peligro a infraestructuras públicas o privadas.

El artículo 3 establece infracciones leves, graves y muy graves a la ley que se promueve. Además, el artículo 4 estipula que el Poder Ejecutivo establece las sanciones que correspondan a las infracciones establecidas en el artículo 3, sin perjuicio de las responsabilidades civiles y penales a que hubiere lugar.

La primera disposición complementaria y final señala la vigencia de la ley, mientras que la segunda disposición complementaria y final hace referencia a su reglamentación.

5.2.2 Aportes del sector ambiente a los proyectos de ley

- **Aportes al Proyecto de ley N.º 1115/2021-CR, “ley que regula la gestión y el manejo del cultivo de la caña de azúcar, prohibiendo su quema y optimizando el manejo de los residuos sólidos”: Opinión del Minam de fecha 25 de marzo del 2022**

A continuación, se presentan los aportes al proyecto de ley N.º 1115/2021-CR realizados por la Dirección General de Calidad Ambiental del Minam. Cabe resaltar que en este proyecto también se recoge la opinión del OEFA.

Tabla 23. Aportes al Proyecto de ley N.º 1115/2021-CR

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 3. Ámbito de aplicación Lo dispuesto en la presente ley es de aplicación a las personas naturales y jurídicas, dedicadas a la actividad agrícola productiva de siembra y cosecha de caña de azúcar.</p> <p>El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en su condición de ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, es el encargado de la supervisión, fiscalización y sanción de lo dispuesto en la presente ley. Asimismo, es el responsable de elaborar los documentos técnico-normativos que establezcan los límites máximos permitidos para los procesos vinculados a la siembra y cosecha de la caña de azúcar.</p>	<p><i>El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en su condición de ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, es el encargado de la supervisión, fiscalización y sanción de lo dispuesto en la presente ley.</i></p> <p><i>Asimismo, el Ministerio del Ambiente es el responsable de elaborar los documentos técnico-normativos que establezcan los límites máximos permitidos para los procesos vinculados a la siembra y cosecha de la caña de azúcar, en coordinación con el Ministerio de Desarrollo y Riego (Midagri) y el Ministerio de la Producción (Produce).</i></p>
<p>Artículo 4. Definiciones Para efectos de lo dispuesto en la presente ley, se aplican las definiciones siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Broza de caña 2. Cosecha mecanizada en verde 3. Quema de caña 4. Quema de caña parada 5. Residuos sólidos agroindustriales 6. Tizne 	<p>Se propuso la inclusión de los conceptos de los numerales 3, 6 y 7.</p> <p>Artículo 4. Definiciones Para efectos de lo dispuesto en la presente ley, se aplican las definiciones siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Broza de caña</i> 2. <i>Cosecha mecanizada en verde</i> 3. <i>Distancias mínimas</i> 4. <i>Quema de caña</i> 5. <i>Quema de caña parada</i> 6. <i>Población afectada</i> 7. <i>Plumas de contaminación atmosférica</i> 8. <i>Residuos sólidos agroindustriales</i> 9. <i>Tizne</i>
<p>Artículo 5. Erradicación de la práctica de la quema controlada de la caña de azúcar El plazo máximo para erradicar la práctica de la quema controlada de la caña de azúcar previa a la cosecha es de seis (6) meses de manera improrrogable, a partir de la vigencia de la presente ley.</p>	<p>El Minam sugiere evaluar el plazo otorgado, considerando que el ciclo de vida de un cultivo de caña de azúcar oscila entre los cinco y seis años. Una vez aprobada la propuesta de ley, las medidas que contiene incidirán sobre la producción de los cultivos, en su fase inicial o media de crecimiento.</p> <p>De igual manera, sobre este aspecto, se debe tener en cuenta el principio de gradualidad, también llamado de progresividad, que en el Perú se encuentra previsto de manera expresa en el numeral 33.4 del artículo 33 de la ley N.º 28611, ley General del Ambiente, que aplica a toda la legislación ambiental, general y sectorial.</p>

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 6. Plan de Adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar</p> <p>El Ministerio de la Producción (Produce), en coordinación con el Ministerio del Ambiente (Minam) y los productores de caña de azúcar, elabora el Plan de Adecuación para que la totalidad de los campos de cultivo de caña de azúcar cosechados actualmente bajo la modalidad de quema controlada sean cosechados mediante el procedimiento de cosecha mecanizada en verde u otro análogo, creado o por crearse.</p>	<p>Se sugiere la incorporación del Midagri, en la elaboración de dicho plan, debido a que este Sector tiene administrados vinculados a la actividad de la siembra y cosecha de caña de azúcar.</p> <p><i>Artículo 6. Plan de Adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar</i></p> <p><i>El Ministerio de la Producción (Produce), en coordinación con el Ministerio del Ambiente (Minam), el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri) y los productores de caña de azúcar, elabora el Plan de Adecuación para que la totalidad de los campos de cultivo de caña de azúcar cosechados actualmente bajo la modalidad de quema controlada sean cosechados mediante el procedimiento de cosecha mecanizada en verde u otro análogo, creado o por crearse.</i></p>
<p>Artículo 7. Autorizaciones vigentes para la quema controlada de la caña de azúcar</p> <p>Durante el plazo establecido por el artículo 5 de la presente ley, los productores con autorizaciones vigentes pueden continuar la quema controlada de la caña de azúcar cuando sus cultivos se ubiquen fuera de un radio perimetral no menor a un kilómetro y medio medido desde las periferias de las ciudades, centros poblados y/o asentamientos humanos, áreas arqueológicas, áreas naturales protegidas y las zonas de amortiguamiento; así como a un kilómetro, medido desde los límites de una zona de dominio de cables de alta tensión, comprendiendo una franja de quince (15) metros a cada lado de las líneas de conducción; a un kilómetro medido desde el borde perimetral de aeropuertos y aeródromos; y, a partir de ochocientos (800) metros de subestaciones de energía eléctrica y de carreteras principales de la red vial nacional y/o regional.</p>	<p>Se propone que las distancias propuestas deben ser evaluadas y establecidas por las autoridades sectoriales competentes y de fiscalización, como puede ser el Midagri, el Produce, o el Minam, respectivamente.</p> <p>Por ese motivo, dichas distancias deben ser excluidas de las normas.</p>
<p>Artículo 8. Registro de productores de caña de azúcar</p> <p>El Ministerio de la Producción (Produce) implementa, administra, publica y actualiza el registro de productores de caña de azúcar a nivel nacional. El acceso a la información contenida en el referido registro es público y gratuito.</p> <p>Para quienes se encuentran comprendidos dentro de lo dispuesto en la ley N.º 30355, ley de promoción y desarrollo de la agricultura familiar, la inscripción en el Registro de Productores de Caña de Azúcar es facultativa.</p>	<p>En este artículo se debe incorporar al Midagri, debido a que este sector tiene administrados vinculados a la actividad de la siembra y cosecha de caña de azúcar. Asimismo, con relación a lo dispuesto en el último párrafo del artículo 8 sobre la inscripción facultativa de los productores agrarios organizados en unidades familiares, conforme la ley N.º 30355; la DGCA-Minam indica que tal disposición sea retirada, debido a que en la práctica las empresas formales arriendan sus campos para ampliar las áreas de cultivo de caña de azúcar y allí ocurre la quema de caña como una práctica precosecha. Por esa razón los productores en agricultura familiar deben ser registrados.</p>

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 9. Prohibición de nuevas autorizaciones</p> <p>A partir de la vigencia de la presente ley queda prohibida la autorización para el desarrollo de proyectos de inversión agroindustrial que impliquen la quema controlada de la caña de azúcar.</p>	<p><i>Artículo 9. Prohibición de nuevas autorizaciones</i></p> <p><i>A partir de la vigencia de la presente ley queda prohibida la autorización para el desarrollo de nuevos proyectos de inversión agrícolas y agroindustriales y/o el incremento de nuevas áreas de proyectos agrícolas y agroindustriales en curso que impliquen la quema controlada de la caña de azúcar como parte del proceso de producción agrícola.</i></p>
<p>Artículo 10. Infracciones</p> <p>Constituyen infracción administrativa sujeta a potestad sancionadora del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA, en su condición de ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental - SINEFA, los siguientes supuestos:</p> <p>(...)</p> <p>2. Infracciones Graves</p> <p>(...)</p> <p>b) incumplir con el Plan de Adecuación aprobado por el Ministerio de la Producción (Produce), de acuerdo con lo previsto en la presente ley. (...)</p>	<p>Se sugiere hacer referencia también al Midagri, por su vinculación a la actividad de siembra y cosecha de caña de azúcar. En ese sentido, se propone el siguiente texto:</p> <p><i>Artículo 10. infracciones</i></p> <p><i>(...)</i></p> <p><i>2. Infracciones Graves</i></p> <p><i>(...)</i></p> <p><i>b) incumplir con el Plan de Adecuación aprobado por el Ministerio de la Producción (Produce) o el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), según corresponda, de acuerdo con lo previsto en la presente ley.</i></p>
<p>Artículo 12. Difusión y Orientación</p> <p>El Ministerio de la Producción (Produce), en coordinación con el Ministerio del Ambiente (Minam), los gobiernos regionales y los gobiernos locales, realizan las acciones de difusión, orientación y supervisión, según corresponda, para el cumplimiento de lo dispuesto en la presente ley.</p>	<p>Se sugiere la incorporación del Midagri, teniendo en cuenta que este Sector tiene administrados vinculados a la actividad de la siembra y cosecha de caña de azúcar.</p>
<p>Artículo 13. Incentivos</p> <p>Con el objetivo de promover el adecuado manejo del cultivo de la caña de azúcar, y sin perjuicio de las facultades establecidas por la ley Orgánica de Municipalidades, las autoridades municipales pueden establecer los incentivos que consideren necesarios, a las personas naturales y/o jurídicas que cumplan con lo establecido en la presente ley.</p>	<p>Los gobiernos locales no son autoridades competentes en materia ambiental respecto de las actividades de cultivo o industrialización de caña de azúcar, toda vez que en el marco del proceso de descentralización no han recibido de los sectores la función de certificación ambiental; esa función de corresponde Por eso, que no pueden otorgar incentivos a las autoridades sectoriales competentes.</p>
<p>Primera. Aprobación del Plan de Adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar</p> <p>El Ministerio de la Producción (Produce) aprueba el Plan de Adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar</p> <p>(...)</p>	<p><i>Primera. Aprobación del Plan de Adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar</i></p> <p><i>El Ministerio de la Producción (Produce) y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), aprueban el Plan de Adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar</i></p> <p><i>(...)</i></p>

Continuación tabla 23...

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Tercera. Plazo de Implementación del Registro de productores de caña de azúcar</p> <p>El Ministerio de la Producción (Produce) implementa el registro de productores de caña de azúcar (...)</p>	<p><i>Tercera. Plazo de Implementación del Registro de productores de caña de azúcar</i></p> <p><i>El Ministerio de la Producción (Produce) y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri) implementan el registro de productores de caña de azúcar (...)</i></p>
<p>Quinta. Reglamento</p> <p>El Ministerio de la Producción (Produce) mediante Decreto Supremo aprueba el reglamento de la presen ley (...)</p>	<p><i>Quinta. Reglamento</i></p> <p><i>El Poder Ejecutivo mediante Decreto Supremo, refrendado por el Ministerio de la Producción (Produce) y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), aprueba el reglamento de la presente ley (...)</i></p>

Nota: Elaboración propia.

Respecto al artículo 5 y el plazo de adecuación, el Programa Presupuestal 0089, Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios, precisa que el ciclo de vida de la caña de azúcar es de cinco a seis años (Minagri, 2015).

Para el correcto manejo e interpretación de las diferentes labores efectuadas durante el ciclo vegetativo de la caña, se consideraron dos condiciones particulares que se presentan en el manejo de las plantaciones comerciales. La primera es conocida como caña planta o plantilla y se refiere al primer ciclo productivo comercial luego de la siembra o renovación de la plantación. La segunda es denominada caña soca o retoño y se refiere a los siguientes ciclos sucesivos de cosecha y retoñamiento hasta que ocurra la subsiguiente renovación de la plantación.

La renovación de las plantaciones comerciales de caña de azúcar se realiza para reactivar áreas con agotamiento productivo y de vigor, las cuales disminuyen ostensiblemente la rentabilidad de la plantación y la competitividad del sector. Uno de los grandes retos de la agroindustria es prolongar la vida comercial de las plantaciones en un marco de rentabilidad, competitividad y ecoeficiencia. La renovación de las plantaciones se realiza por lo general cada cinco o seis años, cuando el ciclo vegetativo es anual (Montenegro, 2022).

- Aportes al Proyecto de ley N.º 1259/2021-CR, “ley que prohíbe la quema en pie de cultivos como método de cosecha de la caña de azúcar”: Opinión del Minam correspondiente al 13 de mayo del 2022

Tabla 24. Aportes al Proyecto de ley N.º 1259/2021-CR

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 1. Objeto de la ley La presente ley tiene por objeto prohibir la quema en pie de cultivos como método previo de cosecha de la caña de azúcar y otorgar un plazo a los productores para el desarrollo e implementación de procedimientos de cosecha con tecnologías limpias en resguardo de la salud pública y la conservación ambiental.</p>	<p>Aporte de UNIDA, DGCA y OEFA</p> <p><i>Artículo 1. - Objeto de la ley</i></p> <p><i>La presente ley tiene por objeto prohibir la quema de caña de azúcar en pie como método previo de cosecha, así como regular el establecimiento de un plazo de adecuación para que los productores desarrollen e implementen procedimientos de cosecha que no deterioren la calidad del aire, ni afecten a la salud de la población.</i></p> <p>De igual manera, se indica que es necesario tener en cuenta que existen dos tipos diferentes de agentes que realizan la quema de caña de azúcar: i) las grandes empresas que cultivan y procesan sus propios cultivos, que pertenecen al sector industria, y ii) los pequeños agricultores que cultivan y entregan su cosecha a otras personas, quienes pertenecen al sector agricultura. En ese sentido, de lo dispuesto en el proyecto de ley, no se precisa si sus disposiciones serán aplicables solo a los ingenios azucareros o se aplicará también a los pequeños agricultores, muchos de los cuales tienen pequeños campos de cultivo. Dado que ambos grupos de administrados recaen dentro de la competencia de fiscalización ambiental del OEFA, esta entidad recomienda incluir en la norma un artículo que precise su ámbito de aplicación y señale si los dos tipos de agentes estarán comprendidos en este régimen. Asimismo, en caso de que la norma sea aplicable a los pequeños agricultores, se recomienda que contemple opciones para el reemplazo de la quema que resulten factibles económicamente para ellos.</p>

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 2. Prohibición expresa Prohíbese la quema en pie de cultivos como método previo de cosecha de la caña de azúcar, por su alto nivel de daño al medio ambiente, suelo, la salud pública y el ecosistema, debiéndose agregar el incumplimiento a esta prohibición como una causal de falta administrativa muy grave, sujeta a la potestad sancionadora del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).</p>	<p>Aporte de UNIDA, DGCA y OEFA</p> <p>Artículo 2.- Prohibición expresa</p> <p><i>Prohíbese la quema en pie de cultivos como método previo de cosecha de la caña de azúcar, así como la autorización para el desarrollo de nuevos proyectos de inversión agrícolas y agroindustriales y/o el incremento de nuevas áreas de proyectos agrícolas en curso, que impliquen la quema controlada de la caña de azúcar como parte del proceso de producción agrícola; debido a su impacto negativo en el ambiente y la salud pública.</i></p> <p>Además, se recomienda que el Proyecto de ley comprenda a los productores informales de caña de azúcar (arrendatarios, áreas no declaradas, otros), a fin de que las futuras normas reglamentarias desarrollen las medidas correspondientes para este caso.</p> <p>En el artículo 2 del proyecto legislativo, se debe utilizar el término "infracción" en lugar de "falta administrativa" para referirse al incumplimiento de la prohibición, en concordancia con lo dispuesto en el literal c) del numeral 11.1 del artículo 11 de la ley N.º 29325, ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Sinefa).</p>
<p>Artículo 3. Plazo de implementación de tecnologías limpias Encárguese al Poder Ejecutivo, establecer un plazo máximo improrrogable para que los productores de caña de azúcar desarrollen e implementen procedimientos de cosecha mecanizada en verde u otro similar.</p>	<p>Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Semanp)</p> <p>El Poder Ejecutivo debe establecer un plazo máximo improrrogable para que los productores de caña de azúcar desarrollen e implementen procedimientos de cosecha mecanizada u otro similar; sin embargo, se debe considerar que este cultivo es producido no solo por las empresas agroindustriales, sino también, por pequeños agricultores, quienes alimentan a la producción de las compañías azucareras, generando así puestos de trabajo a parte de la población local. Por consiguiente, en relación con los pequeños agricultores, el Semanp recomienda que el Estado elabore una propuesta para asumir el costo de implementar una cosecha mecanizada, establezca los incentivos que serán otorgados y cree alternativas de ocupación laboral para la población local dedicada a esta actividad.</p> <p>Aporte de UNIDA, DGCA y OEFA</p> <p>El artículo 3 dispone que el Poder Ejecutivo debe establecer un plazo máximo para que los productores de caña de azúcar desarrollen e implementen procedimientos de cosecha mecanizada en verde u otro similar. Sin embargo, no se precisa si la prohibición entrará en vigor al término de dicho plazo o con la entrada en vigor de la ley.</p> <p>Finalmente, se propone la siguiente redacción:</p> <p>Artículo 3. Plazo de implementación de tecnologías limpias</p> <p><i>Encárguese al Poder Ejecutivo, establecer un plazo máximo improrrogable para que los productores de caña de azúcar desarrollen e implementen procedimientos de cosecha mecanizada en verde u otro similar, así como que propongan las medidas a adoptar para mitigar los impactos ambientales de tales procedimientos.</i></p>

Continuación tabla 24...

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 4. Plan de Adecuación El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego en coordinación con el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de la Producción (Produce), elaboran el Plan de Adecuación para reemplazar la cosecha de caña de azúcar mediante la quema en pie por otros métodos que no sean nocivos para la salud pública y el medio ambiente.</p>	<p>El artículo 4 establece que el Midagri y Produce elaboran el Plan de Adecuación para reemplazar la cosecha de caña de azúcar mediante la quema en pie por otros métodos que no sean nocivos para la salud pública y el medioambiente. Sin embargo, no se precisa si la prohibición establecida en el artículo 2 entrará en vigor una vez vencido el plazo para ejecutar el plan de adecuación al que se refiere el artículo 4.</p> <p>Finalmente se propone la siguiente redacción:</p> <p><i>Artículo 4. - Plan de Adecuación</i></p> <p><i>4.1 El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego en coordinación con el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de la Producción (Produce), elabora el Plan de Adecuación para reemplazar de manera progresiva la cosecha de caña de azúcar mediante la quema en pie por otros métodos que no sean nocivos para la salud pública y el medioambiente.</i></p> <p><i>4.2. La vigencia del Plan de Adecuación al que se refiere el párrafo precedente corresponde al plazo previsto en el artículo 3."</i></p>

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 5. Excepciones Los productores de caña de azúcar con autorizaciones de quema en pie vigentes; pueden continuar realizando esta técnica de cosecha siempre y cuando sus cultivos se encuentren ubicados en un radio perimetral alejado de localidades en los que se registre vivencia, áreas naturales protegidas, áreas de investigación arqueológica, áreas de aeropuertos y pistas aéreas, áreas destinadas a la generación y transmisión eléctrica, entre otras. Las distancias mínimas, áreas específicas, condiciones climatológicas y demás especificaciones técnicas para el correcto manejo controlado de la quema de cultivos en pie las determinan las instituciones gubernamentales competentes en cada materia.</p>	<p>A fin de poder tipificar la conducta, los alcances de la prohibición deben estar claramente establecidos, por lo que sería necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Que se definan los efectos del plazo previsto en el artículo 3 respecto de la prohibición (ii) Que se especifique si la prohibición entrará en vigor al término del plazo de ejecución del plan previsto en el artículo 4 (iii) Que se establezca la distancia dentro de la cual se permitiría realizar actividades de quema controlada según el artículo 5 <p>De igual manera, se sostiene que, desde el punto de vista técnico, resulta complicado prohibir la quema en pie de cultivos como método previo de cosecha de la caña de azúcar en su totalidad, y lograr que las empresas se adecúen de forma inmediata.</p> <p>Por ello, se recomienda tomar en cuenta también que las plantaciones de caña por lo general tienen en promedio 7 a 8 cortes durante su etapa de vida útil y cada corte se realiza a partir de los 12 meses aproximadamente. Al prohibir de forma inmediata la cosecha mediante quema, no queda claro qué se hará con las plantaciones que se encuentran en su primer o antes de su último corte.</p> <p>En efecto el contar con un plazo de adecuación resulta importante respecto de los administrados que no estén comprendidos en los alcances de las excepciones del artículo 5, es decir, quienes estén cerca de localidades con habitantes que cuenten con autorización de quema y que posean extensas áreas de cultivo. En esos casos podría proponerse un cronograma con metas de porcentaje de reducción paulatina de la quema en lugar de una prohibición inmediata a fin de que encuentren medidas para reemplazar dicho procedimiento.</p> <p><i>Artículo 5. - Excepciones</i></p> <p><i>5.1. Los productores de caña de azúcar que, a la fecha de entrada en vigencia de la presente ley, cuenten con instrumentos de gestión ambiental vigentes que contemplen la quema de caña en pie, pueden continuar realizando esta técnica de cosecha siempre y cuando sus cultivos se encuentren ubicados en un radio perimetral alejado de localidades en los que registre vivencia, áreas naturales protegidas, áreas de investigación arqueológica, áreas de aeropuertos y pistas aéreas, áreas destinadas a la generación y transmisión eléctrica, colegios, guarderías o cunas infantiles, asilos, hospitales y postas médicas, entre otras.</i></p> <p><i>5.2. Las distancias mínimas, áreas específicas, condiciones climatológicas y demás especificaciones técnicas para el correcto manejo controlado de la quema de cultivos en pie son determinadas por las instituciones gubernamentales competentes en cada materia y establecidas en el Reglamento de la presente ley.</i></p> <p><i>5.3. En aquellas actividades productivas que tengan 5 o más años de ejecución, la autoridad ambiental competente debe exigir que la modificación o actualización del instrumento de gestión ambiental aprobado contemple la adecuación gradual del proyecto para la cosecha en verde u otro similar, así como las medidas de gestión de los residuos sólidos que se generen</i></p>

Continuación tabla 24...

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 6. Financiamiento La implementación de la presente ley se financia con cargo al presupuesto institucional de las entidades involucradas, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público.</p>	<p>---</p>
<p>Disposición Complementaria y Final ÚNICA. El Poder Ejecutivo a través de los sectores o programas pertinentes, informará anualmente a las Comisión de Descentralización, Regionalización, Gobiernos Locales y Modernización de la Gestión del Estado y la Comisión de Agricultura del Congreso de la República el avance en la implementación de lo prescrito en la presente ley.</p>	<p>Aporte de UNIDA, DGCA y OEFA El aporte es el siguiente: <i>PRIMERA.</i> - El Ministerio de Agricultura y Riego, el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de la Producción informan anualmente a la Comisión de Descentralización, Regionalización, Gobiernos Locales y Modernización de la Gestión del Estado y la Comisión de Agricultura del Congreso de la República el avance en la implementación de lo prescrito en la presente ley.</p> <p>Aporte de UNIDA, DGCA y OEFA El aporte propone: <i>SEGUNDA.</i> - A partir de la entrada en vigor de la presente ley, las disposiciones contenidas en instrumentos de gestión ambiental vigentes que contemplen la quema de caña no pueden ser renovadas.</p> <p>Aporte de UNIDA, DGCA y OEFA El aporte propone: Se recomienda incorporar una disposición complementaria transitoria al proyecto de ley que contemple el supuesto de las unidades que se encuentran en trámite de obtención de certificación ambiental, indicando que aquellas que se encuentren en trámite deberán hacer las modificaciones a su proyecto o instrumento, (de contar con él) a fin de cumplir con esta obligación.</p> <p>Además, se recomienda agregar una tercera disposición complementaria final al proyecto de ley que contemple la aprobación de un reglamento de la norma.</p>

Nota: Elaboración propia.

(---): Sin comentarios.

- Aportes al Proyecto de ley N.º 1304/2021-CR, “ley que prohíbe la quema del cultivo de caña de azúcar previo a su cosecha”: Opinión de Minam de fecha 27 de junio del 2022.

A continuación, se presentan los aportes al Proyecto de ley N.º 1304/2021-CR realizados por el Minam y sus entidades adscritas:

Tabla 25. Aportes al Proyecto de ley N.º 1304/2021-CR

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 1. Objeto La presente ley tiene por objeto prohibir la quema de la caña de azúcar previo a su cosecha a fin de proteger el medioambiente y la salud de la población en general.</p>	<p style="text-align: center;">---</p>
<p>Artículo 2. Prohibición La presente ley, establece las siguientes prohibiciones: 2.1. Queda prohibido que cualquier productor, persona natural o jurídica realice la quema de cultivo de caña de azúcar previo a su cosecha, cual fuere el radio perimetral del cultivo que afecte la salud de la población, que no tenga autorización de las entidades competentes en su materia y/o que expongan al peligro a infraestructuras públicas y/o privadas.</p>	<p>Se sugiere que la referencia a las longitudes sea substituida por la distancia que debe guardar la quema en relación con las ciudades, los centros poblados, los asentamientos humanos, las áreas arqueológicas, las áreas naturales protegidas, etc.</p> <p>Adicional a ello, el Informe N.º 0074-2022-OEFA/DPEF-SMER, de OEFA precisa que existen dos diferentes tipos de agentes que realizan la quema de caña de azúcar: (i) las grandes empresas que cultivan y procesan sus propios cultivos, que pertenecen al sector industria y que serían considerados como productores. Cabe indicar que algunas empresas compran los cultivos de caña de azúcar con proceso de quema a los pequeños agricultores, y (ii) los pequeños agricultores que cultivan y entregan su cosecha a otras personas y empresas, quienes pertenecen al sector agricultura.</p>

(---): Sin comentarios.

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Artículo 3. Infracciones</p> <p>Son infracciones a la presente ley:</p> <p>Infracción leve:</p> <p>a) No encontrarse inscrito en el Registro de Productores de caña de azúcar, y extensiones del cultivo industrial, no autorizados.</p> <p>Infracciones graves:</p> <p>a) Cultivar la caña de azúcar dentro de un radio perimetral de un (01) kilómetro desde los bordes de la infraestructura pública y/o privada.</p> <p>b) No contar con autorización de la entidad competente, para que se realice la quema de cultivo de caña de azúcar previo a su cosecha.</p> <p>Infracción muy grave:</p> <p>a) Realizar la quema de cultivo de caña de azúcar previo a su cosecha, cual fuere el radio perimetral del cultivo que afecte la salud de la población, causar daño a infraestructuras públicas y/o privadas y no contar con la autorización de la entidad pertinente.</p>	<p>Respecto al artículo 3 del proyecto de ley, en cuanto a infracciones leves, el OEFA advierte que la normativa vigente no contempla el registro de productores de caña de azúcar y extensiones de cultivo industrial, así como tampoco la obligación de estar inscrito en él. Por ello, a fin de que dicha infracción sea viable, se recomienda incluir en la iniciativa legislativa la creación del registro de caña de azúcar y extensiones de cultivo industrial, así como la obligatoriedad de la inscripción en el mencionado registro. Para la creación del registro de productores de caña de azúcar, se recomienda precisar qué entidad será la que lleve su administración y cómo se tendrá acceso a dicho registro.</p> <p>Por ello, el OEFA considera que se deben especificar los plazos de aplicación de la norma considerando lo siguiente: (i) que se defina en qué momento entra en vigor la prohibición del cultivo mediante la quema de caña de azúcar; y (ii) que se establezca en qué supuestos y bajo qué parámetros estaría permitido la quema de caña de azúcar, a fin de que las autoridades puedan brindar las autorizaciones bajo parámetros previamente establecidos.</p> <p>El OEFA recomienda contar con un plazo de adecuación para que los administrados puedan solicitar las autorizaciones correspondientes o, en su defecto, adoptar mecanismos alternos para la cosecha de caña de azúcar.</p> <p>Por su parte, el Semamp en su Informe Técnico Legal N.º 023-2022-Semamp-DGANP-OAJ señala que la propuesta buscaría por un lado prohibir la quema de la caña de azúcar previo a su cosecha a fin de proteger el medioambiente y la salud de la población en general, mientras en sus artículos 2, y 3 se señala que esta actividad podría permitirse de contar con la autorización de las entidades competentes en su materia, lo cual resulta contradictorio a objeto que se pretende regular. Por eso, el Semamp sugiere que este aspecto sea analizado por las autoridades correspondientes a fin de fijar una posición al respecto.</p>
<p>Artículo 4. Sanciones</p> <p>El Poder Ejecutivo establece las sanciones que correspondan a las infracciones establecidas en el artículo 3º de la presente ley, sin perjuicio de las responsabilidades civiles y penales a que hubiere lugar.</p>	<p>De otro lado, sobre el artículo 4 del Proyecto de ley, teniendo en cuenta que el OEFA es la entidad competente para fiscalizar al sector industria y agricultura, esta entidad recomienda que se señale expresamente que la escala de sanciones será aprobada por el OEFA en cumplimiento de lo dispuesto en el literal a) del numeral 11.2 del artículo 11 de la ley N.º 29325, ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Sinefa).</p>

Continuación tabla 25...

Proyecto de ley	Aportes del Minam
<p>Disposición complementaria y finales</p> <p>Primero. - Vigencia de la ley La presente ley entrará en vigencia a partir del día siguiente de su publicación en el Diario el Peruano.</p>	<p>Disposición complementaria y finales</p>
<p>Segunda. - Reglamento El Poder Ejecutivo reglamentará la presente ley, dentro del plazo de noventa (90) días calendarios contados desde la publicación en el Diario el Peruano</p>	<p>En el Informe N.º 0074-2022-OEFA/DPEF-SMER, el OEFA recomienda que el reglamento aborde los siguientes temas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Determinar los plazos de adecuación. b) Determinar las distancias mínimas de quema. Sobre este punto, se recomienda que el Reglamento establezca una distancia estándar para todos los administrados que actualmente operan, independientemente de los modelamientos atmosféricos. d) Establecer el contenido del plan de adecuación. e) Regular la adopción de medidas de mitigación en caso de titulares que cuenten con instrumentos de gestión ambiental que contemplen la quema de caña. f) Otras consideraciones necesarias para que el Ministerio de Agricultura y Riego y el Ministerio de la Producción puedan dar cumplimiento a lo dispuesto en el proyecto de ley.

Nota: Elaboración propia.

A la fecha el Congreso de la República ha continuado el proceso de aprobación de los proyectos antes revisados y posee el siguiente estatus:

Tabla 26. Estatus de los proyectos de ley del Congreso de la República del Perú

Proyecto	Comisión	Estado	Proponente	Título	Oficio de opinión sectorial
Proyecto 1115/2021-CR	Comisión de Pueblos Andinos, Amazónicos y Afroperuanos, Ambiente y Ecología (CPAAAAE)	En comisión	MULTIPARTI-DARIO	ley que Regula la Gestión y el Manejo del Cultivo de la Caña de Azúcar, Prohibiendo su Quema y Optimizando el Manejo de los Residuos Sólidos	OFICIO N.º 00142-2022-Minam/DM del 18/04/2022
Dictamen Recaído en los PL 1259 Y 1304	Comisión Agraria	Dictamen favorable del 2/3/2023, enviado al pleno del congreso	VICTOR FLORES	ley que Prohibe la Quema en Pie de Cultivo como Método de Cosecha de la Caña de Azúcar	OFICIO N.º 00248-2022-Minam/DM del 14/06/2022
			JAVIER PADILLA	ley que Prohibe la Quema del Cultivo de Caña de Azúcar Previo a su Cosecha	OFICIO N.º 00319-2022-Minam/DM del 27/07/2022

Nota: Elaboración propia.

Los aportes principales brindados por el Minam y sus órganos adscritos como el OEFA priorizan lo siguiente:

- Dado que el OEFA supervisa la actividad agraria ha identificado que los pequeños agricultores cosechan caña mediante el proceso de quema y en su mayoría venden su

cosecha a las grandes empresas. Por eso es necesario regular las acciones de dichos administrados, considerando sobre todo incentivos para los cambios en el proceso productivo.

- Dado que el proceso de cosecha actual y su innovación a tecnología limpia está ligado a la actividad agraria es relevante que el Midagri participe como líder técnico en el establecimiento del plan de adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar y el reglamento de la propuesta de ley.
- Asimismo, el Minam, junto a sus órganos adscritos, considera que la aplicación de la ley debe darse con dos escenarios:
 - i. Para proyectos nuevos, la prohibición debe ser total desde el inicio para que ningún agente que busque realizar esta actividad sea autorizado a quemar caña a partir de la entrada en vigor de la ley.
 - ii. Para proyectos que ya se encuentran en marcha, la prohibición deberá ser gradual en un periodo de tiempo determinado por el Midagri y Produce.
- Por otro lado, debe establecerse claramente la oportunidad de la aplicación de la ley, considerando el establecimiento del plan de adecuación para la erradicación de la quema de caña de azúcar, pues habrá una primera fase transitoria.
- De manera coordinada Produce y Midagri, con la opinión favorable del Minam, propondrán el contenido del plan de adecuación de los titulares con actividades en curso, el cual poseerá los cronogramas detallados en la tabla 27.
- Midagri debe coordinar y proponer con los cañicultores un plan de adecuación considerando incluso a los pequeños

agricultores, que en la práctica no cuentan con un instrumento de gestión ambiental, con la finalidad de proponer incentivos para la transición a la cosecha en verde.

- Se debe regular la adopción de medidas de mitigación en caso de titulares que cuenten con instrumentos de gestión ambiental que contemplen la quema de caña. Al respecto, se sugiere contemplar que los órganos certificadores exijan la implementación de medidas de mitigación para los casos de quema de caña controlada que estén contempladas en el IGA, especialmente en los casos que se reportan como emergencias ambientales.

5.2.3 Aporte al reglamento de la ley a partir de la investigación

La investigación aplicada en todo su contexto (la metodología, la medida dictada por el OEFA, la actualización del IGA, la respuesta del administrado, entre otros) da cuenta de una buena práctica empresarial y el reconocimiento del ente regulador. Por eso, se proponen aportes técnicos (ya validados) que podrán ser considerados en una próxima reglamentación de la ley que prohíba la quema de caña de azúcar:

Tabla 27. Aportes regulatorios a la propuesta de reglamento de la ley que regula la quema de caña en pie y establece disposiciones para su erradicación

N.º	Regulación propuesta	Condición de la norma	Infracción por incumplimiento
1	<p>Prohibición de quema de caña como parte del proceso de producción agrícola para las siguientes condiciones:</p> <p>a) Nuevos proyectos agrícolas b) Incremento de nuevas áreas de proyectos agrícolas en curso</p> <p>A partir de la entrada en vigencia del reglamento de la ley.</p>	<p>A partir de la entrada en vigor del reglamento de la ley, queda prohibida la quema de caña como parte del proceso de producción agrícola en nuevos proyectos agrícolas y el incremento de nuevas áreas de proyectos agrícolas en curso</p>	Muy grave

Continuación tabla 25...

N.º	Regulación propuesta	Condición de la norma	Infracción por incumplimiento
2	<p>Plazos de adecuación:</p> <p>i. Plazo de adecuación: ocho años, desde la entrada en vigencia del reglamento de la presente ley, lo cual implica que, posterior a dicho plazo, el sistema de cosecha del cultivo debe realizarse con tecnología limpia y tampoco se adquirirá producción agrícola que proceda de campos cosechados mediante quema en pie.</p>	<p>En un plazo no mayor a ocho años, desde la entrada en vigencia del reglamento de la presente ley, todos los titulares que realizan la actividad de cultivo y cosecha de caña de azúcar deben implementar, en sus procesos de producción agrícola, sistemas de cosecha de cultivos con tecnologías limpias en la totalidad de sus áreas cultivables, ya que queda prohibida la quema de caña, así como la adquisición de producción agrícola que haya sido cosechada mediante esta práctica erradicada.</p>	Muy grave



Continuación tabla 25...

N.º	Regulación propuesta	Condición de la norma	Infracción por incumplimiento
3	<p>Gradualidad:</p> <p>Plan de adecuación para los titulares de actividad en curso y su respectivo cronograma con un horizonte de ocho años:</p> <p><u>a) Cronograma anual de cosecha mediante quema controlada de caña de azúcar</u></p> <p>Presentación del cronograma anual de cosecha mediante quema controlada de caña de azúcar dentro de los primeros quince días hábiles del año al OEFA con copia a su autoridad competente.</p> <p><u>b) Cronograma de transición a la cosecha en verde</u></p> <p>Se deberá considerar un cronograma de adecuación de los campos de cultivo para migrar a la cosecha en verde, el cual deberá ser parte de los IGA aprobados por el ente certificador. El cronograma deberá precisar de forma detallada:</p> <p>i. La ubicación exacta de los campos de cosecha en verde y el tiempo de adecuación de estos, año a año, hasta completar lo que indica el estudio de modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.</p> <p>ii. Los porcentajes programados anualmente de cosecha en verde. De acuerdo con ello, los campos cosechados en verde, según el cronograma, continuarán bajo el mismo método de cosecha los años siguientes, por lo que no está permitido el retroceso del compromiso.</p>	<p><u>Considerando 1</u></p> <p>Los titulares de las actividades en curso que realicen la quema de caña en el proceso de producción agrícola en el territorio nacional, en tanto dure el plazo de adecuación, presentan el cronograma anual de quema de caña dentro de los primeros quince días hábiles del año al OEFA con copia a su autoridad competente. Dicho cronograma tiene carácter de declaración jurada y es de obligatorio cumplimiento.</p> <p><u>Considerando 2</u></p> <p>El titular debe actualizar su instrumento de gestión ambiental, que debe contener el cronograma de adecuación de los campos de cultivo para migrar a la cosecha en verde, considerando el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos, el cual identifica centros poblados y entornos vulnerables y a partir de ello diseña su adecuación considerando lo siguiente:</p> <p>i. Ubicación exacta de los campos de cosecha en verde y el tiempo de adecuación de estos año a año hasta completar lo que indica el estudio de modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.</p> <p>ii. Los porcentajes programados anualmente de cosecha en verde. De acuerdo con esto, los campos cosechados en verde, según el cronograma, continuarán bajo el mismo método de cosecha los años siguientes, por lo que no está permitido el retroceso del compromiso.</p>	<p>Muy grave</p>

Continuación tabla 25...

N.º	Regulación propuesta	Condición de la norma	Infracción por incumplimiento
4	Comunicar al OEFA y el certificador la modificación del cronograma anual de quema de caña de azúcar controlada, con no menos de diez días hábiles de anticipación previos a la nueva fecha de quema.	En caso se realice una variación al cronograma anual de quema de caña de azúcar controlada, el titular deberá comunicar a las autoridades (el OEFA y el certificador) con no menos de diez días hábiles de anticipación previos a la nueva fecha de quema.	Muy grave
5	Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos: En el plazo no mayor de un año, todas las empresas que se dediquen actualmente a la actividad de cosecha mediante quema de caña de azúcar deberán realizar un estudio de modelamiento de dispersión, el cual debe cumplir con lo indicado en el Manual Técnico para la Elaboración de Documentos Técnicos sobre Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos elaborado del Senamhi, el cual deberá ser aprobado por el ente certificador.	En un plazo no mayor de un año, contado desde la entrada en vigencia del reglamento de la ley, los titulares que realizan la cosecha mediante quema de caña de azúcar en el proceso de producción agrícola deben desarrollar estudios de modelamiento de dispersión de contaminantes para establecer la distancia y otros criterios técnicos: a) Centros urbanos y rurales b) Centros de atención de salud, instituciones educativas, albergues (niños y ancianos) c) Vías de transporte terrestre, aeropuertos, aeródromos, helipuertos, puertos, y embarcaderos d) Otros cultivos y entornos vulnerables	Muy grave
6	Será compromiso del administrado en caso de actualización o modificación del IGA: i. Realizar el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos (determinación del riesgo) para definir la distancia mínima de quema de caña de azúcar según el modelo de dispersión (DMQCMD) a fin de comparar la distancia mínima de quema de caña (DMQC) actual del titular, para lo cual se aplicará el siguiente criterio: •Si DMQCMD obtenida en el modelo es mayor que DMQC actual del titular, se tomará la DMQCMD. •Si DMQCMD obtenida es menor o igual que DMQC, se tomará la DMQC.	Dicho modelamiento debe cumplir con lo establecido en el Manual Técnico para la Elaboración de Documentos Técnicos sobre Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos, elaborado por el Senamhi.	Muy grave

Continuación tabla 25...

N.º	Regulación propuesta	Condición de la norma	Infracción por incumplimiento
7	<p>Horarios de quema</p> <p>Los horarios de quema deben ser determinados por los estudios de modelamiento de dispersión atmosférica, los cuales deben cumplir con lo indicado en el Manual Técnico para la Elaboración de Documentos Técnicos sobre Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos, elaborado por el Senamhi. Dicha programación debe ser aprobada por el ente certificador.</p>		Muy grave
8	<p>Comunicación por programación de quema:</p> <p>Las empresas azucareras, con una anticipación de 48 horas, comunicarán las acciones de quema de caña al OEFA a través de los canales que determine la población cercana a la zona de quema, mediante plataforma virtual, volantes, diarios, cartas a autoridades/líderes, perifoneo u otro medio efectivo.</p>		Muy grave

Nota: Elaboración propia.

Algunas precisiones

Las distancias mínimas basadas en estudios de dispersión de contaminantes atmosféricos contemplan aspectos relevantes para el Senamhi, la entidad certificadora y la fiscalizadora. Por eso, los modelamientos deben contener:

- i. Detalles de las características de las áreas específicas en las que se pueden realizar acciones de quema controlada
- ii. Selección de campos de cultivo para cosecha mediante quema en pie en campos alejados de los centros poblados, centros

de salud, albergues, instituciones educativas, albergues (niños y ancianos), vías de transporte terrestre, aeropuertos, aeródromos, helipuertos, puertos, y embarcaderos, otros cultivos y entornos vulnerables

- iii. Horarios de quema en función a la velocidad y dirección del viento

De acuerdo con los trabajos ejecutados por el OEFA, las distancias de restricción de quema de caña de azúcar se establecen caso a caso. Por esa razón, el establecimiento de la distancia puede variar de centro poblado a centro poblado y de administrado a administrado.







CONCLUSIONES

- **Respecto a la determinación de las distancias usando *software* AERMOD**

Mediante el uso del *software* AERMOD de la EPA, el Senamhi pudo determinar nuevas distancias de restricción de quema de campos de cultivo aledaños a los centros poblados La Huaca y La Rinconada.

En el centro poblado La Huaca, la distancia referencial, para no exceder los ECA para aire en los parámetros PM_{10} y $PM_{2,5}$, es de 4 425 m y 4 165 m, respectivamente, desde la zona de quema del cultivo hacia el centro poblado, en dirección de la predominancia de los vientos (sureste, sur, este, sursureste, sursuroeste). Cabe resaltar que la distancia de 4 425 m asegura el cumplimiento de los ECA para aire para ambos parámetros.

En el centro poblado La Rinconada, la distancia referencial para no exceder los ECA para aire para PM_{10} es de 5 675 m y para $PM_{2,5}$ es de 7 092 m, desde la zona de quema al referido centro poblado y en dirección de la predominancia del viento (suroeste y este sureste). Cabe resaltar que la distancia de 7 092 m asegura el cumplimiento de los ECA para aire de ambos parámetros.

- **Conclusiones específicas**

- **Respecto a la validación las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) en aire, entre los datos obtenidos mediante el uso del *software* AERMOD y lo recolectado en campo**

Del análisis estadístico entre las concentraciones recolectadas en campo mediante las estaciones de monitoreo y las concentraciones teóricas obtenidas gracias el uso del *software* AERMOD, se puede indicar que existe una relación continua entre las concentraciones observadas y modeladas.

Además, se puede afirmar que no existe una diferencia significativa entre lo modelado y lo observado para los días y condiciones meteorológicas de cuando se realizó el estudio. Con esto, se estaría rechazando la hipótesis nula (H0) y se estaría aceptando la hipótesis alterna (H¹), la cual afirma que la concentración de los valores PM₁₀ y PM_{2,5} observados en campo no difieren de los valores modelados obtenidos a través del uso del *software* Aermod.

- **Respecto a la diferencia de distancia mínima realizada por el administrado Agroaurora S.A.C. en su EIA-sd del 2017 y lo realizado por el OEFA mediante el uso del software Screen3**

Para determinar distancia mínima de quema controlada de caña de azúcar (1 562 m) haciendo uso del Screen3 en su EIA-sd del 2017, el administrado Agroaurora S.A.C. ingresó datos teóricos de entrada al *software*, ya que en ese momento todavía no operaba. El administrado determinó la distancia ingresando un área de quema controlada de 10 ha. y una velocidad del viento mínima de 1,62 m/s comprendida entre las 23:00 y las 02:00 horas. Durante la evaluación realizada por el OEFA en el 2018, el administrado ya estaba operando, por lo que se pudo registrar datos reales de áreas de quema de 19,31 ha/día, en horarios entre las 00:00 y las 04:00 horas.

De acuerdo con el modelamiento de dispersión de PM₁₀ y PM_{2,5} realizado por el OEFA, se utilizó como velocidad promedio 1,17 m/s, valor obtenido por las estaciones de monitoreo en la zona de estudio, con lo cual se obtuvo distancias reales que fueron diferentes al estudio teórico realizado por Agroaurora S.A.C. en el 2017. Para La Huaca se estableció como distancia 4,2 km, y para La Rinconada, 5,0 km, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas diarias¹⁸. Este cálculo se debe principalmente a las diferencias de ingreso de áreas y a los horarios de quema.


18 Las distancias obtenidas pudieron ser determinadas debido a que durante el periodo de evaluación se realizó la quema de caña de azúcar en áreas cercanas a dichos centros poblados.

- **Respecto a las propuestas técnico-normativas**

Actualmente existen dos proyectos de ley en proceso: el Proyecto de Ley N.º 1115/2021-CR y el proyecto de ley integrado 1259 y 1304. De la revisión de ambos, se puede apreciar que no incorporan al Midagri para la realización y aprobación del plan de adecuación de la erradicación de la cosecha mediante quema en pie del cultivo de caña de azúcar considerando que posee un gran número de agricultores abocados a este cultivo, ni en el reglamento de la ley.





The background of the image is a dramatic night scene. The upper portion shows a dark, turbulent sky with a large, bright orange and yellow fire or explosion. The lower portion shows a body of water reflecting the intense light from the fire, creating a shimmering, golden glow. The overall mood is one of power and transformation.

OPORTUNIDADES DE MEJORA

- **Para el OEFA**

1. El uso de modelos de dispersión para determinar áreas restringidas de quema de caña de azúcar es relativamente nuevo en nuestro país, debido principalmente a que no formaba parte de los IGA. Sin embargo, confirmada su gran utilidad, se recomienda a las direcciones de línea del OEFA que consideren ampliar su uso en evaluaciones o supervisiones de fundiciones y ladrilleras. También, se podría utilizar en la evaluación y supervisión de actividades de la industria manufacturera que contemplen cogeneración eléctrica a partir de biomasa, actividades de fabricación de productos minerales no metálicos que comprendan hornos no artesanales, entre otras.
2. Se sugiere convocar a la academia a los estudios del OEFA para incorporar progresivamente el modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos en los currículos de los estudios de pregrado en las universidades. Esto se puede concretar difundiendo, junto al Senamhi, el Manual Técnico para la Elaboración de Documentos Técnicos sobre Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos de su autoría.

- **Para el Minam**

1. Se recomienda solicitar al Produce que los términos de referencia de los instrumentos de gestión ambiental correctivos contemplen modelamientos de dispersión de contaminantes atmosféricos basados en la Resolución de Presidencia Ejecutiva N.º 053-2021-SENAMHI/PREJ “Manual técnico para la elaboración de documentos técnicos sobre modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos”, pues actualmente solo se mencionan tres criterios que según el detalle del manual precitado son insuficientes.

2. Se sugiere coordinar con el Midagri que el nuevo Reglamento de Gestión Ambiental Agrario, que se encuentra a nivel de propuesta, contemple la erradicación de quema de caña en pie para nuevos titulares que inician la actividad de cultivos o para titulares que ampliarán sus plantaciones.

- **Para el Congreso de la República**

1. Dado que la problemática de quema de caña en pie se presenta en diversos territorios del país, el Congreso de la República hace bien en promulgar una ley que acelere el cumplimiento de prácticas que protejan a las poblaciones y el medioambiente. Es necesario que los plazos de adecuación sean cortos, considerando las capacidades de adecuación de los administrados. Además, es importante tener en cuenta que el establecimiento de las distancias mínimas de quema es solo la primera parte de la solución, ya que parte del planeamiento de los administrados implicará acondicionar los campos considerando la nivelación del terreno, el diseño de campo y la distancia entre surcos, la conformación de surcos, el establecimiento de cabeceras y zonas de trasbordo para las maquinarias, la adquisición de maquinarias, el reúso de residuos orgánicos poscosecha, etc. Por eso, no se deberá descartar la posibilidad de establecer incentivos económicos a pequeños agricultores y medianas y grandes empresas.

- **Para el Produce**

1. Produce debe consultar con el Senamhi la revisión oportuna de los modelamientos de dispersión de contaminantes atmosféricos presentados por el administrado, para verificar la idoneidad de la información y salvaguardar la salud de las personas y su entorno, en el marco de las leyes ambientales vigentes del sector¹⁹. Cabe resaltar que en el futuro se podrá considerar su opinión vinculante.

¹⁹ Resolución Ministerial N.º 466-2019-Produce, Aprueban términos de referencia para la elaboración de los instrumentos de gestión ambiental correctivos de la industria manufacturera y de comercio interno.

2. Se sugiere capacitar a los funcionarios que trabajan en la disciplina ambiental, respecto al uso de modelos de dispersión de contaminantes.
3. Respecto a la actualización del IGA, el Senamhi no debe permitir retroceder en la reducción del área de cosecha en verde. Pese a que no hay norma expresa, se debe respetar el principio de la prevención de la Ley General del Ambiente, a fin de minimizar o mitigar los impactos de un proceso no sostenible. Por ende, se debe evitar la variación del nivel del impacto negativo ocasionado por esta quema.
4. De acuerdo con el caso de estudio la atención de la actualización del IGA fue de trece meses, lo cual excede el plazo establecido en el Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno (Decreto Supremo N.º 017-2015-Produce), que considera solo noventa días hábiles para este tipo de procedimiento.


- **Para el Midagri**

1. Se recomienda que este ministerio formule un plan de adecuación considerando a los pequeños agricultores y contemplando incentivos financieros a través de los fondos especiales que puedan gestionarse (Agrobanco, Programa de Compensaciones para la Competitividad o Agroideas, entre otros).
2. Se sugiere que el Midagri desarrolle un plan de capacitación, socialización y promoción de incentivos para la migración a la cosecha en verde.

- **Para los administrados**

1. Se recomienda que los administrados revisen su proceso de cosecha mediante quema en pie de caña de azúcar, ya que trae consigo costos externos, a través de la defensa de los procesos sancionadores.
2. Se sugiere que los administrados consideren que los modelamientos deben hacerse en las condiciones de máxima capacidad de producción y velocidad, y que los diversos sentidos del viento pueden afectar determinadas zonas del área de influencia.
3. Se recomienda que apliquen la metodología de modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos, pues evidencia objetivamente si sus actividades afectan o no a la población circundante.
4. Los administrados deben socializar con la ciudadanía del área de influencia ambiental los resultados del modelamiento de dispersión de los contaminantes atmosféricos y los compromisos de adecuación de acuerdo con las distancias de restricción y la programación progresiva de su evolución a cosecha en verde. Esto debe realizarse el marco de la actualización del IGA y considerando el Decreto Supremo N.º 014-2022-Produce, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Participación Ciudadana en la Gestión Ambiental de la Industria Manufacturera y Comercio Interno. Mediante este mecanismo se evitan conflictos sociales entre el administrado y la sociedad civil, debido a la comunicación entre las partes interesadas.





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrobanco (2011). *Guía técnica curso-taller “Manejo integrado de cultivo de caña de azúcar”*. Agrobanco. https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Cania/MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_CANA_DE_AZUCAR.pdf

Akagi, S.K., Yokelson, R.J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M.J., Reid, J.S., Karl, T., Crouse, J.D., y Wennberg, P.O. (2010). Factores de emisión para la quema de biomasa doméstica y al aire libre para su uso en modelos atmosféricos. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, (11), 4039-4072.

Cabrera, J. (2012). *Aplicación de un modelo de dispersión atmosférica* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica del Valparaíso]. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3110_01.pdf

Comisión Agraria del Congreso de la República del Perú (09 de noviembre del 2022). *Acta de la séptima sesión ordinaria de la primera legislatura ordinaria*. https://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2022/Agraria/files/acta_septima_sesion_ordinaria_09-10-2022.pdf

Cortés, E. (2003). Comportamiento de la ceniza (Pavesa) generada en quemas de caña, según datos de viento suministrados por una red meteorológica automatizada. Congreso de Atacori “José Luis Corrales Rodríguez”. Guanacaste, Costa Rica.

Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y establecen Disposiciones Complementarias. 07 de junio del 2017. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>

Environmental Protection Agency [EPA] (s. f.). *Emission factors*. EPA. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/final/c02s05.pdf>

Environmental Protection Agency [EPA] (2001). *Introduction to Area Source Emission Inventory Development, Emission Inventory Improvement Program – EIIIP. Volumen III*. EPA. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/iii01_apr2001.pdf

Espejo, F. (2016). *Variación temporal y espacial de las emisiones del proceso de la caña de azúcar en las zonas de Zacatepec y Jojutla, en Morelos, México*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. Repositorio de la Universidad Autónoma Metropolitana. Metropolitana <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6901>

García, S., Luengo, J. y Herrera, F. (2015). *Data Preprocessing in Data Mining*. Springer.

González-Cruz, M., Pire-Rivas, S., y López-Jiménez, P. (2012). Sensibilidad del modelo ISCST3 en la estimación de contaminantes conservativos: caso de estudio. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(2), 287-298. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62026895008>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco [INECC-UAM] (2016). *Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (CO₂), partículas en suspensión de 2,5 y 10 micras (PM_{2,5} y PM₁₀) y contaminantes de vida corta, metano (CH₄) y carbono negro por prácticas de quema agrícola*. (Informe de contrato N.º INECC/A1-002/2016). INECC-UAM.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2006). *Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

Jurado, O. (2020). *Regulación ambiental y la quema de caña de azúcar en el distrito de La Huaca, Piura, período 2015-2018*. [Tesis de maestría, Instituto de Gobierno y de Gestión Pública de la Universidad de San Martín de Porres]. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/8166>

Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri] (2015). *Ficha Técnica N.º 15 Requerimientos Agroclimáticos de Cultivo de Caña de Azúcar*. Minagri. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha15-azucar.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri] (2017). *Perspectivas de la producción y consumo de caña de azúcar en el Perú (período 2000-2016)*. Boletín: Perfil Técnico N.º 5 - Producción de caña de azúcar en el Perú, perspectivas. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/368/1/boletin-prod-cana-azucar.pdf>

Ministerio del Ambiente [Minam]. (2022a). *Opinión sobre el Proyecto de Ley N.º 1115/2021-CR, “Ley que regula la gestión y el manejo del cultivo de la caña de azúcar, prohibiendo su quema y optimizando el manejo de los residuos sólidos” de fecha 25 de marzo del 2022*. (Informe N.º 00154-2022-MINAM/SG/OGAJ del 25 de marzo del 2022). Minam.

Ministerio del Ambiente [Minam]. (2022b). *Opinión sobre el Proyecto de Ley N.º 1259/2021-CR, “Ley que prohíbe la quema en pie de cultivos como método de cosecha de la caña de azúcar”*. (Informe N.º 00233-2022-MINAM/SG/OGAJ de fecha 13 de mayo de 2022). Minam.

Ministerio del Ambiente [Minam]. (2022c). *Atención de pedido de opinión sobre el Proyecto de Ley N.º 1304/2021-CR, Ley que prohíbe la quema del cultivo de caña de azúcar previo a su cosecha*. (Informe N.º 00319-2022-MINAM/SG/OGAJ). Minam.

Ministerio de la Producción [Produce] (2017). *Evaluación del estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) del proyecto agroindustrial de “Cultivos de caña de azúcar y elaboración de azúcar” de la empresa Agroaurora S.A.C. de fecha 19 de enero de 2017*. (Informe Técnico Legal N.º 085-2017-PRODUCE/DVMYME-I/DIGGAM-DIEVAI). Produce. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/203977/rd0037-2017-produce-diggam.pdf?v=1651778651>

Ministerio de la Producción [Produce]. (2021). *Informe técnico legal de la actualización del EIA-sd de la empresa Agroaurora S.A.C.de fecha 12 de noviembre del 2021*. (Informe N.º 00000026-2021-PRODUCE/DEAM-gmunoz). Produce. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2428220/rd%20594-2021-produce-dgaami.pdf.pdf?v=1637021938>

Montenegro, J. y Chaves, M. (2022). Análisis de ciclo de vida para la producción primaria de caña de azúcar en seis regiones de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*. 56(5), 96-119. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.5>

Mugica, V. (2016). *Determinación de factores de factores de emisión de bióxido de carbono (CO2), partículas de suspensión de 2.5 y 10 micras (PM2.5 y PM10) y contaminantes de vida corta, metano (CH4) y carbono negro por prácticas de quema agrícola. Informe final*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores_de_Emision_de_Quema_Agr cola_CGMCC_2016.pdf

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2016). *La vinculación y la retroalimentación entre la certificación y la fiscalización ambiental*. OEFA. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=17031

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora SAC – Piura, de fecha 4 de marzo de 2019*. (Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC). OEFA.

Riegelhaupt, E., Gutiérrez J. y García C. (2012). *Acciones apropiadas para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y uso eficiente del agua en la agroindustria azucarera de México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/113204/2012_Accion_aprop_mitigacion_EGELYUEA.pdf

Sánchez, D. y Wilcken, D. (2016). *Evaluación de tres modelos de micro-escala (AERMOD, CALINE4 y R-Line) en su aplicación a las vías principales de la ciudad de Bogotá* [Tesis de licenciatura de la Universidad de La Salle]. Repositorio de la Universidad La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1153&context=ing_ambiental_sanitaria.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2019). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora S.A.C.* Senamhi.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (2021). *Manual técnico para la elaboración de documentos técnicos sobre modelamiento de dispersión de contaminantes atmosférico.* Senamhi. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA1377.pdf#page=11&zoom=100,90,916>

Wark, K. y Warner, C. (1990). *Contaminantes del aire: origen y control.* (9a ed.). Limusa.







ANEXOS

Anexo 1: Datos modelados por el Senamhi mediante el software Aermod

5/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>La temperatura alcanzó un máximo de 27,1 °C (12:00 horas) y la humedad relativa, su valor mínimo de 57 % (12:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes desde el suroeste (29,4 %) y otro componente desde el sureste (29,4 %). Sin embargo, es importante señalar que entre las 00:00 y 12.00 horas predominaron vientos desde el este y este-sureste (velocidad máxima 2,2 m/s) mientras que entre las 13:00 y 22:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima 4,9 m/s).</p>	<p>La cobertura nubosa se mostró disminuida (nublado parcial), por lo que contribuyó con el calentamiento de la superficie y la atmósfera adyacente a ella. Además, la altura de la base de las nubes entre las 00:00 y 10:00 horas se presentó debajo de los 700 m y desapareció entre las 11:00 y 17:00 horas.</p>
Contaminante PM ₁₀	Observaciones
<p>Según el modelamiento, las concentraciones alcanzan valores mayores a 100 µg/m³, los cuales se encuentran a una distancia aproximada de 4,5 km al noroeste de las parcelas de quema (B152-070 y B152-080) (ver anexo D: A-1).</p>	<p>Según el modelamiento, las concentraciones de este contaminante pueden variar de 10 a 40 µg/m³ (promedio de 24 horas), dependiendo de la cantidad de material quemado, la extensión de las parcelas quemadas y la meteorología de la zona se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m³) cerca a los centros poblados.</p>
Contaminante PM _{2.5}	Observaciones
<p>De acuerdo con el modelamiento, las concentraciones alcanzan valores por encima de 80 µg/m³, los cuales se encuentran a una distancia aproximada de 4,5 km al noroeste de las parcelas de quema (B152-070 y B152-080) (ver anexo D: A-2)</p>	<p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante pueden variar de 8 a 10 µg/m³, las cuales se encuentran en zonas muy cercanas al centro poblado de La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01). Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 10 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (50 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Distancia crítica de dispersión	<p>Durante el modelamiento para este día, se observa que la pluma de dispersión está dirigida específicamente hacia el centro poblado de La Rinconada y en menor medida hacia La Huaca.</p>

6/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas

Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>La temperatura alcanzó un máximo de 30,3 °C (15:00 horas) y la humedad relativa, como mínimo 45 % (14:00 horas). Esto se debe a que en dichos horarios la cobertura nubosa ya está disminuida, por lo que contribuye con el calentamiento de la superficie y la atmósfera adyacente a ella. Además, la altura de la base de las nubes entre las 00:00 y 11:00 horas se mostró debajo de los 500 m y entre las 12:00 y 21:00 horas se ubicó a alturas superiores a 2.000 m. Respecto a los vientos, predominaron los provenientes desde el este-sudeste (33,3 %) y otros componentes en menor porcentaje. Sin embargo, es importante señalar que entre las 03:00 y 13:00 horas predominaron vientos desde el este y este-sudeste (velocidad máxima: 3,1 m/s) mientras que entre las 14:00 y 22:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima: 5,8 m/s).</p>	<p>Este día ha sido uno de los más cálidos de todo el periodo de análisis. Esta condición pudo haber contribuido con mayor turbulencia durante horario diurno especialmente en horas de la tarde, lo que se refleja en la presencia de varias plumas de dispersión del modelamiento.</p>
Contaminante PM ₁₀	Observaciones
<p>Se tienen concentraciones según el modelamiento por encima de 85 µg/m³, las cuales se encuentran a una distancia aproximada de 4,4 km al oeste noroeste de las parcelas de quema (B152-090 y B152-100) (ver anexo D. B-1)</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado ese día en el punto RINCA-01, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 25 µg/m³ (punto de monitoreo que se encuentra en dirección noroeste de las parcelas de quema B152-090 y B152-100 a una distancia aproximada de 8,8 km) mientras que, en el punto de monitoreo HUA-CA-10 (al norte de las parcelas de quema a una distancia aproximada de 4,8 km), se tiene una concentración de 33 µg/m³.</p> <p>Según el modelamiento, las concentraciones de este contaminante pueden variar entre 10 y 20 µg/m, las cuales se encuentran en zonas cercanas al centro poblado de La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA- 01).</p> <p>Dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría aproximar o superar el ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>

Contaminante PM _{2.5}	Observaciones
Según el modelamiento se alcanzó concentraciones por encima de 54 µg/m ³ , las cuales se encuentran a una distancia aproximada de 4,4 km al oeste noroeste de las parcelas de quema (B152-090 y B152-100) (ver anexo D. B-2)	De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto RIN-CA-01, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 6 µg/m ³ (punto de monitoreo que se encuentra a 8,6 km en dirección noroeste de las parcelas de quema), mientras que en el punto de monitoreo HUA-CA-10 (al norte de las parcelas de quema a una distancia aproximada de 4,8 km), se tiene una concentración de 11 µg/m ³ . Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante pueden variar entre 5 a 20 µg/m ³ , las cuales se encuentran en zonas cercana al centro poblado de La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01). Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 10 µg/m ³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (50 µg/m ³) muy cerca a los centros poblados.
Distancia crítica de dispersión	En ninguna de las estaciones ubicadas en los centros poblados se excede el ECA para aire correspondiente.
7/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
La temperatura alcanzó un máximo de 27,6 °C (14:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 53 % (13:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes del suroeste (33,3 %) y otros componentes en menor porcentaje. Sin embargo, es importante señalar que, entre las 05:00 y 12:00 horas, predominaron vientos desde el este y este sureste (velocidad máxima: 2,7 m/s) mientras que entre las 13:00 y 23:00 horas predominaron los vientos desde el sur y sureste (velocidad máxima: 4,9 m/s).	La cobertura nubosa se mostró mayormente cubierta durante la mañana y dispersando pasado el mediodía con altura de la base de las nubes de 00:00 a 12:00 horas debajo de los 800 m y de 13:00 a 22:00 horas se ubicó a alturas superiores a 5 000 m. La ocurrencia de vientos ha contribuido con la presencia de menor temperatura en relación con el día anterior.

Contaminante PM ₁₀	Observaciones
Según el modelamiento se tienen concentraciones máximas de 659 µg/m ³ , para promedios de 24 horas. Dichas concentraciones se encuentran a los alrededores de las parcelas de quema, (B152-110 y B152-120). (ver anexo D: C-1)	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 41 µg/m³ (punto de monitoreo que se encuentra en dirección norte de las parcelas de quema B152-110 y B152-120).</p> <p>Según el modelamiento, las concentraciones de este contaminante varían de 50 a 60 µg/m³, y se encuentran en zonas muy cercanas al centro poblado La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10, aproximadamente a 4,85 km al norte). Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 20 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Contaminante PM _{2,5}	Observaciones
Alcanzaron según el modelamiento concentraciones máximas de 415 µg/m ³ para promedios de 24 horas. Dichas concentraciones se encuentran a los alrededores de las parcelas de quema (B152-110 y B152-120) (ver anexo D: C-2).	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 10 µg/m³ (punto de monitoreo que se encuentra aproximadamente a 4,8 km en dirección norte de las parcelas de quema).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían de 20 y 40 µg/m³, y se encuentran en zonas cercana al centro poblado de La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10). Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 10 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (50 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Distancia crítica de dispersión	<p>Para el PM₁₀, considerando el límite referencial de 62 µg/m³, se tiene una distancia referencial máxima de 4 425 m desde la zona de quema en dirección al centro poblado La Huaca.</p> <p>Para el PM_{2,5}, considerando el límite referencial de 40 µg/m³, se tiene una distancia referencial máxima de 4 165 m, desde la zona de quema en dirección al centro poblado La Huaca.</p>

8/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas

Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>Este día se puede observar que la temperatura alcanzó como máximo 25,7 °C (14:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 61 % (12:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes desde el suroeste (29,4%) y otros componentes en menor porcentaje. Sin embargo, es importante señalar que entre las 07:00 hasta las 12.00 horas predominaron vientos desde el este y este sureste (velocidad máxima: 1,8 m/s) mientras que entre las 14:00 hasta las 24:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima; 5,4 m/s).</p>	<p>La mayor cantidad de cobertura nubosa contribuyó con temperaturas máximas menores respecto a otros días. Además, la altura de la base de las nubes entre las 00:00 y 13:00 horas se mostró debajo de los 600 m y, entre las 14:00 y 20:00 horas, la base se presentó a alturas superiores a 2 400 m o desapareció.</p> <p>La ocurrencia de vientos de mayor intensidad también ha contribuido con la presencia de menor temperatura máxima en relación con días anteriores.</p>
Contaminante PM ₁₀	Observaciones
<p>Según el modelamiento se tiene una concentración máxima de 612 µg/m³, para el promedio de 24 horas, la cual se encuentra a una distancia aproximada de hasta 2,8 km al noroeste de la parcela de quema (B161 -080 y B151 -090) (ver anexo D: D-1).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto RIN-CA-01, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 21 µg/m³ (punto de monitoreo que se encuentra en dirección noroeste de las parcelas de quema B151-080 y 8151-090).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían de 50 a 80 µg/m³ sobre zonas muy cercanas al centro poblado La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01, aproximadamente a 8,10 km al noroeste de las parcelas de quema) mientras que varían de 20 a 30 µg/m³ sobre zonas muy cercanas al centro poblado La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10, aproximadamente a 4,8 km al norte de las parcelas de quema).</p> <p>Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 30 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>

Contaminante PM _{2.5}	Observaciones
<p>Según el modelamiento se alcanzó una concentración máxima de 385 µg/m³ para el promedio de 24 horas, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 3,0 km al noroeste de las parcelas de quema (B151-080y B151-090) (ver anexo D: D-2).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto RIN-CA-01, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 7 µg/m³ (punto de monitoreo que se encuentra aproximadamente a 8,1 km en dirección noroeste de las parcelas de quema).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 10 y 50 µg/m³ y se encuentran en zonas cercanas al centro poblado de La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01). Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 10 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (50 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
<p>Distancia crítica de dispersión</p>	<p>Centro poblado La Rinconada</p> <p>Para el PM₁₀, considerando el límite referencial de 72 µg/m³, se tiene una distancia referencial máxima de 5 675 m desde la zona de quema en dirección al centro poblado.</p> <p>Para el PM_{2.5}, considerando el límite referencial de 43 µg/m³, se tiene una distancia referencial máxima de 7 092 m desde la zona de quema en dirección al centro poblado.</p> <p>Centro poblado La Huaca</p> <p>Para el PM₁₀, considerando el límite referencial de 62 µg/m³, se tiene una distancia referencial máxima de 3 538,09 m desde la zona de quema en dirección al centro poblado.</p> <p>Para el PM_{2.5}, considerando el límite referencial de 40 µg/m³, se tiene una distancia referencial máxima de 2 631,8 m desde la zona de quema en dirección al centro poblado.</p>

9/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>Este día se puede observar que la temperatura fue como máximo 25,9 °C (14:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 62 % (12:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes desde el suroeste (45,9 %). Sin embargo, es importante señalar que entre las 00:00 y 12:00 horas predominaron vientos desde el este sureste (velocidad máxima: 3,1 m/s) mientras desde las 13:00 horas hacia adelante predominaron los vientos desde el suroeste (velocidad máxima: 4,5 m/s).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (punto de monitoreo que se encuentra en dirección norte de las parcelas de quema B151-080 y B151-090).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 10 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre zonas muy cercanas al centro poblado La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10, aproximadamente a 4,90 km al norte de las parcelas de quema). Dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) muy cerca a los centros poblados.</p>
Contaminante PM _{2,5}	Observaciones
<p>Según el modelamiento se alcanzó una concentración máxima de 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 3,8 km al oeste noroeste de las parcelas de quema (B151 -100 y B151 -110) (ver anexo D: E-2).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (punto de monitoreo que se encuentra aproximadamente a 4,4 km en dirección norte de las parcelas de quema).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones para zonas cercanas al centro poblado de La Huaca (aproximadamente a 4,35 km al norte de las parcelas de quema alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-IO), dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría aproximar al ECA respectivo (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) muy cerca a los centros poblados.</p>
<p>Distancia crítica de dispersión</p>	<p>Se estima que cuando se quema en esta zona las poblaciones más afectadas serían las que se encuentran en los centros poblados Villa Viviate y La Huaca, ubicados aproximadamente a 5,8 y 4,4 km al noreste y norte de las parcelas de quema respectivamente.</p>

10/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>Este día se puede observar que la temperatura fue como máximo 26,4 °C (13:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 59 % (13:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes del suroeste (37,54 %) y otro componente del noreste (33,30 %). Sin embargo, es importante señalar que entre las 03:00 y 11:00 horas predominaron vientos desde el este sureste (velocidad máxima: 1,8 m/s), mientras que entre las 12:00 y 23:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima: 4,9 m/s).</p>	<p>Durante casi toda la mañana se tuvo mayor cantidad de cobertura nubosa. Esto contribuyó a que las temperaturas máximas sigan siendo algo menores respecto a otros días, con ligero incremento por disminución de nubosidades en horas de la tarde. La altura de la base de las nubes entre 00:00 a 13:00 horas, se mostró debajo de los 1 500 m y de 14:00 a 20:00 horas se presentó a alturas superiores a 2 100 m o desapareció.</p>
Contaminante PM ₁₀	Observaciones
<p>Según modelamiento se tiene una concentración máxima de 158 µg/m³, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 6,0 km al oeste noroeste de las parcelas de quema (B152-130 y B152-140) (ver anexo D: F-1).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 42 µg/m³ (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 5,0 km en dirección norte de las parcelas de quema B152-130 y B152-140).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 10 y 40 µg/m³ sobre zonas muy cercanas al centro poblado La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10, aproximadamente a 4,90 km al norte de las parcelas de quema). Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 20 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>

Contaminante PM _{2.5}	Observaciones
Según el modelamiento, alcanzó una concentración máxima de 100 µg/m ³ , la cual se encuentra a una distancia aproximada de 6,0 km al oeste noroeste de las parcelas de quema (B152-130 y B152-140) (ver anexo D: F-2).	De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 7 µg/m ³ (punto de monitoreo que se encuentra aproximadamente a 4,9 km en dirección norte de las parcelas de quema). Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 5 y 20 µg/m ³ , y se encuentran cercanas al centro poblado de La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10). Dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría alcanzar el al ECA respectivo (50 µg/m ³) muy cerca a los centros poblados.
Distancia crítica de dispersión	Se estima que cuando se quema en esta zona la población más afectada es la que se encuentra en el centro poblado de La Huaca, ubicado aproximadamente a 4,9 km al norte de la parcela de quema.
11/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
Este día se puede observar que la temperatura fue de 28.5 °C como máximo (13:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 64 % (13:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes del este (20,80 %) y otros componentes menores. Sin embargo, es importante señalar que entre las 00:00 y 11:00 horas predominaron vientos desde el este y el este-sureste (velocidad máxima: 1,8 m/s) mientras que entre las 13:00 y 23:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima: 4,9 m/s).	La cobertura nubosa que predominó durante el periodo ha sido de condiciones de nublado a cubierto con altura de la base de las nubes entre 00:00 a 13:00 horas debajo de 1 000 m y de 14:00 a 24:00 horas superiores a 1 200 m.

Contaminante PM ₁₀	Observaciones
Según el modelamiento se tiene una concentración máxima de 87,0 µg/m ³ , la cual se encuentra a una distancia aproximada de 6,4 km al noroeste de las parcelas de quema (B152-030 y B152-040) (ver anexo D: G-1).	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 24 µg/m³ (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 4,4 km en dirección norte de las parcelas de quema B152-130 y B152-040).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 10 y 30 µg/m³ sobre zonas cercanas al centro poblado La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01).</p> <p>Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 25 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Contaminante PM _{2,5}	Observaciones
Según el modelamiento, alcanzó una concentración máxima de 55 µg/m ³ , la cual se encuentra a una distancia aproximada de 4,6 km al noroeste de las parcelas de quema (B152-030 y B152-040) (ver anexo D: G-2).	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 11 µg/m³ (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 4,4 km en dirección norte de las parcelas de quema).</p> <p>Según el modelamiento, las concentraciones de este contaminante varían entre 5 y 20 µg/m³, las cuales se encuentran en zonas cercana al centro poblado La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01).</p> <p>Dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría aproximar el ECA respectivo (50 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Distancia crítica de dispersión	Se estima que cuando se quema en esta zona la población más afectada, principalmente por material particulado y monóxido de carbono, es la ubicada en los centros poblados La Huaca y La Rinconada.

12/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>Este día se puede observar que la temperatura fue 31,1 °C como máximo (15:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 46 % (16:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes desde el este sureste (29,4 %) y otros componentes menores. Sin embargo, es importante señalar que entre las 00:00 y 14,00 horas predominaron vientos del este y este sureste (velocidad máxima: 2,7 m/s), mientras que entre las 15:00 y 22:00 horas predominaron los vientos del sur y suroeste (velocidad máxima: 5,8 m/s).</p>	<p>La cobertura nubosa que predominó durante la madrugada y la mañana ha sido de condiciones de cubierto a nublado con altura de la base de las nubes entre 00:00 a 13:00 horas debajo de 2100 m, mientras que entre las 14:00 y 24:00 horas estas alturas superaron los 2 100 m o desaparecieron.</p>
Contaminante PM ₁₀	Observaciones
<p>Según el modelamiento se alcanza una concentración máxima de 408 µg/m³, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 4,2 km al oeste noroeste de las parcelas de quema (B152-050 y B152-060) (ver anexo D: H-1).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 50 µg/m³ (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 4,4 km en dirección norte de las parcelas de quema B152-050 y B152-060).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante variaron entre 10 y 40 µg/m³ en zonas cercanas al centro poblado La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01).</p> <p>Dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas se, podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Contaminante PM _{2,5}	Observaciones
<p>Alcanzó según modelamiento una concentración máxima de 257 µg/m³, la cual se desplazó hasta una distancia aproximada de 5,2 km al oeste-noroeste de las parcelas de quema (B152-030 y B152-040). (ver Anexo D: H-2).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 10 µg/m³ (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 4,4 km en dirección norte de las parcelas de quema).</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 5 y 30 µg/m³, y se encuentran en zonas cercanas al centro poblado La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01).</p> <p>Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 10 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría aproximar al ECA respectivo (50 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>

Distancia crítica de dispersión	Si bien es cierto que para esta fecha las concentraciones en centros poblados no superan los ECA respectivos, las poblaciones de los centros poblados La Rinconada y La Huaca son las más expuestas a los contaminantes.
13/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
Este día se puede observar que la temperatura fue 28,5 °C (13:00 horas) como máximo y la humedad relativa alcanzó como mínimo 54 % (13:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los del este (20,8 %) y otros componentes menores. Sin embargo, es importante señalar que entre las 00:00 y 11:00 horas predominaron vientos del este y este sureste (velocidad máxima: 2,2 m/s) mientras que entre las 13:00 y 23:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima: 4,9 m/s).	La cobertura nubosa que predominó durante el periodo ha variado con cielos nublados con altura de la base de las nubes inferiores a 2 000 m entre las 00:00 y 13:00 horas y superiores a 2 000 m, o desapareciendo entre 14:00 y 19:00 horas.
Contaminante PM ₁₀	Observaciones
Según el modelamiento se tiene una concentración máxima de 246 µg/m ³ , la cual se encuentra a una distancia aproximada de 1,7 km al noroeste de las parcelas de quema (B151 -010 y B151 -020) (ver anexo D: I-1).	De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizado en el punto HUA-CA-10, se aprecia que la concentración de 24 horas alcanzó 33 µg/m ³ (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 3,7 km en dirección norte de las parcelas de quema B151-010 y B151- 020), mientras que en el punto RIN-CA-01 se alcanzó una concentración de 30 µg/m ³ . Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 10 y 30 µg/m ³ sobre zonas cercanas a los centros poblados La Rinconada (alrededor del punto de monitoreo RIN-CA-01) y La Huaca (alrededor del punto de monitoreo HUA-CA-10). Dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría llegar a superar el ECA respectivo (100 µg/m ³) muy cerca a los centros poblados.

Contaminante PM _{2.5}	Observaciones
<p>Según el modelamiento se alcanzó una concentración máxima de 155 µg/m³, la cual se encuentra hasta una distancia aproximada de 2,3 km al noroeste de las parcelas de quema (B151-010 y B151-020) (ver anexo D: I-2).</p>	<p>De acuerdo con el monitoreo de contaminantes realizados en los puntos HUA-CA-10 (punto de monitoreo ubicado a 3,6 km en dirección norte de las parcelas de quema) y RIN-CA-01 (punto de monitoreo ubicado aproximadamente a 8,0 km en dirección noroeste de las parcelas de quema), se aprecia que en ambos las concentraciones para 24 horas alcanzaron 9 µg/m³.</p> <p>Según el modelamiento las concentraciones de este contaminante varían entre 5 y 30 µg/m³, las cuales se encuentran en zonas cercanas a los centros poblados La Huaca y La Rinconada.</p> <p>Cabe resaltar que a estas concentraciones se les tiene que sumar el nivel de fondo que puede variar alrededor de 12 µg/m³ y, dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría aproximar al ECA respectivo (50 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Distancia crítica de dispersión	Las localidades más expuestas, aun con concentraciones de contaminantes debajo de los respectivos ECA, son La Huaca y La Rinconada.
14/11/2018: Condiciones atmosféricas modeladas	
Condiciones meteorológicas	Observaciones
<p>Este día se puede observar que la temperatura fue como máximo 32,4 °C (14:00 horas) y la humedad relativa alcanzó como mínimo 46 % (15:00 horas). Respecto a los vientos, predominaron los provenientes del suroeste (29,7 %) y otros componentes del sureste (25,0 %) y el sur (20,0 %). Sin embargo, es importante señalar que entre las 03:00 y 10.00 horas predominaron vientos desde el sur sureste (velocidad máxima: 3,1 m/s), mientras que entre las 11:00 y 23:00 horas predominaron los vientos desde el sur y suroeste (velocidad máxima: 5,4 m/s).</p>	<p>La cobertura nubosa durante el periodo ha variado de cubierto a nublado con alturas de base inferiores a 700 m entre las 00:00 a 11:00 horas. Luego a partir de allí se fue disipando hasta que la nubosidad desapareció hasta las 19:00 horas en las que nuevamente se fue cubriendo con nubosidades con alturas de base inferiores a 2.000 m.</p>

Contaminante PM ₁₀	Observaciones
Según el modelamiento se tiene una concentración máxima de 31 µg/m ³ , la cual se encuentra a una distancia aproximada de 7,1 km al noroeste de las parcelas de quema (B114-010 y B114-020) (ver anexo D: J-1).	<p>Para el punto HUA-CA-10 se obtuvo una concentración de 38 µg/m³. Esto indicaría que la quema de caña de azúcar no es la única fuente de contaminación por este contaminante. Es muy probable que la resuspensión del polvo, producto de los vientos acontecidos durante este día, haya contribuido al aporte de PM₁₀, lo que permitiría que las concentraciones alcanzadas por este contaminante sean la suma de la emisión de PM₁₀, producto de la quema y la resuspensión de polvo (nivel de fondo).</p> <p>Dependiendo de la cantidad de material quemado y de la extensión de las parcelas quemadas, se podría aproximar al ECA respectivo (100 µg/m³) muy cerca a los centros poblados.</p>
Contaminante PM _{2,5}	Observaciones
Según el modelamiento alcanzó una concentración máxima de 9 µg/m ³ , la cual se encuentra a una distancia aproximada de 4,6 km al noroeste del centro poblado Sojo y muy distanciado de las parcelas de quema (B114-010 y B114-020) (ver anexo D: J-2).	Dependiendo de la cantidad de material quemado y la extensión de las parcelas quemadas, se podría alcanzar el ECA respectivo (50 µg/m ³) muy cerca a los centros poblados.
Distancia crítica de dispersión	Las localidades más expuestas para este periodo, según la ubicación de la parcela de quema, son los centros poblados La Huaca y La Rinconada.

Nota: Elaboración propia.

Anexo 2: Área de prohibición de áreas de cultivo

ANEXO	CAMPO DE CULTIVO	CUARTEL	HECTÁREAS
	Nombre	Código	
DPS-14	BLOCK - 1	B141-010	7,73
		B141-020	5,02
		B141-030	3,49
		B141-040	10
		B141-050	1,34
		B141-060	0,44
		B141-070	8,96
		B141-080	12,54
		B141-090	9,98
		B141-100	10,2
		B141-110	10,26
		B141-120	9,98
		B141-130	8,23
		B141-140	9,57
		B141-160	10,2
		BLOCK - 2	B142-010
	B142-020		8,92
	B142-030		10,26
	B142-040		0,41
	B142-050		2,33
	B142-060		6,2
	B142-070		10,26
	B142-080		10,56
	B142-090		2,52
	B142-100		10,67
	B142-110		10,43
	B142-120		3,78
	B142-130		10,6
	B142-140		3,84
	B142-150		3,06
	B142-160		11,07
	B142-170		9,58
	B142-180		10,73

		B142-190	11,57
		B142-200	10,86
	BLOCK - 3	B143-010	2,29
		B143-020	6,68
		B143-050	1,33

Nota: Elaboración propia.

ANEXO	CAMPO DE CULTIVO	CUARTEL	HECTÁREAS
	Nombre	Código	
DPS-15	BLOCK - 1	B151-010	9,01
		B151-020	9,66
		B151-030	4,77
		B151-040	7,69
		B151-050	5,92
		B151-060	4,16
		B151-070	10,4
		B151-080	10,4
		B151-090	10,4
		B151-100	10,45
		B151-110	10,45
	BLOCK - 2	B151-140	8,57
		B151-160	10,17
		B152-010	7,69
		B152-020	7,65
		B152-030	10,45
		B152-040	10,45
		B152-050	10,4
		B152-060	10,4
		B152-070	10,17
		B152-090	10,45
		B152-110	10,45
		10,17	

DPS-16	BLOCK - 1	B161-020	7,25
		B161-040	11,29
		B161-050	1,51
		B161-060	1,8
		B161-070	10,48
		B161-080	10,4
		B161-090	10,72
		B161-100	1,77
		B161-110	11,22
		B161-120	11
		B161-130	11,29
		B161-140	11,29
		B161-150	11,29
		B161-160	11,29
		B161-170	11,23
		B161-180	11,23
		B161-190	11,23
		B161-200	11,23
		B161-210	11,29

Nota: Elaboración propia.

ANEXO	CAMPO DE CULTIVO	CUARTEL	HECTÁREAS
	Nombre	Código	
	BLOCK - 2	B161-220	11,29
		B162-010	6,54
		B162-020	10,25
		B162-030	11,29
		B162-040	3,49
		B162-050	1,67
		B162-060	11,29
		B162-070	11,29
		B162-080	10,41
		B162-090	11
		B162-100	3,17
		B162-110	8,14
		B162-120	11,29
		B162-130	11,53
		B162-140	11,23
		B162-150	12,08
		B162-160	11,17
		B162-200	7,48
	BLOCK - 3	B163-010	7,65
		B163-020	7,69
		B163-030	10,4
		B163-040	10,4
		B163-050	10,45
		B163-060	10,45
	BLOCK - 4	B164-010	7,69
			10,45

Nota: Elaboración propia.

Anexo 3

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) (2019). Modelamiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la quema de caña de azúcar, industria Agroaurora S.A.C. - piura, de fecha 4 de marzo de 2019. ([Informe N.º 0016-2019-OEFA/DEAM-STEC](#)). OEFA.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Instrumentos de gestión ambiental del administrado Agroaurora S.A.C.	15
Tabla 2.	Resumen de las acciones de supervisión y fiscalización a Agroaurora S.A.	16
Tabla 3.	Puntos de monitoreo de la calidad del aire	45
Tabla 4.	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$) registrada en los puntos de monitoreo del OEFA	46
Tabla 5.	Resumen de parámetros meteorológicos de los puntos de monitoreo	50
Tabla 6.	Identificación y área de los cuarteles cosechados por quema controlada de caña de azúcar	52
Tabla 7.	Parámetros meteorológicos registrados en el periodo de evaluación en relación con el horario de cosecha por quema controlada de caña de azúcar (0-6 horas)	54
Tabla 8.	Resultados de las concentraciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$	56
Tabla 9.	Cuarteles de quema de la empresa Agroaurora S.A.C.	58
Tabla 10.	Factores de emisión de contaminantes por la quema de caña de azúcar (g/kg)	59
Tabla 11.	Tasas de emisión para cada contaminante y parcela de quema	62
Tabla 12.	Distancia de concentraciones críticas de PM_{10} desde zonas de quema hacia centros poblados	66
Tabla 13.	Distancia de concentraciones críticas de $\text{PM}_{2,5}$ desde zonas de quema hacia centros poblados	67
Tabla 14.	Resultados del monitoreo de la calidad del aire	71
Tabla 15.	Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando la velocidad promedio entre las 00:00 y 04:00 h, para el parámetro PM_{10}	73
Tabla 16.	Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando la velocidad promedio entre las 00:00 y 04:00 h para el parámetro $\text{PM}_{2,5}$	75
Tabla 17.	Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando diferentes condiciones de entrada según El-Asd PM_{10}	78
Tabla 18.	Datos obtenidos mediante el software Screen3, utilizando diferentes condiciones de entrada según EIA-sd - PM_{25}	79
Tabla 19.	Estadísticas del coeficiente de correlación y regresión lineal	81

Tabla 20.	Estadísticas del coeficiente de correlación y regresión lineal	83
Tabla 21.	Denuncias y emergencias ambientales del administrado Agroaurora S.A.C.	90
Tabla 22.	Compromisos ambientales sobre alteración de la calidad del aire del administrado Agroaurora S.A.C	93
Tabla 23.	Aportes al Proyecto de ley N.º 1115/2021-CR	101
Tabla 24.	Aportes al Proyecto de ley N.º 1259/2021-CR	105
Tabla 25.	Aportes al Proyecto de ley N.º 1304/2021-CR	110
Tabla 26.	Estatus de los proyectos de ley del Congreso de La República del Perú	92
Tabla 27.	Aportes regulatorios a la propuesta de reglamento de la ley que regula la quema de caña en pie y establece disposiciones para su erradicación	113 115

