

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVO DEL INFORME	3
1.2 ALCANCE	3
1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES	3
2. VALORES LÍMITE APLICABLES	4
2.1 EMISIÓN DE FUENTES FIJAS	4
2.2 CALIDAD DE AIRE	4
2.2.1 Valores límite de calidad de aire para NO ₂	4
2.2.2 Valores de calidad de aire de referencia para MeOH	5
2.2.3 Valores de referencia para percepción de olor por MeOH	6
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN	7
3.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN	7
3.2 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN	7
3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS FUENTES	9
3.3.1 Antorcha	9
3.3.2 Planta de producción de metanol	9
3.3.3 Camiones para transporte de CO ₂	10
3.4 ESCENARIOS DE EMISIÓN PARA LAS FUENTES	10
3.4.1 Antorcha en operación normal	10
3.4.2 Antorcha en operación con planta de metanol fuera de funcionamiento (contingencia)	10
3.4.3 Antorcha apagada (contingencia)	11
3.4.4 Planta de producción de metanol en operación normal	12
3.4.5 Contingencia de derrame en carga de metanol a vagones	12
3.4.6 Camiones para transporte de CO ₂	14
4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA	16
4.1 INTRODUCCIÓN	16
4.2 MODELO DIGITAL DE TERRENO Y EDIFICACIONES	16
4.3 DATOS METEOROLÓGICOS	17
4.4 RECEPTORES	17
4.5 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1 NO ₂ EN OPERACIÓN NORMAL	20
5.2 OTRAS EMISIONES ASOCIADAS AL TRÁNSITO DE CAMIONES	24
5.3 NO ₂ EN OPERACIÓN CON PLANTA DE METANOL FUERA DE FUNCIONAMIENTO (CONTINGENCIA)	24
5.4 EMISIÓN DE METANOL EN OPERACIÓN SIN ANTORCHA (CONTINGENCIA)	26
5.5 EMISIÓN DE METANOL POR DERRAME DURANTE CARGA DE VAGONES (CONTINGENCIA)	29
6. CONCLUSIONES	34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: ESTÁNDARES DE EMISIÓN FUENTES FIJAS (ARTÍCULO 28 Y 29).....	4
TABLA 2-2: LÍMITE DE CALIDAD DE AIRE PARA NO ₂ SEGÚN DECRETO 135/021.....	5
TABLA 2-3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AIRE DE REFERENCIA, ONTARIO – CANADÁ (2020).....	5
TABLA 2-4: AEGL DE LA USEPA PARA CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METANOL EN DISTINTOS TIEMPOS DE EXPOSICIÓN..	6
TABLA 2-5: CONCENTRACIONES PARA DETECCIÓN DE OLOR DE METANOL (T.M. HELLMAN Y F.H. SMALL, 1974).	6
TABLA 3-1: UBICACIÓN DE FUENTES DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA PUNTALES Y DE ÁREA.	7
TABLA 3-2: EXTENSIÓN DE LAS FUENTES DE ÁREA.	9
TABLA 3-3: CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES DE LA ANTORCHA DURANTE OPERACIÓN NORMAL.	10
TABLA 3-4: CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES DE LA ANTORCHA DURANTE OPERACIÓN CON PLANTA DE METANOL FUERA DE FUNCIONAMIENTO.	11
TABLA 3-5: CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES DE LA CHIMENEA CON LA ANTORCHA APAGADA.....	11
TABLA 3-6: TASAS DE EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN PARA VEHÍCULOS “DIESEL” RÍGIDOS DE PESO MAYOR A 32 T (MODIFICADO DE EMEP/EEA AIR POLLUTANT EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK 2023 – UPDATE 2024).	14
TABLA 3-7: TASAS DE EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN PARA VEHÍCULOS “DIESEL” RÍGIDOS DE PESO MAYOR A 32 T POR UNIDAD DE DISTANCIA RECORRIDA CONSIDERANDO 4 VEHÍCULOS POR HORA.	15
TABLA 5-1: RESUMEN DE EMISIONES DE NO ₂ EN OPERACIÓN NORMAL.	20
TABLA 5-2: RESUMEN DE EMISIONES DE NO ₂ EN OPERACIÓN CON PLANTA DE METANOL FUERA DE FUNCIONAMIENTO.	24
TABLA 5-3: RESUMEN DE EMISIONES DE MeOH EN OPERACIÓN SIN ANTORCHA.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3-1: UBICACIÓN DE LAS FUENTES. ACERCAMIENTO A LA PLANTA.	8
FIGURA 3-2: UBICACIÓN DE LAS FUENTES. VISTA GENERAL INCLUYENDO LA LOCALIDAD DE TAMBORES.	8
FIGURA 3-3: ACERCAMIENTO A FUENTES DE ÁREA.	9
FIGURA 3-4: VAGONES DE TRANSPORTE DE GRANELES LÍQUIDOS SIN PRESURIZAR Y ELEMENTOS DE CONTENCIÓN TÍPICOS.	13
FIGURA 4-1: MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT). EN COLOR ROJO UBICACIÓN DEL EMPRENDIMIENTO.	16
FIGURA 4-2: EDIFICACIONES CONSIDERADAS EN EL MODELO.	17
FIGURA 4-3: DISTRIBUCIÓN DE RECEPTORES.	18
FIGURA 4-4: DISTRIBUCIÓN DE RECEPTORES EN TAMBORES.	19
FIGURA 5-1: CONCENTRACIÓN HORARIA MÁXIMA DE NO ₂ – OPERACIÓN NORMAL.	21
FIGURA 5-2: CONCENTRACIÓN HORARIA MÁXIMA DE NO ₂ ÚNICAMENTE PARA LAS EMISIONES DE LA ANTORCHA – OPERACIÓN NORMAL.	22
FIGURA 5-3: CONCENTRACIÓN ANUAL MÁXIMA DE NO ₂ – OPERACIÓN NORMAL.	23
FIGURA 5-4: CONCENTRACIÓN HORARIA MÁXIMA DE NO ₂ ÚNICAMENTE PARA LAS EMISIONES DE LA ANTORCHA – OPERACIÓN CON PLANTA DE METANOL FUERA DE FUNCIONAMIENTO.	25
FIGURA 5-5: CONCENTRACIÓN DE MeOH MÁXIMA PARA PROMEDIOS DE 24 HORAS. CONTINGENCIA DE EMISIÓN DE MeOH CON ANTORCHA APAGADA.	27
FIGURA 5-6: CONCENTRACIÓN DE MeOH MÁXIMA PARA PROMEDIOS DE 1 HORA. CONTINGENCIA DE EMISIÓN DE MeOH CON ANTORCHA APAGADA.....	28
FIGURA 5-7: CONCENTRACIONES MÁXIMA PROMEDIO EN 1 HORA PARA MeOH EN CASO DE DERRAME EN LA CARGA DE VAGONES. EN VIOLETA SE MUESTRA EL ÁREA DE PERCEPCIÓN DE OLOR CONSIDERANDO EL UMBRAL MÍNIMO (50 % DE PERCEPCIÓN).	30
FIGURA 5-8: CONCENTRACIONES MÁXIMA PROMEDIO EN 24 HORAS PARA MeOH EN CASO DE DERRAME EN LA CARGA DE VAGONES. EL LÍMITE DEL ÁREA VIOLETA CORRESPONDE A UNA CONCENTRACIÓN IGUAL AL VALOR DE REFERENCIA DE CALIDAD DE AIRE DE 4000 µg/M ³ PARA UN PROMEDIO DE 24 HORAS.	31
FIGURA 5-9: CONCENTRACIONES MÁXIMA PROMEDIO EN 4 HORAS PARA MeOH EN CASO DE DERRAME EN LA CARGA DE VAGONES.	32
FIGURA 5-10: CONCENTRACIONES MÁXIMA PROMEDIO EN 8 HORAS PARA MeOH EN CASO DE DERRAME EN LA CARGA DE VAGONES.	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL INFORME

El presente informe tiene como objetivo realizar la evaluación pertinente para la obtención de la Autorización de Emisiones al Aire para la planta industrial de producción de hidrógeno verde y metanol (en adelante TAMBOR) de la firma ENERTRAG. Para una descripción completa de la planta y sus características, referirse al Documento de Proyecto.

1.2 ALCANCE

El presente informe contempla la fase de operación del emprendimiento únicamente. Dentro de dicha fase se analizan tanto la operación normal, como escenarios de operación fuera de régimen y escenarios de ocurrencia de contingencias.

La evaluación de calidad de aire se realiza para los parámetros dióxido de nitrógeno (NO₂) y metanol (MeOH), dado que son los únicos dos con tasas de emisión relevantes en los escenarios considerados. Cabe destacar que durante la operación normal no se espera que haya emisiones de metanol.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES

El emprendimiento consiste en la construcción y operación de una planta industrial para la producción de e-Metanol y energía renovable (solar y eólica). La capacidad de producción será de 85.000 ton/año. La producción de energía prevista es de 394 MW. Los componentes más significativos del emprendimiento son:

- Planta industrial: Planta de generación de H₂, Acondicionamiento de CO₂ y Unidad de producción de Metanol;
- Parques de generación de energía renovable;
- Toma y planta de tratamiento de agua;
- Planta de tratamiento de Efluentes;
- Área de almacenamiento de productos químicos;
- Edificio de oficinas, taller de mantenimiento, caminería interna y tramo de vía férrea.

2. VALORES LÍMITE APLICABLES

El Decreto 135/021 del 4 de mayo de 2021, define el conjunto de actividades o ramos de actividad con emisiones a la atmósfera a los que se les apliquen los estándares allí definidos, y deban presentar la Solicitud de Autorización de Emisiones al Aire (SAEA). A continuación, se presentan los límites de emisión y de calidad de aire aplicables al proyecto objeto de análisis.

2.1 EMISIÓN DE FUENTES FIJAS

La producción de metanol no queda explícitamente comprendida en las actividades listadas en el Artículo 11 del Decreto 135/021, donde se define el alcance de este, por lo que se deben considerar comprendidas en el literal “i”, correspondiente a “otras actividades no comprendidas en las anteriores”. Asimismo, por las características del emprendimiento, se deberá considerar también el cumplimiento de los límites de emisión para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), que en este caso corresponderán a las emisiones fugitivas de metanol.

Los estándares de emisión de aplicación son, por tanto, los del Artículo 28: “Otras actividades no comprendidas en las anteriores” y el Artículo 29: “Compuestos orgánicos volátiles”. En la Tabla 2-1 se presentan los estándares de emisión del Artículo 28 y 29 que aplican al emprendimiento en estudio.

Tabla 2-1: Estándares de emisión fuentes fijas (Artículo 28 y 29).

Parámetro	Estándar
Opacidad (escala Ringelmann)	1
MP (mg/Nm ³)	200
NO _x como NO ₂ (mg/Nm ³)	350
SO ₂ (mg/Nm ³)	1.000
COVs (mg/Nm ³)	100

Cabe destacar que el metanol no se considera un mutagénico, carcinogénico o tóxico reproductivo en humanos. Sí puede tener efectos de toxicidad por exposición aguda.¹

2.2 CALIDAD DE AIRE

2.2.1 Valores límite de calidad de aire para NO₂

El Reglamento de Calidad de Aire, en su Artículo 4 (Capítulo II), establece los niveles máximos para ciertos parámetros que se pretende alcanzar y mantener en el aire ambiente. Entendiéndose como aire ambiente, al aire exterior que conforma la tropósfera, con exclusión de los lugares de trabajo aún abiertos a los que el público no tiene acceso habitualmente. Entre dichos parámetros no se establece la concentración para el parámetro de interés COVs.

¹ “Methanol: toxicological overview”, UK Health Security Agency, octubre 2024, sitio web: <https://www.gov.uk/government/publications/methanol-properties-incident-management-and-toxicology/methanol-toxicological-overview>, consultado el 27 de noviembre de 2024.

El artículo 4 del Decreto establece los objetivos de calidad de aire ambiente, presentando en su tabla 2 los vigentes a partir del 1º de enero de 2024. Los valores límite surgidos de esta tabla para el NO₂, se presentan en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Límite de calidad de aire para NO₂ según Decreto 135/021.

Parámetro	Período ⁽¹⁾	Concentración (µg/m ³) ⁽²⁾	Tolerancia ⁽³⁾
NO ₂	1 hora	200	260 µg/m ³ en 18 horas al año
	1 año	40	No aplica

(1) Por período se entiende la media aritmética de los datos correspondiente al tiempo que en cada caso se indica. El período de medición de 1 hora solo se aplicará en los monitoreos continuos.

(2) Las mediciones de concentración corresponden a una temperatura de 293 K y una presión de 1013 hPa.

(3) El exceso en el nivel de concentración de cada parámetro no podrá superar el valor máximo que se indica, en el tiempo que se señala.

2.2.2 Valores de calidad de aire de referencia para MeOH

El artículo 5 del Decreto establece que los objetivos de calidad de aire serán actualizados por el Ministerio de Ambiente, y para aquellos compuestos que no se hubieren especificado objetivos de calidad de aire, la DINACEA podrá tomar como guías valores definidos por la OMS, la Unión Europea u otros que deriven de normas de referencia reconocidos internacionalmente. En tal sentido se consideren como referencia para la evaluación de calidad de aire por emisión de metanol, los criterios para calidad de aire de Ontario (“Ambient Air Quality Criteria”, Canadá 2020). En la Tabla 2-3 se presentan los estándares del mencionado documento para el metanol. Este nivel apunta a la preservación de la salud de la población general.

Tabla 2-3: Criterios de calidad de aire de referencia, Ontario – Canadá (2020).

Solvente	Número CAS	Período de premediación	Concentración (µg/m ³)
Metanol	67-56-1	24 horas	4.000

Asimismo, para el caso de emisiones en eventos de contingencia, se consideran los límites AEGL (niveles de exposición aguda de referencia) de la USEPA² que se presentan en la Tabla 2-4. A continuación, se describe el significado de cada nivel de AEGL:

1. AEGL-1: Es la concentración en el aire de una sustancia por encima de la cual se predice que la población general, incluidas las personas susceptibles, podría experimentar molestias notables, irritación u otros efectos asintomáticos no sensoriales. Estos efectos no son incapacitantes y son transitorios y reversibles al cesar la exposición.
2. AEGL-2: Es la concentración en el aire de una sustancia por encima de la cual se predice que la población general, incluidas las personas susceptibles, podría experimentar efectos adversos graves, irreversibles o de larga duración para la salud, o una capacidad reducida para escapar de la exposición.

² National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels (NAC/AEGL Committee). (2005). *Interim acute exposure guideline levels (AEGLs) for methanol (CAS Reg. No. 67-56-1), Interim 2: 2/2005*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-07/documents/methanol_interim4_february2005_c.pdf

3. AEGL-3: Es la concentración en el aire de una sustancia por encima de la cual se predice que la población general, incluidas las personas susceptibles, podría experimentar efectos que amenazan la vida.

Tabla 2-4: AEGL de la USEPA para concentraciones promedio de metanol en distintos tiempos de exposición.

Clasificación	10 minutos	30 minutos	1 hora	4 horas	8 horas
AEGL-1	880 mg/m ³	880 mg/m ³	690 mg/m ³	450 mg/m ³	350 mg/m ³
AEGL-2	14.000 mg/m ³	5.200 mg/m ³	2.800 mg/m ³	960 mg/m ³	680 mg/m ³
AEGL-3	(1)	18.000 mg/m ³	9.400 mg/m ³	3.100 mg/m ³	2.100 mg/m ³

(1) El valor de AEGL-3 para 10 minutos de 40.000 ppm es superior al 50% del límite inferior de explosividad (LEL) del metanol en el aire (LEL = 55.000 ppm; 50% del LEL = 27.500 ppm). Por lo tanto, deben tomarse en cuenta consideraciones extremas de seguridad debido al riesgo de explosión.

2.2.3 Valores de referencia para percepción de olor por MeOH

Por otra parte, para la percepción de olor a causa de la presencia de metanol en estado gaseoso en el aire, se pueden considerar los niveles planteados por Hellman y Small (1974)³, obtenidos a partir de ensayos con un panel de voluntarios, según se describen a continuación:

1. Umbral absoluto de detección de olor: la concentración a la cual el 50 % del panel de olor percibió un olor en la fuente de trabajo.
2. Umbral de reconocimiento de olor (50 %): la concentración a la cual el 50 % del panel de olor definió el olor como representativo del odorante que se está estudiando.
3. Umbral de reconocimiento de olor (100 %): la concentración a la cual el 100 % del panel de olor definió el olor como representativo del odorante que se está estudiando.
4. Tono hedónico: el agrado o desagrado que el evaluador del olor asocia con la calidad del olor que está observando.

Tabla 2-5: Concentraciones para detección de olor de metanol (T.M. Hellman y F.H. Small, 1974).

Umbral absoluto de detección de olor	Umbral de reconocimiento de olor 50 %	Umbral de reconocimiento de olor 100 %	Tono hedónico
4,26 ppm 5,58 mg/m ³ *	53,3 ppm 70,11 mg/m ³ *	53,3 ppm 70,11 mg/m ³ *	Neutral

*A 25 °C y 1 atm.

³ Hellman, T. M., & Small, F. H. (1974). Characterization of the odor properties of 101 petrochemicals using sensory methods. Journal of the Air Pollution Control Association, 24(10), 979–982. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00022470.1974.10470005?needAccess=true>

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN

3.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN

El proceso comprenderá la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis, y la posterior síntesis de metanol con base en este hidrógeno y CO₂ biogénico. El CO₂ será transportado en camiones desde su origen hasta la planta. El metanol producido en la planta será transportado en tren hasta el Puerto de Montevideo.

Como principales fuentes se identifican:

1. La antorcha con la que contará la planta para la quema de productos sin reaccionar, así como de los venteos provenientes de los tanques de almacenamiento y etapas productivas del proceso.
2. La planta de producción de metanol y el área de carga de vagones, donde podrán darse emisiones fugitivas en distintos puntos del proceso (juntas bridadas, puntos de transferencia, fallas en válvulas, etc.), o contingencias de derrames de metanol, las cuales no son conducidas a la antorcha.
3. Camiones de transporte de CO₂, los cuales emitirán gases de combustión, siendo el más relevante de estos el NO₂.

3.2 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN

En la Figura 3-1 y la Figura 4-3 a continuación se presenta la ubicación de las fuentes identificadas anteriormente. Cabe aclarar que la antorcha se considera una fuente puntual, la planta de producción de metanol y área de carga de vagones se representan como fuentes de área, mientras que las emisiones asociadas al tránsito de camiones para el transporte de CO₂ se representan como una fuente lineal. En la Tabla 3-1 se presentan las coordenadas de los vértices de cada fuente.

Tabla 3-1: Ubicación de fuentes de emisiones a la atmósfera puntuales y de área.

Fuente	Vértice	X (m UTM 21 S)	Y (m UTM 21 S)
Antorcha	1	572.172	6.468.499
MeOH - Almacenamiento	1	571.885	6.468.702
	2	571.906	6.468.694
	3	571.889	6.468.648
	4	571.867	6.468.656
MeOH - Producción	1	571.925	6.468.718
	2	572.009	6.468.687
	3	571.977	6.468.600
	4	571.894	6.468.632
MeOH - Carga	1	571.716	6.468.845
	2	571.828	6.468.803
	3	571.824	6.468.791
	4	571.711	6.468.832

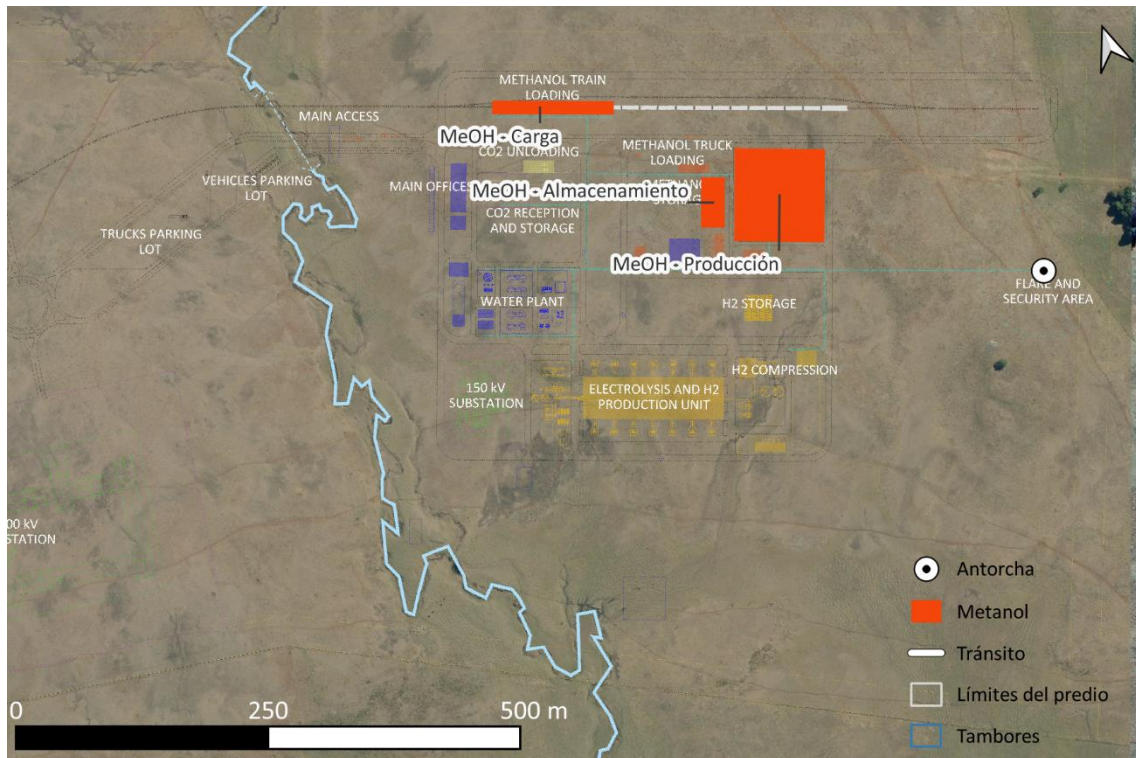


Figura 3-1: Ubicación de las fuentes. Acercamiento a la planta.



Figura 3-2: Ubicación de las fuentes. Vista general incluyendo la localidad de Tambores.

3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS FUENTES

3.3.1 Antorcha

La antorcha corresponde a una chimenea de 45 m de altura desde el nivel del terreno, con un sistema de quema de gases en su parte superior. El diámetro interior proyectado para la antorcha es de 300 mm. La temperatura estimada de salida de los gases es de 57,5°C antes de la combustión, y de 320 °C luego de la combustión. La antorcha estará situada a una distancia de aproximadamente 220 m del resto de las instalaciones de la planta, con un perímetro de seguridad de 65 m a su alrededor. En función de sus características, se representará como una fuente puntual.

3.3.2 Planta de producción de metanol

Para la planta de producción de metanol se consideran tres fuentes de área, que representan a la zona de carga de metanol en vagones, donde se cargarán 6 vagones en simultáneo; la zona de almacenamiento de metanol compuesta por un parque de 8 tanques; y la unidad de producción de metanol en sí misma. En la tabla a continuación se presentan las áreas de estas fuentes, mientras que en la figura siguiente se presenta un acercamiento a su ubicación en la planta.

Tabla 3-2: Extensión de las fuentes de área.

Fuente	Área (m ²)
MeOH - Almacenamiento	1.145
MeOH - Producción	8.220
MeOH - Carga	1.560

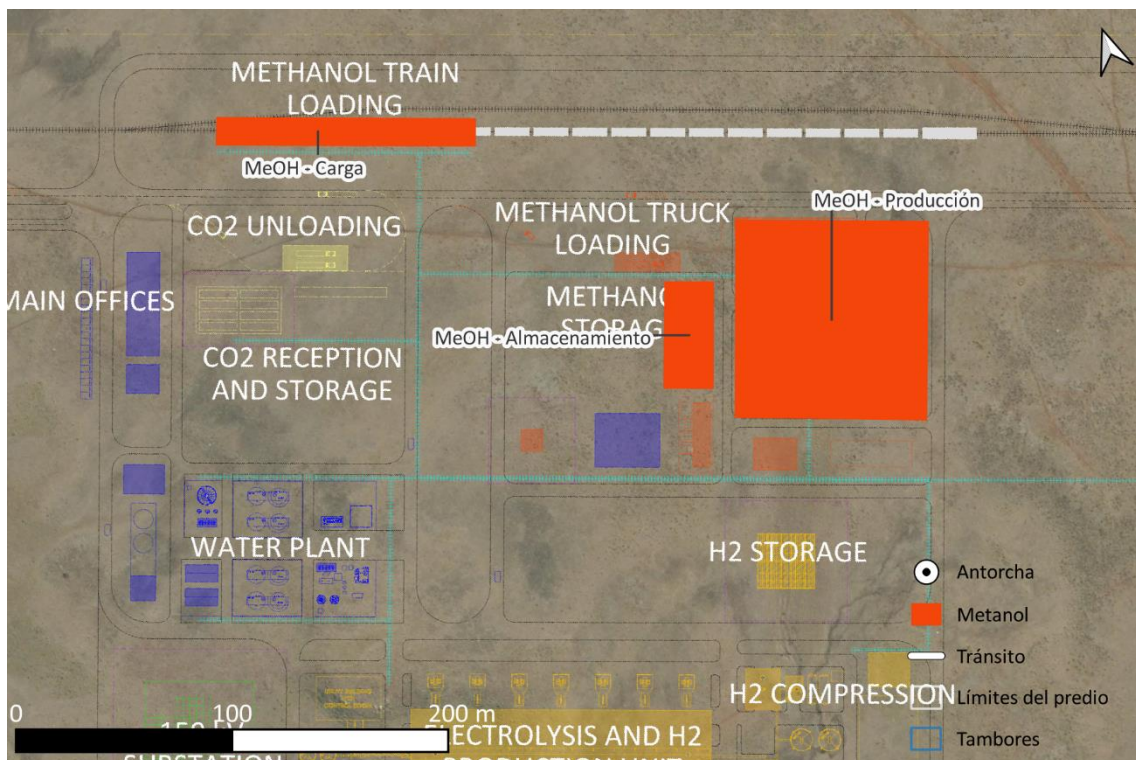


Figura 3-3: Acercamiento a fuentes de área.

3.3.3 Camiones para transporte de CO₂

La caminería para el transporte de CO₂ se encontrará en su totalidad pavimentada, y contará con un ancho de aproximadamente 7,5 m, con dos sentidos de circulación. Para el transporte de CO₂ se utilizarán camiones cisterna refrigerados, con motores de combustión interna. Se considera que utilizarán gasoil reducido en azufre como combustible (Gasoil 10S según el nombre comercial utilizado por ANCAP).

3.4 ESCENARIOS DE EMISIÓN PARA LAS FUENTES

A continuación, se caracterizan las emisiones de las fuentes identificadas, tomando en cuenta las distintas situaciones que se podrían dar tanto durante operación normal, como durante eventos transitorios o contingencias.

3.4.1 Antorcha en operación normal

Las emisiones al aire de la planta de producción de MeOH se generan mayoritariamente en el proceso de síntesis, debido a la generación de pequeñas cantidades de subproductos o materia prima sin reaccionar. El diseño del proyecto contempla la incorporación de un sistema de antorcha, para asegurar la quema adecuada de los venteos de gases de proceso, emisiones fugitivas y controlar desviaciones de la planta durante eventos de falla o paradas.

Durante la operación normal, las emisiones de la chimenea luego de ser quemadas en la antorcha tendrán las características que se presentan en la tabla a continuación. Cabe destacar que no habrá emisión de compuestos de azufre, SO₂, ni material particulado.

Tabla 3-3: Caracterización de emisiones de la antorcha durante operación normal.

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	425	Nm ³ /h
Temperatura pre combustión	57,5	°C
Temperatura post combustión	320	°C
H ₂ O	22	mol%
N ₂ + Ar	61	mol%
O ₂	3	mol%
CO ₂	14	mol%
Concentración de NO _x como NO ₂	39	ppmv
Concentración de NO _x como NO ₂	73,4	mg/Nm ³
Carga de NO _x como NO ₂	8,66E-3	g/s

3.4.2 Antorcha en operación con planta de metanol fuera de funcionamiento (contingencia)

En el escenario improbable de una parada de la planta de producción de metanol, que no requiera una parada total del resto de la planta (por ser de corta duración, por ejemplo), los gases que ingresan como materia prima para la producción de metanol, serán enviados directamente a la antorcha, lo que causará una modificación en las características de la emisión respecto a la situación de operación normal. La caracterización de estas emisiones se presenta en la tabla a continuación. En este caso el caudal es sustancialmente mayor, y se

incrementa también la concentración de NO₂, contribuyendo ambos factores al aumento de la carga de este parámetro en la emisión.

Tabla 3-4: Caracterización de emisiones de la antorcha durante operación con planta de metanol fuera de funcionamiento.

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	41.580	Nm ³ /h
Temperatura pre combustión	37	°C
Temperatura post combustión	320	°C
H ₂ O	27	mol%
N ₂ + Ar	61	mol%
O ₂	3	mol%
CO ₂	9	mol%
Concentración de NO _x como NO ₂	44	ppmv
Concentración de NO _x como NO ₂	82,8	mg/Nm ³
Carga de NO _x como NO ₂	9,56E-1	g/s

3.4.3 Antorcha apagada (contingencia)

El apagado de la antorcha tiene una probabilidad de ocurrencia ínfima, dado que el sistema se diseña con redundancia doble de la llama, por lo que, si una de ellas se apaga, la otra puede continuar con la combustión de los gases. El sistema cuenta además con una válvula de seguridad, que corta el flujo de gas en caso de apagado de la llama.

En el escenario contingente en que la antorcha se apague y se emitan a la atmósfera los gases de proceso sin quemar, el caudal será igual al de operación normal, pero la composición del gas será diferente, según se presenta en la tabla a continuación. En este escenario, el parámetro de interés pasa a ser el MeOH que se libera sin ser quemado.

Tabla 3-5: Caracterización de emisiones de la chimenea con la antorcha apagada.

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	425	Nm ³ /h
Temperatura	57,7	°C
H ₂ O	0,04	mol%
H ₂	0,42	mol%
N ₂	0,06	mol%
CO ₂	0,32	mol%
CH ₄	0,03	mol%
MeOH	0,11	mol%
Carga MeOH	15,55	g/s

3.4.4 Planta de producción de metanol en operación normal

Durante la operación normal de la planta de metanol, todos los venteos de los tanques de almacenamiento y las emisiones de gases potencialmente contaminantes serán dirigidos a la antorcha para su quema y posterior emisión a la atmósfera. Se espera, en función de ello, que virtualmente no existan emisiones de metanol a la atmósfera provenientes del proceso.

En una unidad de metanol, las inspecciones y el mantenimiento rutinarios son esenciales para identificar y reparar fugas, garantizando la seguridad y la eficiencia. Con un diseño adecuado y procedimientos de mantenimiento bien establecidos, las emisiones fugitivas pueden eliminarse en gran medida. En el Proyecto TAMBOR se buscará la reducción de juntas mecánicas que manejen metanol; por ejemplo, en el diseño prevalecerán las tuberías soldadas y se minimizará el uso de bridas atornilladas en áreas como las entradas y salidas de tanques, así como en instrumentos o válvulas en línea. Estas juntas mecánicas, si no se mantienen adecuadamente, pueden ser una fuente de fuga; sin embargo, de ocurrir, se espera que sean prácticamente insignificantes.

Las principales fuentes potenciales de estas emisiones en caso de que llegaran a suceder serían:

1. Válvulas: Las fugas pueden ocurrir debido a un asentamiento inadecuado, sellos desgastados o componentes de la válvula dañados.
2. Bridas y Conexiones: Estas pueden presentar fugas si no están selladas adecuadamente.
3. Puntos de Acceso en Tanques de Almacenamiento: Las fugas pueden ocurrir si las juntas están desgastadas o dañadas.

En caso de que sea necesario vaciar completamente el inventario de un tanque de metanol en el área de contención para realizar reparaciones, se puede asumir que la cantidad máxima de metanol perdido por evaporación será del 0,02 % del inventario total (0,5 m³ o 380 kg). Cabe destacar que este es un escenario muy poco probable y se espera que ocurra solo una o dos veces durante la vida útil de la planta. Para minimizar las pérdidas por evaporación, es importante realizar estas actividades durante períodos más frescos y cubrir el área de contención si es posible.

En función de lo anterior, se entiende que las emisiones difusas de metanol que no sean dirigidas a la antorcha durante la operación normal serán de muy baja significancia, no siendo necesaria su modelación.

3.4.5 Contingencia de derrame en carga de metanol a vagones

La carga del metanol producido se hará en un recinto techado con laterales abiertas, y piso de hormigón con contenciones laterales que permiten almacenar hasta un 110 % del volumen contenido en el vagón de mayor capacidad. Un esquema de contención típica se puede ver en la Figura 3-4. La carga se realizará con un sistema de circuito cerrado conectado a los vagones de carga. Se cargarán seis vagones a la vez, cada uno con una capacidad útil de aproximadamente 83 m³, equivalente a unas 66 t de metanol. El sistema de carga será de circuito cerrado, por lo que durante operación normal no existirá venteo de metanol a la atmósfera.



Figura 3-4: Vagones de transporte de graneles líquidos sin presurizar y elementos de contención típicos.

El sistema de conexión de la carga de metanol a los vagones será manual, pero contará con sistemas de corte automatizados en caso de falla, así como sistemas de corte de carga manuales. Durante las operaciones de carga podrá haber tres tipos de falla que podrán llevar a derrames, según se describe a continuación:

1. Derrame por llenado excesivo de los vagones tanque: en función de los mecanismos de respuesta que se instalarán en el sitio de llenado de los vagones, en caso de falla se espera como máximo un volumen de $0,8 \text{ m}^3$ de vertido accidental, correspondiente a aproximadamente el 1 % de la capacidad del vagón.
2. Falla de equipamiento: válvulas con pérdidas o mal funcionamiento de las mangueras de carga. En este caso se espera un volumen máximo de derrame accidental de $0,1 \text{ m}^3$.
3. Derrames por volumen residual de metanol presente en las tuberías luego de la carga del vagón tanque: en función de la cantidad de metanol que podría quedar en los tramos de tubería del sistema de carga y sus dimensiones, se espera un volumen máximo de $0,03 \text{ m}^3$ en caso de falla del sistema.

Cabe destacar que estos derrames accidentales únicamente se darían en caso de contingencia, y que no corresponden a la operación normal del proyecto, el cual cuenta con medidas de diseño y protocolos de seguridad para minimizar estas situaciones contingentes.

En función de ello, en el escenario de peor caso, el volumen que podría llegar a derramarse a causa de una falla en el procedimiento de carga de vagones corresponde como máximo a $0,93 \text{ m}^3$, asociado a la suma de los volúmenes anteriores. Si bien el área de contención es de $3,5 \text{ m}$ de ancho y 3 m de largo, dado que se diseña a modo de dirigir el volumen derramado hacia un depósito sumidero enterrado y cerrado de 1 m^3 , a los efectos de la representación en el modelo se considerará un área de emisión de 1 m^2 . Esta área se podrá garantizar con el diseño de las zonas de contención en el área de carga de vagones, incorporando pendientes adecuadas al suelo impermeable, y colocando sumideros a distancias adecuadas. De manera conservadora se considera la superficie de 1 m^2 emitiendo de manera constante y continua durante todo el día.

Para terminar de caracterizar la fuente de área, resta conocer la tasa de evaporación del metanol a la atmósfera en caso de derrame. Esta tasa de evaporación queda determinada por

las propiedades del compuesto, así como por las condiciones ambientales, tales como: temperatura ambiente, temperatura del suelo, velocidad del viento, humedad ambiente, etc. Dado que no es factible cubrir la totalidad de combinaciones de factores externos, se consideran las siguientes condiciones con base en la caracterización climática del sitio donde se ubicará el proyecto, las cuales tienden a maximizar la tasa de evaporación del metanol, siendo, por tanto, una estimación conservadora:

- Temperatura ambiente: 25 °C (promedio mensual máximo).
- Velocidad del viento: 5 m/s (percentil 80 %).
- Temperatura del líquido y del suelo igual a la temperatura ambiente.

Con estas condiciones y las características del metanol, se utiliza el software ALOHA de la NOAA (Administración Nacional de Océanos y Atmósfera de los Estados Unidos)⁴ para determinar la variación de la tasa de emisión de un derrame de las dimensiones descritas anteriormente bajo las condiciones ambientales mencionadas. La tasa de emisión por área obtenida es de 2,65 g/s.m².

3.4.6 Camiones para transporte de CO₂

El escenario de operación normal en el transporte de CO₂ por camión desde su origen hasta la planta de producción de metanol, implica la realización de 20 viajes de camión por día. Se utilizarán camiones con una capacidad de carga de 20 t de CO₂. Dado que no se conoce el modelo específico de camión a utilizar, se consideran los factores de emisión de la Agencia Ambiental Europea⁵, los cuales se presentan en la Tabla 3-6, en términos de gramos de compuesto emitido por cada kilómetro recorrido por un vehículo de esa categoría de tecnología de mitigación de emisiones.

Los viajes de transporte de CO₂ se realizarán en convoyes de 2 camiones. Los sistemas de carga y descarga de CO₂ tendrán una capacidad de 20 t de CO₂ por hora y por camión. De este modo, la operación podrá ser tal que dos camiones lleguen TAMBOR, descarguen el CO₂, y haya otros dos camiones cargados de CO₂ llegando al sitio para descargar, mientras los camiones que ya descargaron retornan al punto de captura de CO₂ para volver a ser cargados. Así, como máximo, podrá tenerse una circulación de 4 camiones dentro de una ventana de una hora en un punto dado de la ruta. Considerando lo anterior, las tasas de emisión máximas por unidad de tiempo y de longitud recorrida por los camiones serán las que se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6: Tasas de emisión de gases de combustión para vehículos “Diesel” rígidos de peso mayor a 32 t (modificado de EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2024).

Tecnología de mitigación de emisiones	CO (g/km.veh)	NOx (gNO2/km.veh)	PM2,5 (g/km.veh)
Convencional	2,476	12,256	4,32E-01
Euro I	2,117	8,746	3,34E-01
Euro II	1,897	9,380	1,97E-01
Euro III	2,053	7,560	1,66E-01
Euro IV	0,888	5,289	3,92E-02
Euro V	1,617	3,615	3,63E-02

⁴ Jones, R., Lehr, W., Simecek-Beatty, D., & Reynolds, R. M. (2013). ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: Technical documentation (NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43). National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration, Emergency Response Division. <https://response.restoration.noaa.gov>

⁵ Ntziachristos, L., Samaras, Z., Kouridis, C., & others. (2024). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2024: 1.A.3.b.i-iv Road transport. European Environment Agency (EEA).

Tecnología de mitigación de emisiones	CO (g/km.veh)	NOx (gNO2/km.veh)	PM2,5 (g/km.veh)
Euro VI A/B/C	0,159	0,445	3,59E-03
Euro VI D/E	0,159	0.320	3,59E-03

Tabla 3-7: Tasas de emisión de gases de combustión para vehículos “Diesel” rígidos de peso mayor a 32 t por unidad de distancia recorrida considerando 4 vehículos por hora.

Tecnología de mitigación de emisiones	CO (g/km.h)	NOx (gNO2/km.h)	PM2,5 (g/km.h)
Convencional	9,90	49,02	1,73
Euro I	8,47	34,98	1,34
Euro II	7,59	37,52	0,79
Euro III	8,21	30,24	066
Euro IV	3,55	21,16	0,16
Euro V	6,47	14,46	0,15
Euro VI A/B/C	0,64	1,78	0,01
Euro VI D/E	0,64	1,28	0,01

Tecnología de mitigación de emisiones	CO (g/km.s)	NOx (gNO2/km.s)	PM2,5 (g/km.s)
Convencional	2,75E-03	1,36E-02	4,80E-04
Euro I	2,35E-03	9,72E-03	3,71E-04
Euro II	2,11E-03	1,04E-02	2,19E-04
Euro III	2,28E-03	8,40E-03	1,84E-04
Euro IV	9,87E-04	5,88E-03	4,36E-05
Euro V	1,80E-03	4,02E-03	4,03E-05
Euro VI A/B/C	1,77E-04	4,94E-04	3,99E-06
Euro VI D/E	1,77E-04	3,56E-04	3,99E-06

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

4.1 INTRODUCCIÓN

Para la modelación de dispersión atmosférica se utiliza el paquete de modelación AERMOD View 12.0.0, el cual incorpora el modelo AERMOD 23132 de la US EPA, entre otros, sin hacer modificaciones al mismo.

El AERMOD es un sistema de modelación de penacho gaussiano estacionario, que cuenta con tres componentes:

- AERMOD: modelo de dispersión de la AERMIC (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee).
- AERMAP: módulo de preprocesamiento de terreno del AERMOD.
- AERMET: módulo de preprocesamiento meteorológico del AERMOD.

El modelo incluye el tratamiento de fuentes puntuales, lineales, de área y de volumen, permitiendo realizar modelación sobre terrenos complejos y considerar presencia de edificios y su efecto en la dispersión de contaminantes desde fuentes puntuales.

4.2 MODELO DIGITAL DE TERRENO Y EDIFICACIONES

Para la generación del modelo de terreno se utiliza información en formato “ráster” del “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM), con información de elevación del terreno sobre el nivel del mar, y un píxel de 30 m por 30 m, según se muestra en la Figura 4-1.

Se incorporan, asimismo, las edificaciones del predio industrial, según se muestra en la Figura 4-2.

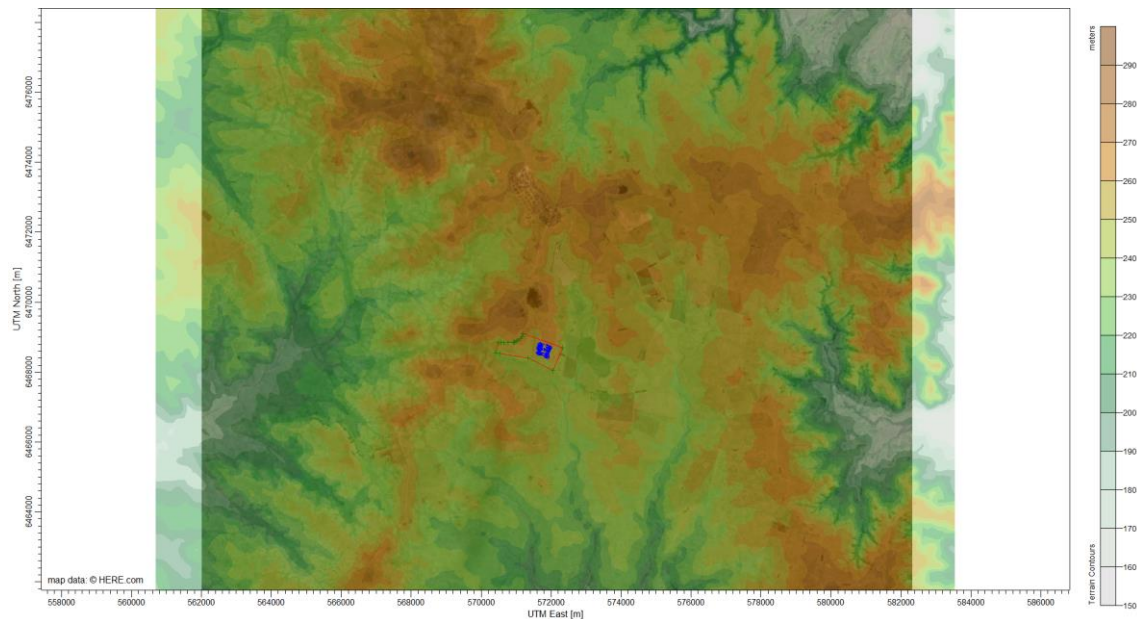


Figura 4-1: Modelo Digital de Terreno (MDT). En color rojo ubicación del emprendimiento.



Figura 4-2: Edificaciones consideradas en el modelo.

4.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos meteorológicos utilizados para la modelación corresponden a datos de reanálisis del modelo de investigación y pronóstico climático WRF -MMIF, el cual cuenta con una grilla de 12 km por 12 km de resolución espacial, en la cual queda comprendida la planta. El período de datos utilizado va desde el 1º de enero de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2023, con un total de 3 años de datos.

4.4 RECEPTORES

Se implementó una grilla uniforme de receptores espaciados cada 100 m tanto en dirección Este – Oeste, como en dirección Norte – Sur. Asimismo, se utilizó una grilla más densa sobre la localidad de Tambores, con receptores espaciados cada 20 m. En Figura 4-3 se presenta la grilla de receptores general, mientras que en la Figura 4-4 se presenta un acercamiento a la zona de Tambores.

4.5 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Luego de implementar y ejecutar las simulaciones para los 3 años de datos meteorológicos con los que se cuenta, se presentan resultados correspondientes a las concentraciones máximas obtenidas para un período de promediación dado.

Los cálculos de dispersión en el AERMOD se hacen con paso de 1 hora, y sin memoria de la situación anterior. Esto es, para 1 hora dada, se calcula la concentración del parámetro de interés en el dominio de cálculo, en función de las condiciones de emisión y condiciones meteorológicas en esa hora, con un modelo de dispersión estacionario. Para la siguiente hora, se vuelve a calcular con las condiciones de esa hora, sin tomar en cuenta los resultados anteriores, y así, hasta finalizar el período de datos meteorológicos. Se obtiene, por lo tanto, un campo de concentraciones para cada hora de datos meteorológicos disponible.

A los efectos del análisis de cumplimiento, interesa comparar las concentraciones máximas, en principio, para un determinado período de promediación. En el caso de promediación de 1 hora, simplemente se toma la concentración máxima obtenida en cada uno de los receptores, para todo el período de simulación. Para el caso de otros promedios, por ejemplo, de 24 horas, en primera instancia el software hace la promediación correspondiente, obteniendo una nueva serie temporal de datos de concentración para cada receptor (en este caso, datos promedio diarios), y se toma el máximo en cada receptor para esta nueva serie de datos.

De este modo, los mapas de concentración que resultan de la modelación, presentan concentraciones máximas, que no necesariamente ocurren de manera simultánea. O sea, se presentan de manera conjunta, las concentraciones más altas que se dieron en algún momento de la simulación en cada uno de los receptores.

Lo anterior debe ser tenido especialmente en cuenta al momento de interpretar los mapas de concentración de eventos de contingencia, que no corresponden a emisiones continuas, sino a emisiones de corta duración. Lo que se presenta en este caso, no es lo que ocurriría en un momento dado, sino la concentración máxima en cada punto del dominio de cálculo, si el evento contingente se hubiera dado en el momento que las condiciones meteorológicas eran propicias para resultar en esa concentración máxima para ese receptor dado.

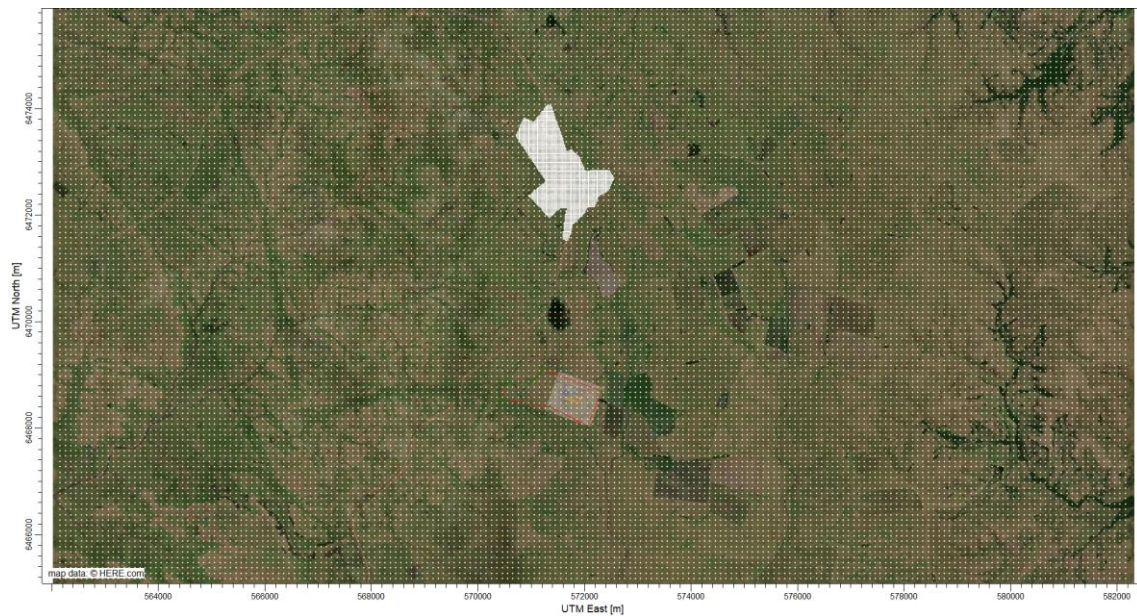


Figura 4-3: Distribución de receptores.



Figura 4-4: Distribución de receptores en Tambores.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 NO₂ EN OPERACIÓN NORMAL

Este escenario corresponde a la emisión de NO₂ durante la operación normal de la planta, lo cual se dará la amplia mayoría del tiempo. Cabe destacar que, como hipótesis conservadora, se considera todas las emisiones de NO_x como NO₂, tomando conversión completa de NO a NO₂ en la fuente.

Durante la operación normal, se tendrán emisiones de NO₂ a causa de la combustión de gases en la antorcha, así como a causa de la circulación de camiones de transporte de CO₂. Para la simulación de este escenario, se considera la caracterización de las emisiones de la antorcha presentadas en la Tabla 3-3. Asimismo, para las emisiones de NO₂ de los camiones se considera la caracterización correspondiente a tecnología de mitigación “convencional”, que presenta las tasas de emisión más altas, según la Tabla 3-7. En la tabla a continuación se resumen las características de las emisiones:

Tabla 5-1: Resumen de emisiones de NO₂ en operación normal.

Fuente	Antorcha	Camiones de transporte de CO ₂
Tipo de fuente	Puntual	Lineal
Tasa de emisión	8,66E-3 g/s	1,36E-02 g/km.s
Altura	45 m	Nivel de terreno
Temperatura	320 °C	Ambiente

En la Figura 5-1 se presenta la concentración horaria máxima del período de modelación. Según se puede ver, las concentraciones más altas están asociadas a los camiones de transporte de CO₂, pero presentan valores de concentración máximos de alrededor de 30 µg/m³, inferiores al límite de calidad de aire de 200 µg/m³. No se espera un nivel de línea de base de NO₂ relevante en la zona por sus características (bajo tránsito de vehículos a combustión interna y ambiente rural sin industrias), por lo que se entiende que el aporte de NO₂ a la concentración ambiente durante la operación normal será de muy baja significancia y admisible.

En la Figura 5-2 se presenta la concentración horaria máxima del período de modelación asociada únicamente a las emisiones de la antorcha, esto es, sin considerar las emisiones del tránsito. En esta se puede ver claramente que el aporte incremental de las emisiones de la antorcha por sobre el nivel de línea de base que pueda existir es completamente despreciable.

En la Figura 5-3 se presentan las concentraciones anuales máximas obtenidas para el período de modelación, donde también se tiene que se encuentran sustancialmente por debajo del límite de calidad de aire.

La operación normal del emprendimiento da cumplimiento con amplia holgura a los límites de calidad de aire de NO₂.



Figura 5-1: Concentración horaria máxima de NO2 – operación normal.

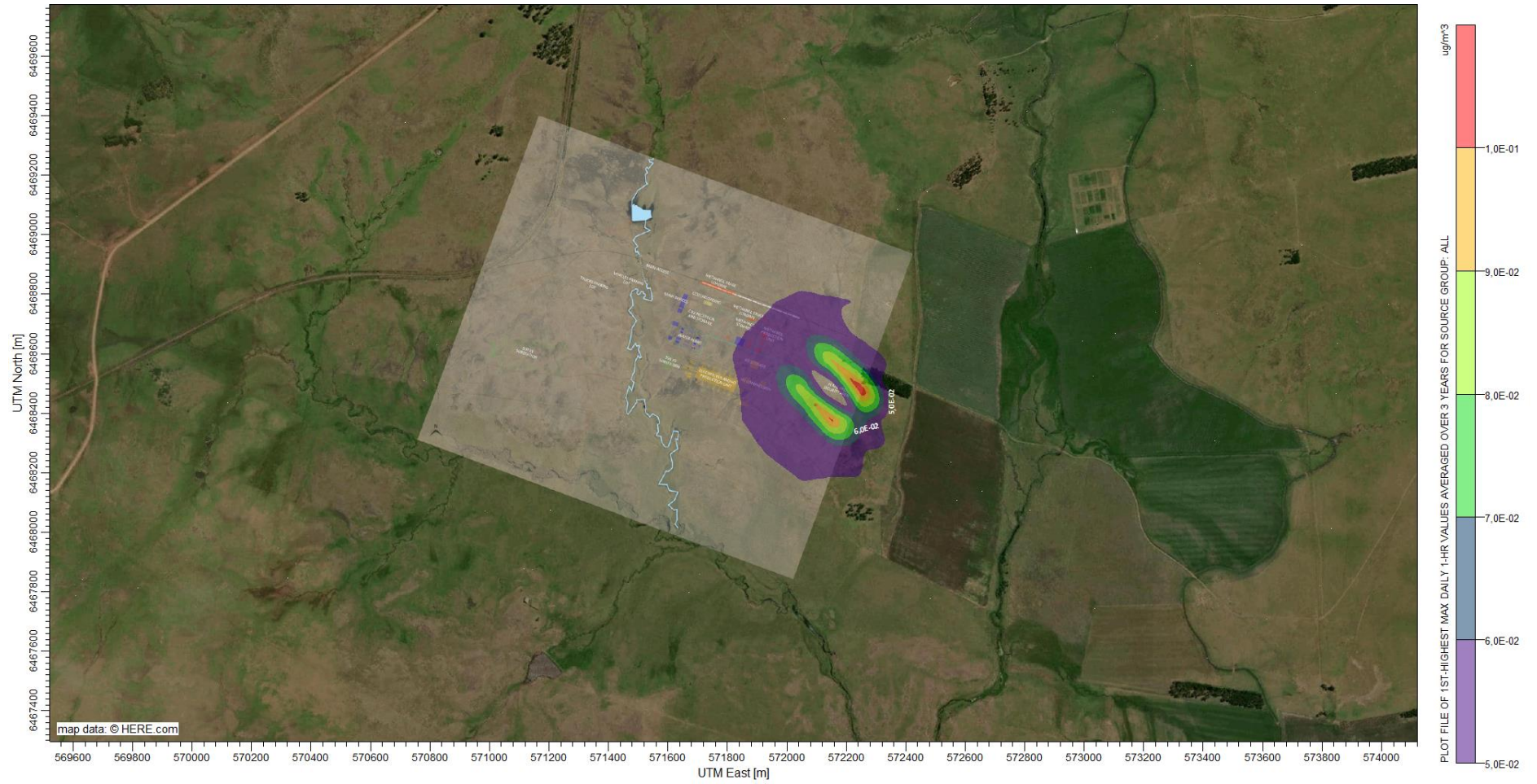


Figura 5-2: Concentración horaria máxima de NO2 únicamente para las emisiones de la antorcha – operación normal.

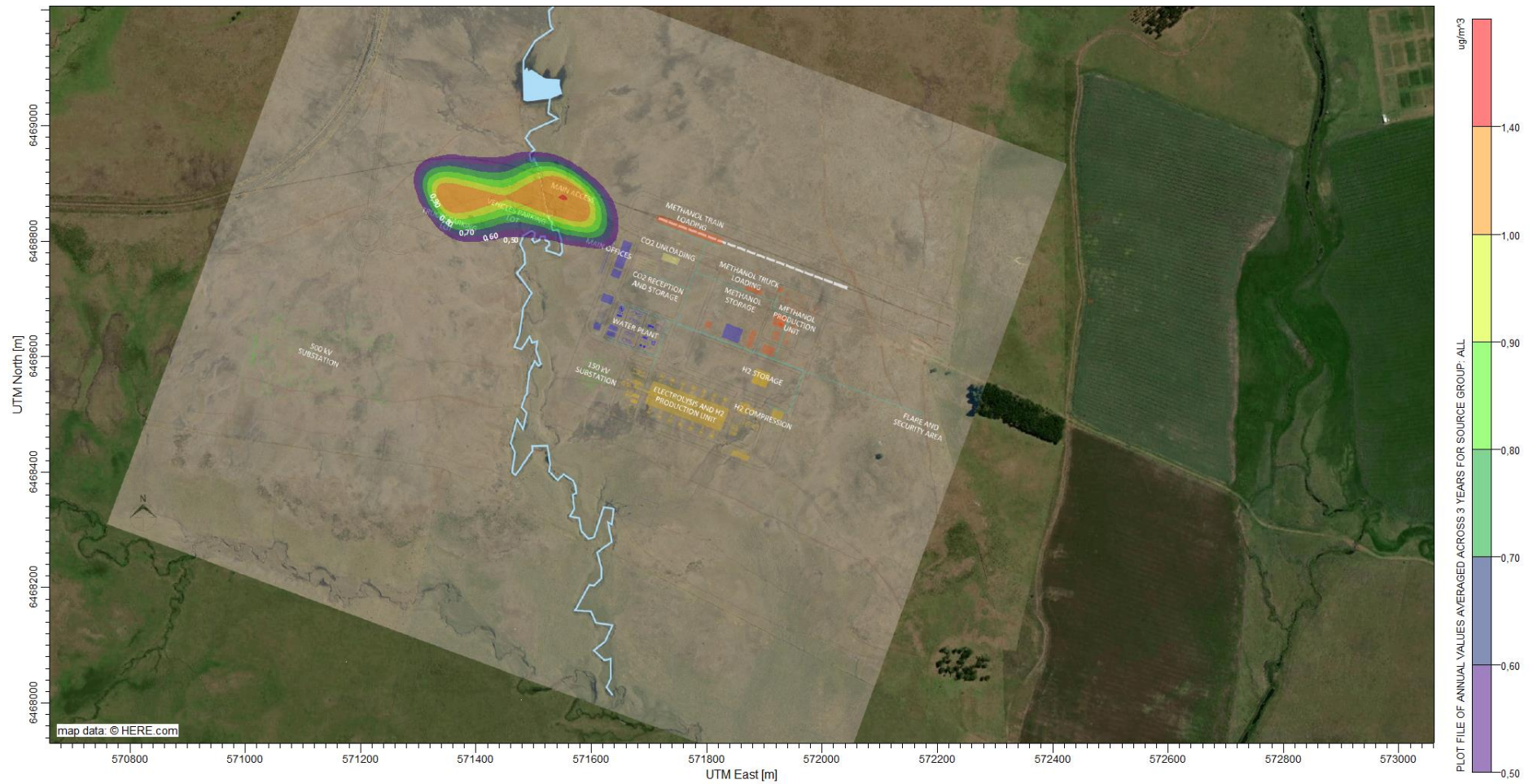


Figura 5-3: Concentración anual máxima de NO₂ – operación normal.

5.2 OTRAS EMISIONES ASOCIADAS AL TRÁNSITO DE CAMIONES

Las otras emisiones a la atmósfera asociadas a los camiones de transporte de CO₂ corresponden a los productos de la combustión: CO, SO₂ y PM_{2,5} principalmente. En vista de los resultados para las emisiones de NO₂, y dado que las emisiones de CO y PM_{2,5} son respectivamente 1 y 2 órdenes de magnitud inferiores a las de NO₂, según se presenta en la Tabla 3-7, las concentraciones de éstos serán de muy baja significancia y admisibles en el ambiente.

La concentración de SO₂ en las emisiones depende del tenor de azufre contenido en el combustible utilizado por los camiones. Suponiendo que serán camiones “Diesel”, se podrá utilizar gasoil de bajo tenor de azufre, el cual se encuentra disponible en el mercado uruguayo. Con esta medida se podrán minimizar las emisiones de SO₂.

5.3 NO₂ EN OPERACIÓN CON PLANTA DE METANOL FUERA DE FUNCIONAMIENTO (CONTINGENCIA)

Se contempla el escenario contingente de interrupción en el funcionamiento de la planta de producción de metanol, pero con continuidad en el funcionamiento del resto de la planta. Este escenario poco probable podría darse en casos donde el motivo de la interrupción en la operación de la planta de metanol pueda ser resuelto en cuestión de horas, lapso que no ameritaría la parada del resto de la planta, dado que el tiempo de puesta en marcha sería mayor. En estos casos contingentes, los gases que ingresan como materia prima para la producción de metanol, serán enviados directamente a la antorcha, lo que causará una modificación en las características de la emisión respecto a la situación de operación normal, de acuerdo con lo presentado en la Tabla 3-4. En la tabla a continuación se presenta el resumen de las características de emisión consideradas para este escenario, donde también se toma en cuenta la emisión asociada a la operación normal del transporte de CO₂.

Tabla 5-2: Resumen de emisiones de NO₂ en operación con planta de metanol fuera de funcionamiento.

Fuente	Antorcha	Camiones de transporte de CO ₂
Tipo de fuente	Puntual	Lineal
Tasa de emisión	9,56E-1 g/s	1,36E-02 g/km.s
Altura	45 m	Nivel de terreno
Temperatura	320 °C	Ambiente

En la Figura 5-4 se presenta la concentración horaria máxima del período de modelación asociada únicamente a las emisiones de la antorcha en este escenario, sin tomar en cuenta el tránsito. En este caso también se puede ver que el aporte de las emisiones de la antorcha es de muy baja significancia, con valores máximos que ocurren dentro del predio industrial de 2,3 µg/m³.

Dado que el tránsito de camiones considerado es exactamente el mismo que para el escenario de operación normal, y que el aporte de NO₂ a causa de la antorcha es despreciable, se tiene que las concentraciones asociadas al tránsito serán las mismas que para el escenario de operación normal, las cuales son admisibles y de baja significancia. Esto vale tanto para las concentraciones promedio horarias como para las anuales.

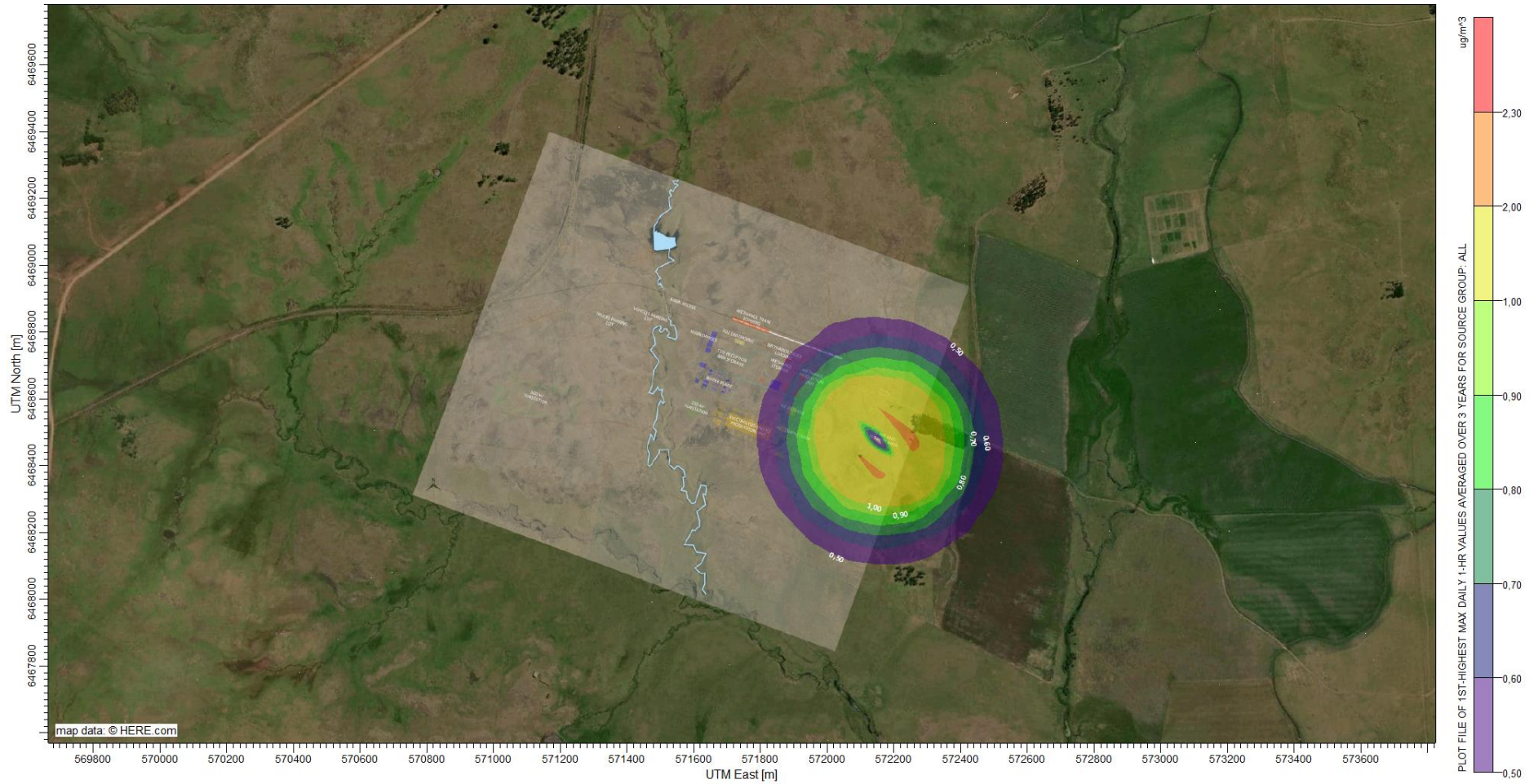


Figura 5-4: Concentración horaria máxima de NO2 únicamente para las emisiones de la antorcha – operación con planta de metanol fuera de funcionamiento.

5.4 EMISIÓN DE METANOL EN OPERACIÓN SIN ANTORCHA (CONTINGENCIA)

Según fuera explicado anteriormente, el apagado de la antorcha tiene una probabilidad de ocurrencia ínfima, dado que el sistema se diseña con redundancia doble de la llama, por lo que, si una de ellas se apaga, la otra puede continuar con la combustión de los gases. El sistema cuenta además con una válvula de seguridad, que corta el flujo de gas en caso de apagado de la llama. En caso de que ocurra, se emitirá a la atmósfera el gas que normalmente llega a la antorcha con su composición previa a la combustión, según se presenta en la Tabla 3-5. En este escenario, el parámetro de interés pasa a ser el MeOH que se libera sin ser quemado. En la tabla a continuación se resumen las características de las emisiones para este escenario:

Tabla 5-3: Resumen de emisiones de MeOH en operación sin antorcha.

Fuente	Antorcha
Tipo de fuente	Puntual
Tasa de emisión	15,55 g/s
Altura	45 m
Temperatura	57,7 °C

Para el análisis de esta situación, se consideran las concentraciones límite de calidad de aire promedio en 24 horas para la verificación de la afectación potencial a la salud de la población según la Tabla 2-3, así como los límites de percepción de olor para las concentraciones máximas de 1 hora, según la Tabla 2-5.

Según se muestra en la Figura 5-5, las concentraciones máximas para el promedio de 24 horas de MeOH en este escenario se encuentra sustancialmente por debajo del límite de calidad de aire considerado de $4.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se tiene entonces que el impacto potencial de esta situación contingente de muy baja probabilidad de ocurrencia sería admisible y de muy baja significancia, con concentraciones dos órdenes de magnitud inferiores al límite de calidad de aire considerado.

En la Figura 5-6 se presentan las concentraciones máximas de MeOH para este escenario para promedios de 1 hora. En esta se puede ver que ni siquiera las concentraciones máximas que se dan dentro de la planta superan ni el límite de calidad de aire de $4.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ni tampoco el límite inferior de percepción de olor para el MeOH, de $5.580 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor máximo de concentración obtenido para este escenario es de $860 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dado que se logra dar cumplimiento al valor de referencia para la calidad del aire en 24 horas, que no se presentan concentraciones con un umbral superior al de detección de olor para el MeOH, y que la probabilidad de ocurrencia de un evento de apagado de la antorcha es sumamente baja, se entiende que el impacto potencial de este escenario será de muy baja significancia y admisible en el medio receptor.

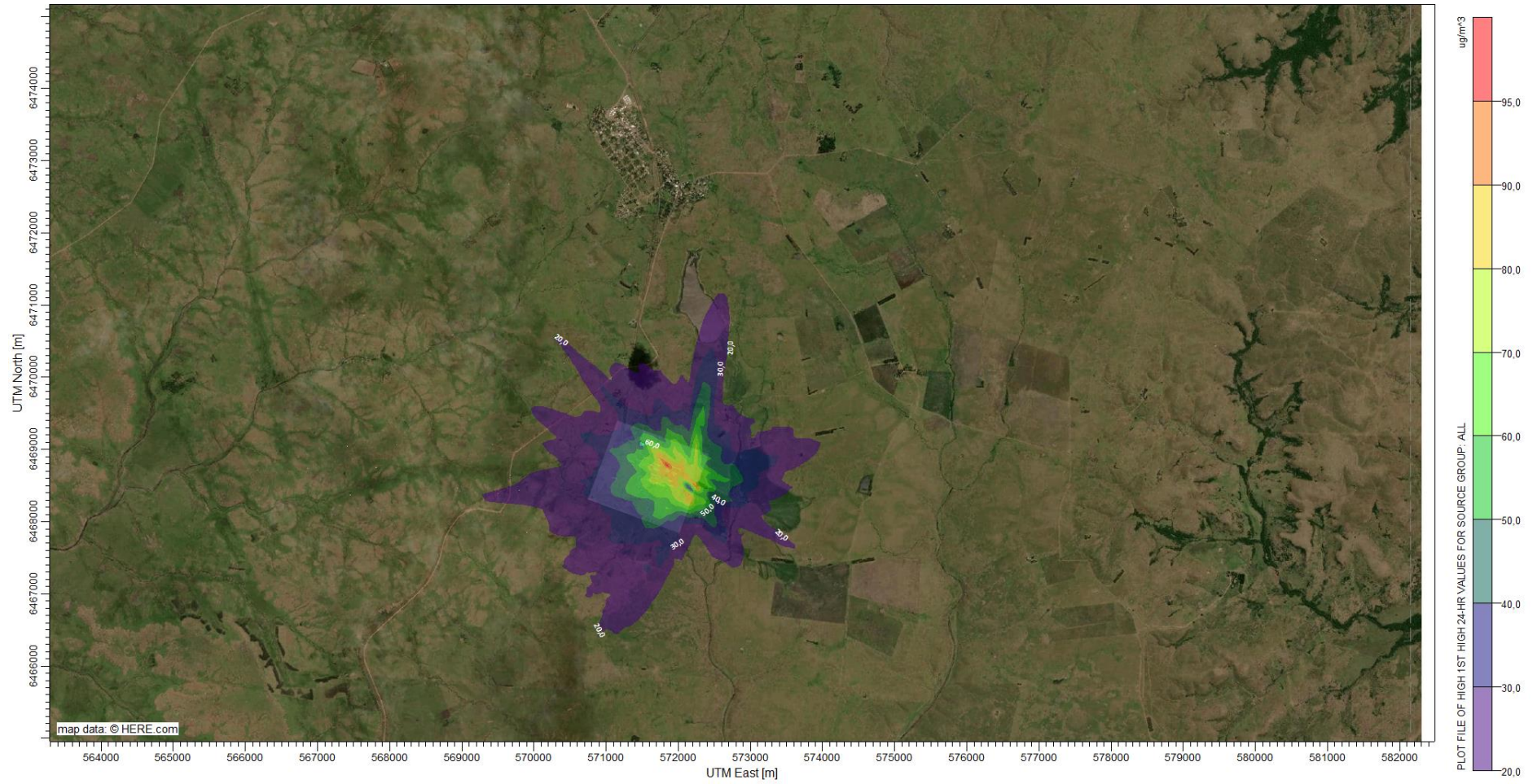


Figura 5-5: Concentración de MeOH máxima para promedios de 24 horas. Contingencia de emisión de MeOH con antorcha apagada.

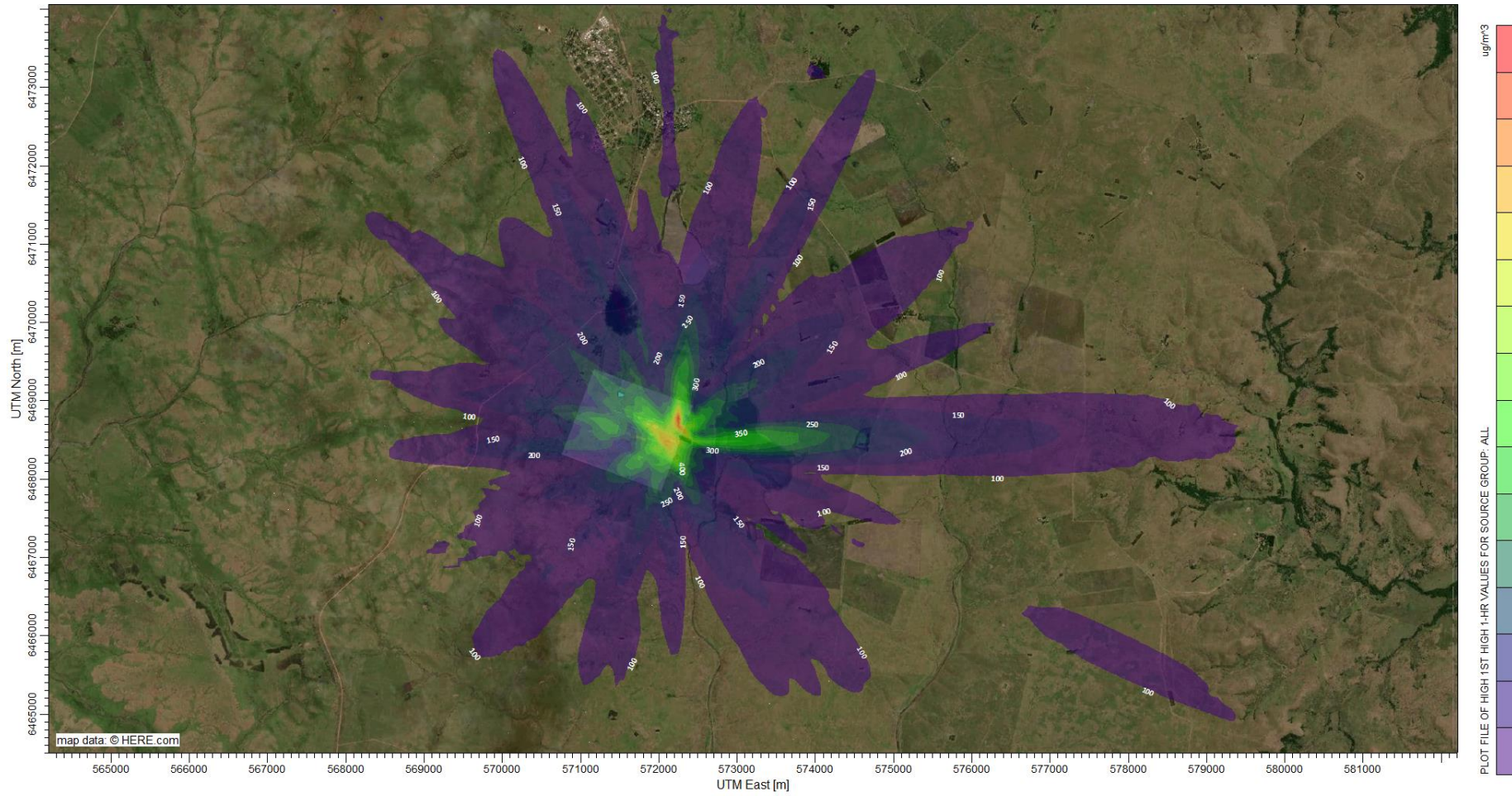


Figura 5-6: Concentración de MeOH máxima para promedios de 1 hora. Contingencia de emisión de MeOH con antorcha apagada.

5.5 EMISIÓN DE METANOL POR DERRAME DURANTE CARGA DE VAGONES (CONTINGENCIA)

Según se describió, para este escenario de contingencia, con baja probabilidad de ocurrencia, se estima un volumen máximo de derrame de $0,93 \text{ m}^3$. A los efectos de la representación en el modelo, se asume una superficie de emisión de 1 m^2 . Esta área se podrá garantizar con el diseño de las zonas de contención en el área de carga de vagones, incorporando pendientes adecuadas al suelo impermeable, y colocando sumideros a distancias adecuadas. Para condiciones ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura, 5 m/s de velocidad de viento, y temperatura del líquido y del suelo igual a la temperatura ambiente, se estima una tasa de evaporación del derrame de MeOH utilizando el software ALOHA, con lo que se tiene una tasa de emisión por unidad de área de $2,65 \text{ g/s.m}^2$.

Este evento contingente se evaluará comparando con los límites AEGL presentados en la Tabla 2-4, así como con el valor de referencia de calidad de aire de la Tabla 2-3 y los valores de percepción de olor de la Tabla 2-5. Se destaca que para la evaluación se consideran los peores resultados en términos de concentraciones para los períodos de promediación correspondientes, para los tres años de datos meteorológicos considerados, tomando una emisión de la fuente constante y uniforme.

En Figura 5-7 se presentan las concentraciones máximas para el promedio de 1 hora, marcando el límite asociado al umbral absoluto de detección de olor de $5,58 \text{ mg/m}^3$. Según se puede apreciar, en caso de contingencia de derrame, la concentración asociada a ese umbral no se extiende más allá de los 700 m de la fuente, no afectando a ningún receptor cercano a la planta industrial, ni a la localidad de Tambores. Como se puede observar, además, en esta situación se alcanza el umbral de reconocimiento de olor del 100% , de $70,11 \text{ mg/m}^3$, únicamente dentro del límite del predio industrial. Por otro lado, no se alcanza el límite asociado al valor del AEGL 1 para el promedio horario, de 690 mg/m^3 .

En la Figura 5-8 se presentan las concentraciones máximas para el promedio de 24 horas, marcando el límite asociado al valor de referencia de calidad de aire de $4.000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Como se puede observar, estos valores sólo se alcanzarían en una zona muy acotada hasta una distancia de 130 m de la fuente, por lo que no se vería afectado ningún receptor cercano. Cabe destacar además que esta promediación considera que la fuente estaría emitiendo de forma constante y uniforme durante las 24 horas del día, lo cual no sería el caso en un evento de contingencia, donde existirán medidas para tomar acción en la contención y eliminación de la fuente en un período de tiempo muy inferior a 24 horas. Se tiene entonces que el resultado presentado es una estimación sumamente conservadora para la concentración esperable promediada en 24 horas para este caso de contingencia.

La Figura 5-9 muestra las concentraciones máximas promedio en 4 horas y la Figura 5-10 muestra las concentraciones máximas promedio en 8 horas, en las cuales se observa que las concentraciones máximas alcanzadas se encuentran muy por debajo de los límites del AEGL 1 (de 450 mg/m^3 para 4 horas y 350 mg/m^3 para 8 horas).

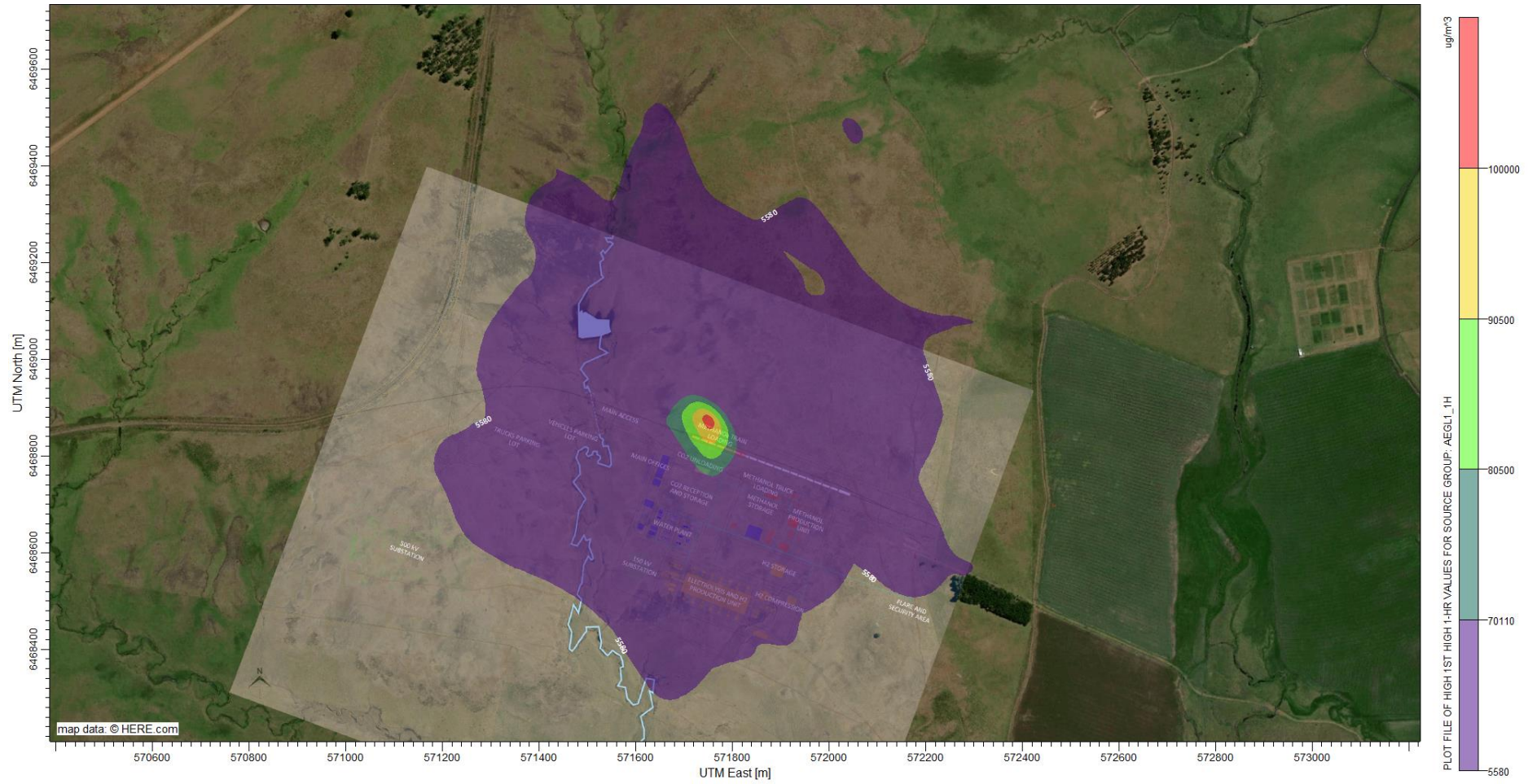


Figura 5-7: Concentraciones máxima promedio en 1 hora para MeOH en caso de derrame en la carga de vagones. En violeta se muestra el área de percepción de olor considerando el umbral mínimo (50 % de percepción).

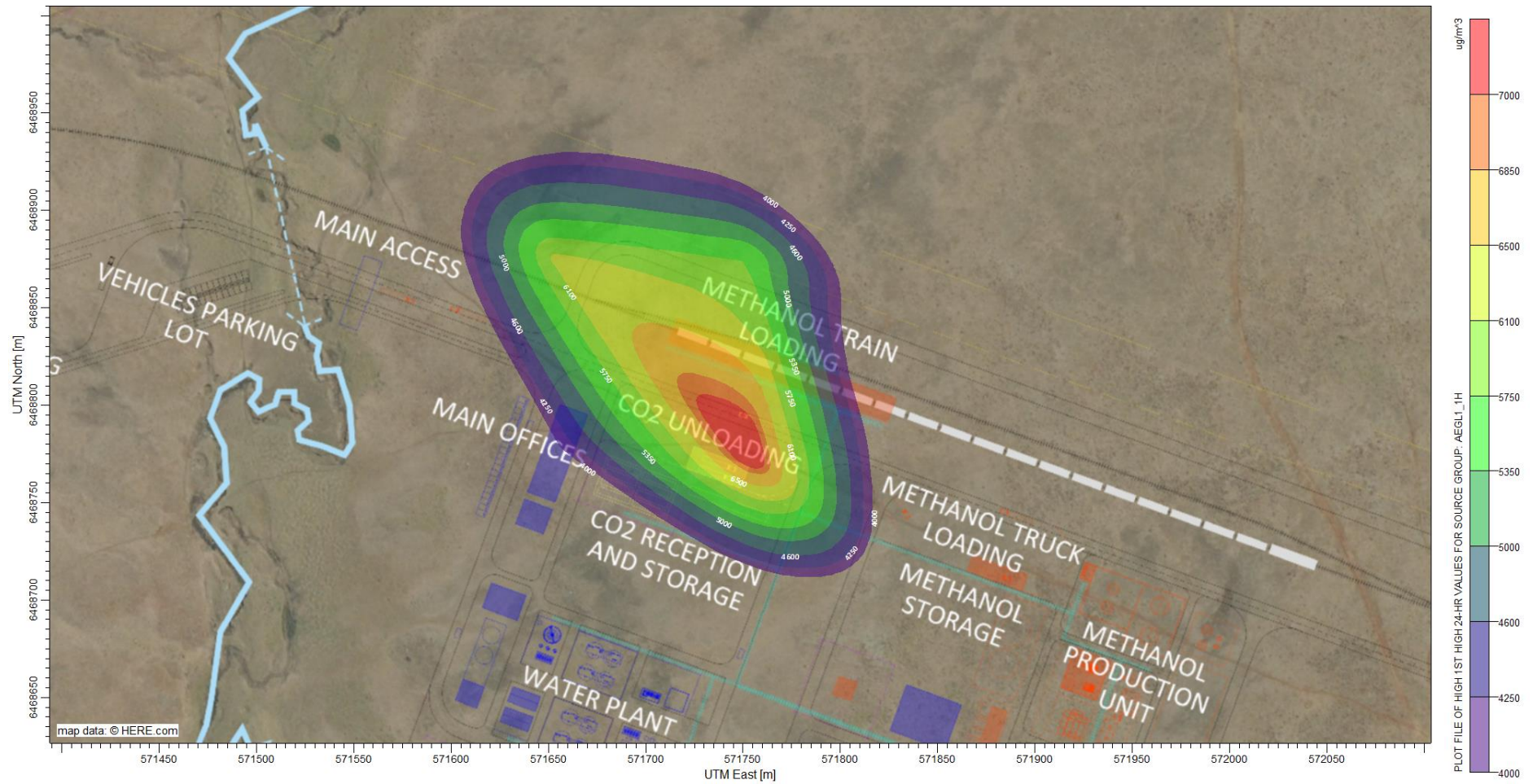


Figura 5-8: Concentraciones máxima promedio en 24 horas para MeOH en caso de derrame en la carga de vagones. El límite del área violeta corresponde a una concentración igual al valor de referencia de calidad de aire de 4000 µg/m³ para un promedio de 24 horas.

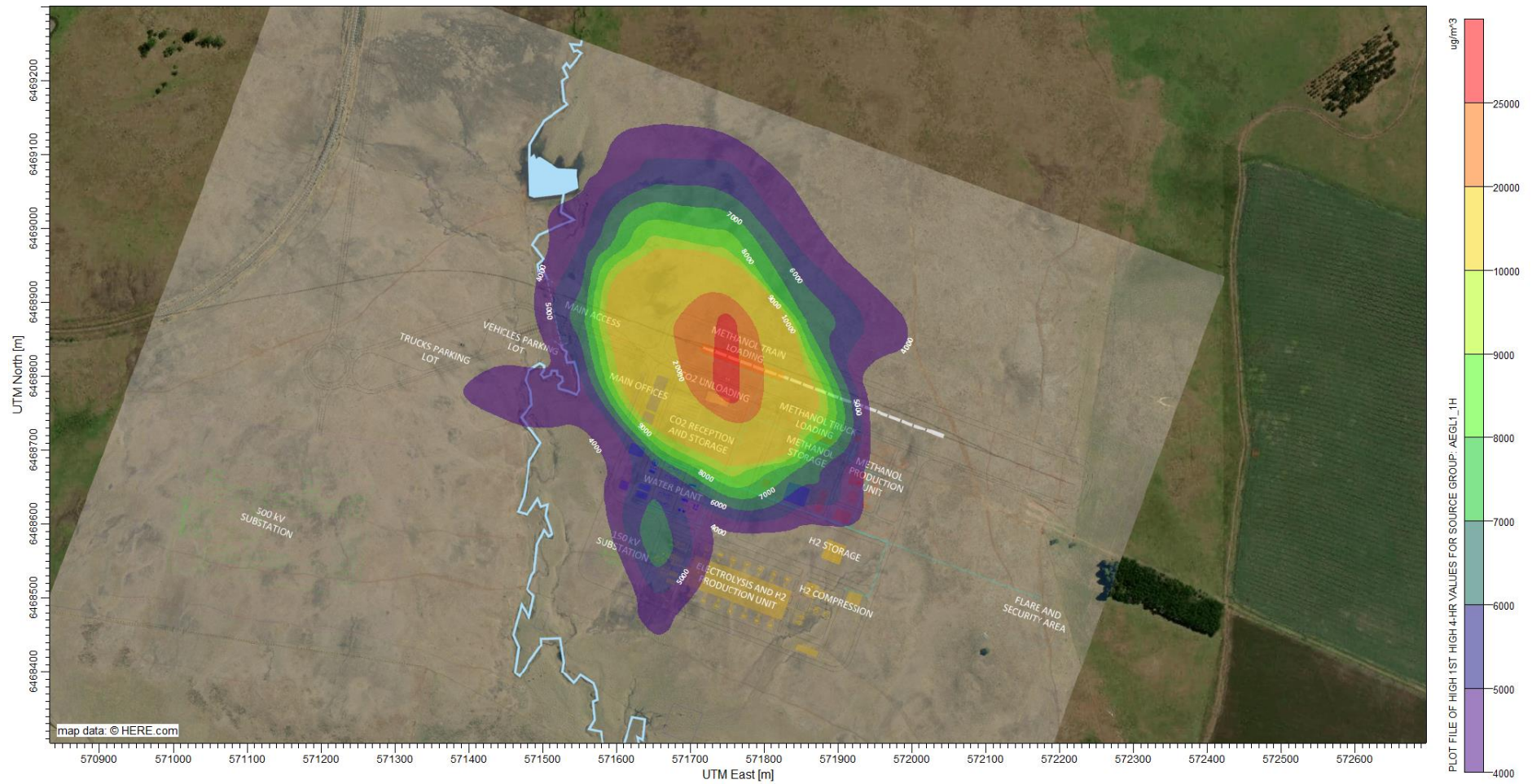


Figura 5-9: Concentraciones máxima promedio en 4 horas para MeOH en caso de derrame en la carga de vagones.

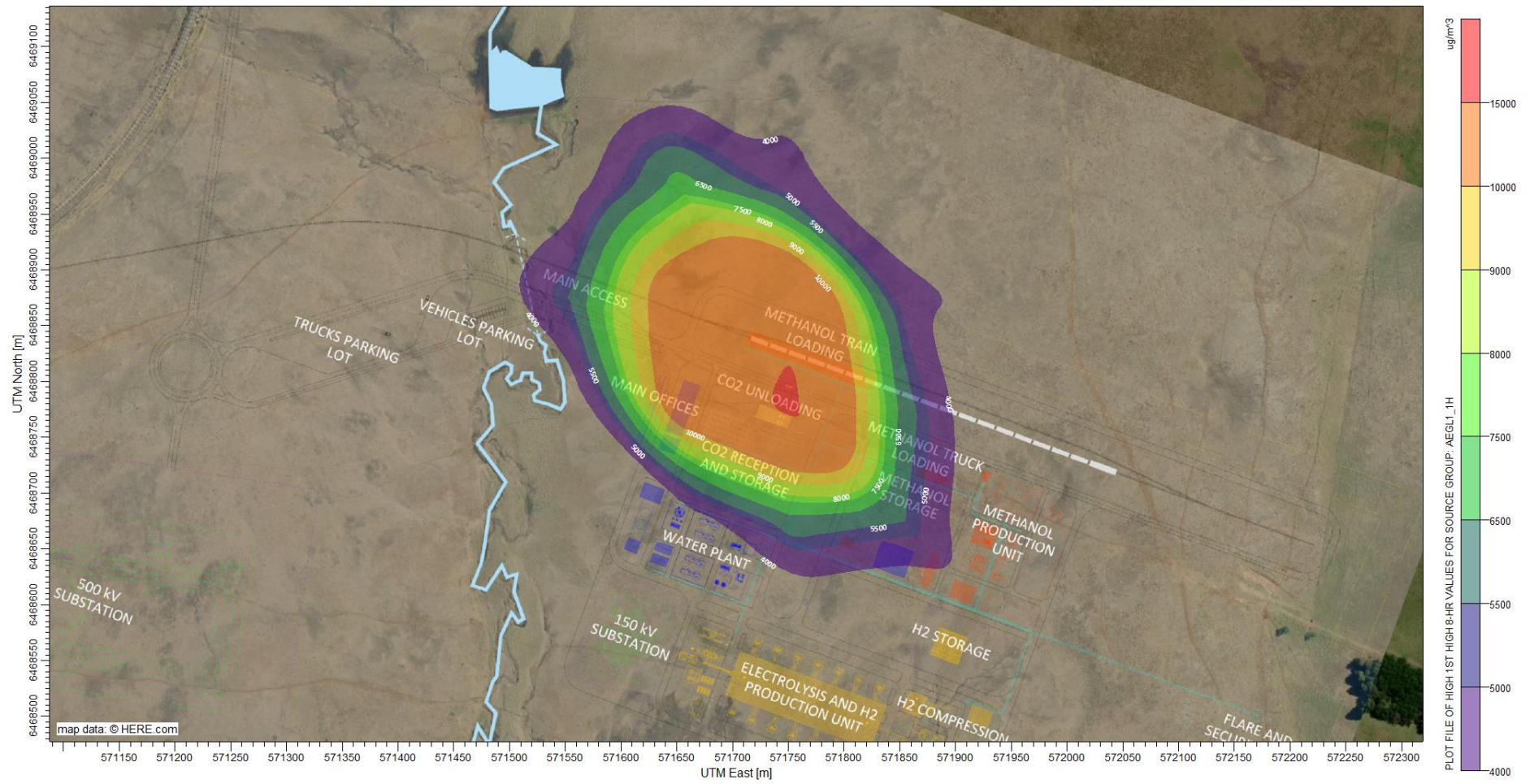


Figura 5-10: Concentraciones máxima promedio en 8 horas para MeOH en caso de derrame en la carga de vagones.

6. CONCLUSIONES

Durante la operación normal de la planta industrial, las emisiones a la atmósfera serán de significancia baja, no impactando en la calidad del aire circundante de forma significativa. Para el caso del NO₂, las emisiones de la antorcha serán netamente despreciables. Asimismo, considerando un escenario conservador para el tránsito vehicular, con los factores de emisión asociados a las tecnologías de mitigación de NO₂ menos estrictas, se logra holgadamente el cumplimiento de la normativa de calidad de aire. Asimismo, las tasas de emisión de los otros parámetros de interés asociados a los camiones de transporte de CO₂ son órdenes de magnitud más bajas que las del NO₂, por lo que su impacto potencial será de significancia sumamente baja.

Para el escenario contingente donde la planta de metanol deja de operar y el gas sintético se envía directamente a la antorcha, se tiene también que el aporte de estas emisiones a la concentración ambiente de NO₂ a causa de la antorcha es despreciable, con valores máximos de 2,5 µg/m³, 2 órdenes de magnitud por debajo del valor límite de calidad de aire de 200 µg/m³.

Para el escenario contingente de apagado de la antorcha, de muy baja probabilidad de ocurrencia dadas las redundancias de diseño en el sistema, las concentraciones potenciales máximas de MeOH promediadas en 24 horas serán de alrededor de 100 µg/m³, ampliamente inferiores al valor de referencia de calidad de aire considerado, de 4.000 µg/m³. Por otro lado, los valores promedio horarios se encontrarán por debajo del umbral absoluto de detección de olor para el MeOH (5.580 µg/m³), presentando concentraciones máximas de 850 µg/m³. Se tiene entonces para este escenario que no solamente se cumplirá con el valor de referencia de calidad de aire, sino que tampoco se espera que exista percepción de olor por parte de la población cercana en caso de ocurrir.

En el caso del escenario contingente de derrame de MeOH al momento de cargar un vagón cisterna, se tiene que para los valores promedio horario máximos, el umbral absoluto de detección de olor podrá ser superado únicamente en las cercanías de la fuente (hasta 700 m), sin afectar a receptores cercanos ni a la localidad de Tambores. Respecto al umbral de reconocimiento de olor 100 %, donde es esperable que la totalidad de la población expuesta perciba el olor a metanol y lo distinga como tal, se tiene que se alcanza este valor únicamente dentro del predio industrial. Para los valores AEGL 1 asociados a 1, 4 y 8 horas de período de promediación, se tiene que nunca son sobrepasados. Finalmente, analizando las concentraciones máximas para el promedio de 24 horas, que según se explicó corresponden a un escenario conservador, se tiene que la afectación potencial podrá darse en un área de influencia sustancialmente menor, a distancias máximas de hasta 130 m de la fuente, sin afectar ningún receptor cercano ni la localidad de Tambores.

Se tiene de este modo, que la afectación potencial a la calidad del aire, tanto para la operación normal de la planta, como para los eventos contingentes analizados, será admisible en el medio receptor.