



Universidad de Concepción
Centro de Ciencias Ambientales
EULA-CHILE
Ingeniería Ambiental



Análisis de riesgo químico en el transporte terrestre de sustancias peligrosas en la intercomuna Concepción, Talcahuano, Hualpén.

Habilitación para optar al título de
Ingeniero Ambiental

Andrés Ignacio Montecinos Molina

Profesor guía: Dra. Ana Carolina Baeza.
Profesor Coguía: Dr. Octavio Rojas.

CONCEPCIÓN, 2022.



“ANÁLISIS DE RIESGO QUÍMICO EN EL TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN LA INTERCOMUNA CONCEPCIÓN, TALCAHUANO, HUALPÉN”

Profesor Guía: Dr. Carolina Baeza Freer

Profesor Co-Guía: Dr. Octavio Rojas Vilches

Profesor Comisión: Dr. Roberto Urrutia Pérez

CO CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

Aprobado por Unanimidad :	(En Escala de 4,0 a 4,9)
Aprobado con Distinción	(En Escala de 5,0 a 5,6)
Aprobado con Distinción Máxima	(En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, noviembre 2022



Índice	Página
Agradecimientos	2
Índice de Figuras	3
Resumen	6
1. Marco Conceptual	8
1.1. Riesgo Químico.....	8
1.1.1. Peligro.....	8
1.1.1.1. Accidentes Graves.....	9
1.1.1.1.1. Fenómenos Térmicos.....	11
1.1.1.1.2. Fenómenos Mecánicos.....	12
1.1.1.1.3. Fenómenos Químicos.....	13
1.1.1.2. Modelación física.....	14
1.1.2. Exposición.....	16
1.1.3. El Sistema Territorial.....	18
1.2. Regulación de Sustancias Peligrosas en Chile.....	19
1.2.1. Sector productivo químico.....	20
1.2.2. Seguridad y transporte.....	21
1.2.3. Legislación territorial.....	23
1.3. Área de Estudio.....	25
2. Objetivos	29
2.1. General.....	29
2.2. Específicos.....	29
3. Metodología	30
3.1. Establecimiento de zonas de alta accidentabilidad dentro del área de estudio.....	30
3.1.1. Identificación de vialidad estructurante.....	31
3.1.2. Obtención de accidentes en ruta.....	31
3.1.3. Determinación de función de densidad de probabilidad.....	31
3.2. Determinación de peligro asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas.....	33



3.2.1. Identificación y priorización de sustancias peligrosas presentes en vialidad estructurante.....	34
3.2.2. Establecimiento de condiciones meteorológicas y de transporte.....	35
3.2.3. Obtención de modelos de dispersión y selección de escenarios.....	36
3.3. Análisis de exposición de la población e infraestructura crítica asociado al accidente en el transporte de sustancias peligrosas.....	37
3.4. Evaluación de riesgo químico asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas en la intercomuna.....	40
4. Resultados y discusión.....	41
4.1. Establecimiento de zonas de alta accidentabilidad dentro del área de estudio.....	41
4.1.1. Identificación de vialidad estructurante.....	41
4.1.2. Obtención de accidentes en ruta.....	46
4.1.3. Determinación de función de densidad de probabilidad.....	47
4.2. Determinación de peligro asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas.....	49
4.2.1. Identificación y priorización de sustancias peligrosas presentes en vialidad estructurante.....	49
4.2.2. Establecimiento de condiciones meteorológicas y de transporte.....	50
4.2.3. Análisis de modelos de dispersión y selección de escenarios.....	50
4.3. Análisis de exposición de la población e infraestructura crítica asociado al accidente en el transporte de sustancias peligrosas.....	77
4.4. Evaluación de riesgo químico asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas en la intercomuna.....	87
5. Conclusiones.....	99
6. Bibliografía.....	102
7. Anexos.....	106



Agradecimientos

Al apoyo irrestricto de mi familia, en especial a mis padres Luis y Sara.



Índice de Figuras

Figuras Capitulo 1.

- 1.1. Diagrama sobre caracterización de accidentes.
- 1.2. Llamada (flash fire).
- 1.3. Incendio tipo charco (Pool fire).
- 1.4. Dardo de fuego (Jet fire)
- 1.5. Bola de fuego (Fireball) a partir de propano.
- 1.6. Factores de exposición ante un accidente grave.
- 1.7. Sistema territorial y subsistemas que lo constituyen.
- 1.8. Intercomuna Concepción, Talcahuano, Hualpén.

Figuras Capitulo 3.

- 3.1. Diagrama de flujo para la designación de zonas de alta accidentabilidad.
- 3.2. Modelo utilizado para determinar zonas de alta accidentabilidad.
- 3.3. Diagrama de flujo para obtención de escenarios a modelar.
- 3.4. Algoritmo de selección de escenarios basado en peligro.

Figuras Capitulo 4.

- 4.1. Fotografía en terreno, 15 septiembre 2019; Camión cisterna en Av. Jorge Alessandri.
- 4.2. Fotografía en terreno, 9 septiembre 2019; Camión cisterna transportando combustible presente en autopista 158.
- 4.3. Fotografía en terreno, 9 septiembre 2019; Camión cisterna para distribución de combustible presente en autopista Costanera.
- 4.4. Fotografía en terreno, 15 septiembre 2019; Camión cisterna en autopista General Bonilla.
- 4.5. Vialidad Estructurante presente en el Área de Estudio.
- 4.6. Registro de accidentes de tránsito presentes en la Vialidad Estructurante.
- 4.7. Distribución de accidentes de tránsito dentro de la intercomuna.
- 4.8. Función Densidad de Probabilidad y puntos críticos asociados a valores Kernel altos.
- 4.9. Zona de amenaza para un VCE propano. Condición verano.
- 4.10. Tasa de liberación de escenario VCE propano. Condición verano.
- 4.11. Zona de amenaza para escenario BLEVE propano.
- 4.12. Mapa de peligro para escenario BLEVE de propano en condiciones biestacionales.
- 4.13. Zona de amenaza tóxica para escenario de vertido de peróxido de hidrógeno. Condición invierno.



- 4.14. Tasa de evaporación de vertido de peróxido de hidrógeno. Condición invierno.
- 4.15. Mapa de peligro para escenario de derrame de peróxido de hidrógeno. Condición invierno.
- 4.16. Zona de amenaza tóxica para peróxido de hidrógeno. Condición verano.
- 4.17. Tasa de evaporación de vertido de peróxido de hidrógeno. Condición verano.
- 4.18. Mapa de peligro para escenario de derrame de peróxido de hidrógeno. Condición verano.
- 4.19. Zona de amenaza tóxica para ácido clorhídrico 32%. Condición verano.
- 4.20. Tasa de evaporación para charco de ácido clorhídrico 32%. Condición verano.
- 4.21. Mapa de peligro para escenario de derrame de ácido clorhídrico 32%. Condición verano.
- 4.22. Zona de amenaza tóxica para ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.
- 4.23. Tasa de evaporación para charco de ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.
- 4.24. Mapa de peligro para escenario de derrame de ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.
- 4.25. Configuración software ALOHA para escenarios de metanol. Condiciones biestacionales.
- 4.26. Zona de amenaza tóxica para escenario de evaporación de charco para metanol. Condiciones biestacionales.
- 4.27. Zona de amenaza tóxica para gas cloro. Condición verano.
- 4.28. Tasa de liberación para escenario gas cloro. Condición verano.
- 4.29. Mapa de peligro para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición verano.
- 4.30. Zonas de amenaza tóxica para gas cloro. Condición invierno.
- 4.31. Tasa de liberación para escenario gas cloro. Condición invierno.
- 4.32. Mapa de peligro para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición invierno.
- 4.33. Mapas de exposición por unidad urbana; (a) intervalos población 0-5 años; (b) intervalos población 6-14 años; (c) intervalos población 15-64 años; (d) intervalos población 65-+ años.
- 4.34. Mapas de exposición por unidad urbana: (a) intervalos por N° de viviendas; (b) presencia de infraestructura crítica.
- 4.35. Mapa de exposición acumulada dentro del área de estudio.
- 4.36. Variación de distribución de datos de exposición acumulada dentro de la intercomuna en contraste con una zona de influencia de 5 cuadras.
- 4.37. Mapa de riesgo químico para escenario BLEVE propano.
- 4.38. Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de peróxido de hidrógeno. Condición invierno.
- 4.39. Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de peróxido de hidrógeno. Condición verano.



- 4.40. Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.
- 4.41. Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico 32%. Condición verano.
- 4.42. Mapa de riesgo químico para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición invierno.
- 4.43. Mapa de riesgo químico para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición verano.

Tablas Capitulo 1.

- 1.1. Transporte multimodal presente en el Gran Concepción.
- 1.2. Caracterización de cargas rodovitarias.

Tablas Capitulo 3.

- 3.1. Matriz de selección a partir de partición de peligrosidad de la sustancia.
- 3.2. Especificaciones estación Carriel Sur.
- 3.3. Matriz de modelos de dispersión.
- 3.4. Capas temáticas poblacionales.
- 3.5. Infraestructura crítica asociadas al factor exposición.
- 3.6. Matriz cualitativa de riesgo.

Tablas Capitulo 4.

- 4.1. Registro de vías con presencia de camiones con carga peligrosa.
- 4.2. Distribución vial por comuna.
- 4.3. Puntos críticos presentes en la vialidad estructurante.
- 4.4. Catastro, priorización y ubicación de sustancias peligrosas presentes en vialidad estructurante.
- 4.5. Parámetros meteorológicos.
- 4.6. Resumen de escenarios para peróxido de hidrogeno. Condiciones invierno y verano.
- 4.7. Resumen de escenarios para ácido clorhídrico 32%. Condiciones invierno y verano.
- 4.8. Resumen escenarios para gas pesado cloro. Condiciones invierno y verano.
- 4.9. Resumen de escenarios seleccionados siguiendo el algoritmo *Hazard Based* y base de datos ALOHA.
- 4.10. Distribución territorial de infraestructura crítica dentro de la intercomuna.
- 4.11. Distribución de factores de exposición por unidad urbana dentro de la intercomuna Concepción, Talcahuano, Hualpén.
- 4.12. Resumen de distribución de datos de exposición dentro de la intercomuna



Resumen

Toda actividad industrial representa un riesgo para la salud de las personas, en donde la posibilidad ante accidentes nunca será nula. De estos accidentes, se debe considerar el peor de los casos, aquellos que representen un daño grave tanto para las personas, el medio ambiente, los bienes materiales e infraestructura relevantes para el funcionamiento de un sistema u orden social. Aquellos accidentes pueden ser de índole térmica, química o mecánica, a los que se les denomina accidentes graves, todo esto dentro del marco del transporte de sustancias peligrosas. En una zona industrial relevante como la intercomuna Concepción, Talcahuano y Hualpén es necesario considerar estos factores de peligro, exposición y riesgo ante la falla de contención en el transporte de sustancias peligrosas. El presente estudio considera la legislación e institucionalidad chilena asociadas al ordenamiento territorial dentro del área de estudio. En este ámbito, el presente estudio evalúa el riesgo químico asociado a un accidente de transporte de sustancias peligrosas en la intercomuna Concepción, Talcahuano y Hualpén. Para ello se propone establecer las zonas de alta accidentabilidad, determinar escenarios de peligro asociado a accidentes graves y analizar la exposición de la población e infraestructura crítica asociado al accidente.

La metodología consiste en primera instancia en hacer un levantamiento de información a partir de los planes reguladores asociados al área de estudio. Se localizan las vías exclusivas de transporte de carga peligrosa, denominado vialidad estructurante. A esto, se realiza un levantamiento de los accidentes viales históricos localizados en la vialidad estructurante. Se determinaron puntos críticos de alta accidentabilidad mediante el método de densidad de kernel. Se realizó un catastro de sustancias peligrosas dentro de la vialidad estructurante a través de portales públicos de evaluación ambiental, posteriormente fueron priorizadas con el método de partición de componentes. A través de un algoritmo de riesgo basado en peligro (*Hazard Based*) y el software ALOHA se realizó un análisis de peligro que seleccionó y modeló escenarios de sustancias para cuantificar el peligro asociado. Se realizaron dos análisis de exposición acumulada, uno considerando la totalidad del área de estudio y otro con una zona de influencia acotada a cinco cuadras, para lo cual se consideraron factores poblacionales, vivienda e infraestructura crítica presente en unidades urbanas dentro del área de estudio. La información obtenida tanto del análisis de peligro como de exposición fueron desplegadas a través de sistemas informáticos geográficos, particularmente ArcGIS. Finalmente, el cálculo del riesgo por unidad urbana se realizó a través de una matriz de banda cualitativa que contrasta los niveles de preocupación de peligro de cada uno de los escenarios seleccionados con los valores de exposición acumulada dentro del área de estudio.



De los resultados obtenidos, la vialidad estructurante está conformada por 267 km de vías, el 43% predominando dentro de la comuna de Concepción, un 38% en Talcahuano y 19% en Hualpén. Se registraron 2.841 accidentes de tránsito, el 99% dentro de la zona urbana del área de estudio, distribuyéndose en Concepción, Talcahuano y Hualpén en un 52%, 29% y 19% respectivamente. El análisis de densidad de kernel arrojó cinco puntos críticos dentro del área de estudio, dos en Concepción, uno en Talcahuano y dos en los límites intercomunales Concepción-Hualpén y Concepción-Talcahuano. Del catastro de sustancias peligrosas en conjunto con la base de datos de ALOHA se seleccionaron, gas licuado de petróleo (100% propano), peróxido de hidrógeno, ácido clorhídrico, metanol y gas cloro. El respectivo análisis de peligro arrojó 7 escenarios de accidentes graves en condiciones biestacionales. Respecto al análisis de exposición acumulada, el primer análisis arrojó un total de 4.370 manzanas, de las cuales un 65,7% considerado con valor bajo, 21,6% medio, 3,2% alto y 9,5% muy alta. El segundo análisis acotado a cinco cuadras a lo largo de la vialidad estructurante obtuvo los valores de exposición acumulada de 3.607 manzanas, de las cuales un 40,2% considerado con valor bajo, 28,0% medio, 6,3% alto y 25,6% muy alto. Respecto al análisis de riesgo, el escenario BLEVE de propano abarca 420 manzanas en condiciones biestacionales, de las cuales son respectivamente un 56,1% valor bajo, 27,1% valor medio y 16,7% valor alto. El escenario de derrame de peróxido en condiciones de invierno abarca 1 manzana, con un valor de riesgo bajo, mientras en condiciones de verano afectaría 2 manzanas, con valores 50% bajo y 50% medio. El escenario de derrame de ácido clorhídrico en condiciones de invierno abarca 25 manzanas, de las cuales tienen valores de riesgo, 68% bajo, 20% medio y 12% alto, en condiciones de verano este número asciende a 32 manzanas, con un 78,1% bajo, 15,6% medio y 6,3% alto respectivamente. El escenario de gas pesado cloro en condiciones de invierno abarca 1.460 manzanas, con valores bajo, medio y alto del 84,8%, 10,5% y 4,5% respectivamente, en condiciones de verano abarca 352 manzanas, 24,4% bajo, 28,1% medio y 47,5% alto.

Se concluye que las comunas con mayor incidencia de accidentes son respectivamente; Concepción, Talcahuano y Hualpén. El análisis de peligro concluye que el software ALOHA está limitado por la base de datos, factores geográficos y el estado físico de ciertas sustancias para los respectivos escenarios, reduciendo la confiabilidad de los modelos. Los escenarios de metanol modelados no arrojaron resultados representativos, por lo que se descartaron del análisis de riesgo. La variabilidad biestacional afecta sustancialmente a escenarios de dispersión gaussiana y gases pesados, en especial al gas cloro y ácido clorhídrico. Respecto al análisis de exposición acumulada, se concluye que las comunas más expuestas en términos demográficos e infraestructura son Concepción, Hualpén y Talcahuano respectivamente. Los escenarios más riesgosos corresponderían a un BLEVE de GLP (propano) y una dispersión de gas pesado cloro en condiciones de verano.



Marco Conceptual

1.1. Riesgo Químico

El presente estudio considera el riesgo químico como una variable dependiente de dos factores; peligro y exposición, asociados al transporte terrestre de sustancias químicas. Sin embargo, existen varias definiciones de riesgo, dejando una noción intuitiva de él. Por un lado, la Real Academia Española (RAE) define riesgo como “*Contingencia o proximidad de daño*”. Mientras que la Comisión Europea define riesgo como “*la probabilidad de que se produzca un efecto específico en un período de tiempo determinado o en circunstancias determinadas*”. Ambas definiciones hacen alusión directa entre la posibilidad de ocurrencia de un accidente y sus consecuencias asociadas. Siendo la segunda definición la más adecuada para el presente trabajo, es decir, el riesgo químico se advierte en relación a factores como peligro y exposición en el contexto de la seguridad de procesos químicos, entre ellos el transporte industrial. (American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008); (Pinyol & Samani, 2010) (Comisión Europea, 2012).

Por otro lado, el transporte de carga industrial posee medidas de seguridad (DTO N°298/95, Ministerio de Transporte) que buscan mitigar el riesgo durante su ejecución. Sin embargo, la posibilidad de accidentes nunca será nula, pudiendo generar distintos escenarios que afecten las personas, el medioambiente e infraestructura asociada, en especial si se tratan de sustancias peligrosas. Debido a esto, es necesario determinar el potencial impacto generado por un accidente ligado al transporte de carga, específicamente al peligro asociado por fugas de sustancias peligrosas.

1.1.1. Peligro

El peligro se define como la o las condiciones exclusivas a la naturaleza de la sustancia expuesta y tiene la capacidad de generar daño a las personas y/o al medio ambiente dependiendo de sus propiedades físico-químicas como inflamabilidad, explosividad y/o toxicidad [Casal & Vilchez, 2010; Peter Fisk Associates Ltd, 2014]. A diferencia del peligro, el riesgo es intrínseco a las actividades tanto antrópicas como naturales. Para que una sustancia peligrosa pueda generar daños a las personas y/o al medio colindante necesariamente debe existir una fuga asociada a un accidente grave.



1.1.1.1. Accidentes químicos graves

Un accidente químico grave es definido como un evento de fuga de un líquido, gas, vapor o mezcla de líquido y vapor (bifásico), que potencialmente genere contaminación, un incendio o una explosión, y que sea resultante de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento, implicando una o más sustancias peligrosas, cuyas consecuencias representan un peligro para las personas, el medio ambiente o los bienes (Villafañe, 2013). De acuerdo a (Casal & Vilchez, 2010) los accidentes graves pueden ser clasificados en tres categorías:

- **Categoría 1:** Aquellos que presentan como única consecuencia daños materiales locales en la zona accidentada y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior del mismo.
- **Categoría 2:** Aquellos en los que se prevea como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en la zona accidentada. A su vez, las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas delimitadas.
- **Categoría 3:** Aquellos para los que se prevea como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves en el medio ambiente en zonas extensas y en el exterior de la zona accidentada.

Estos accidentes también presentan distintas características de peligrosidad dependiendo del contexto del accidente y dependen de la secuencia de eventos durante la falla de contención (Fig. 1.1) estos pueden ser:

- **Del tipo térmico:** Asociados a la generación de radiación térmica.
- **Del tipo mecánico:** Asociados a la generación de ondas de presión y proyección de fragmentos.
- **Del tipo químico:** Asociados a la emisión atmosférica o vertidos de sustancias líquidas.

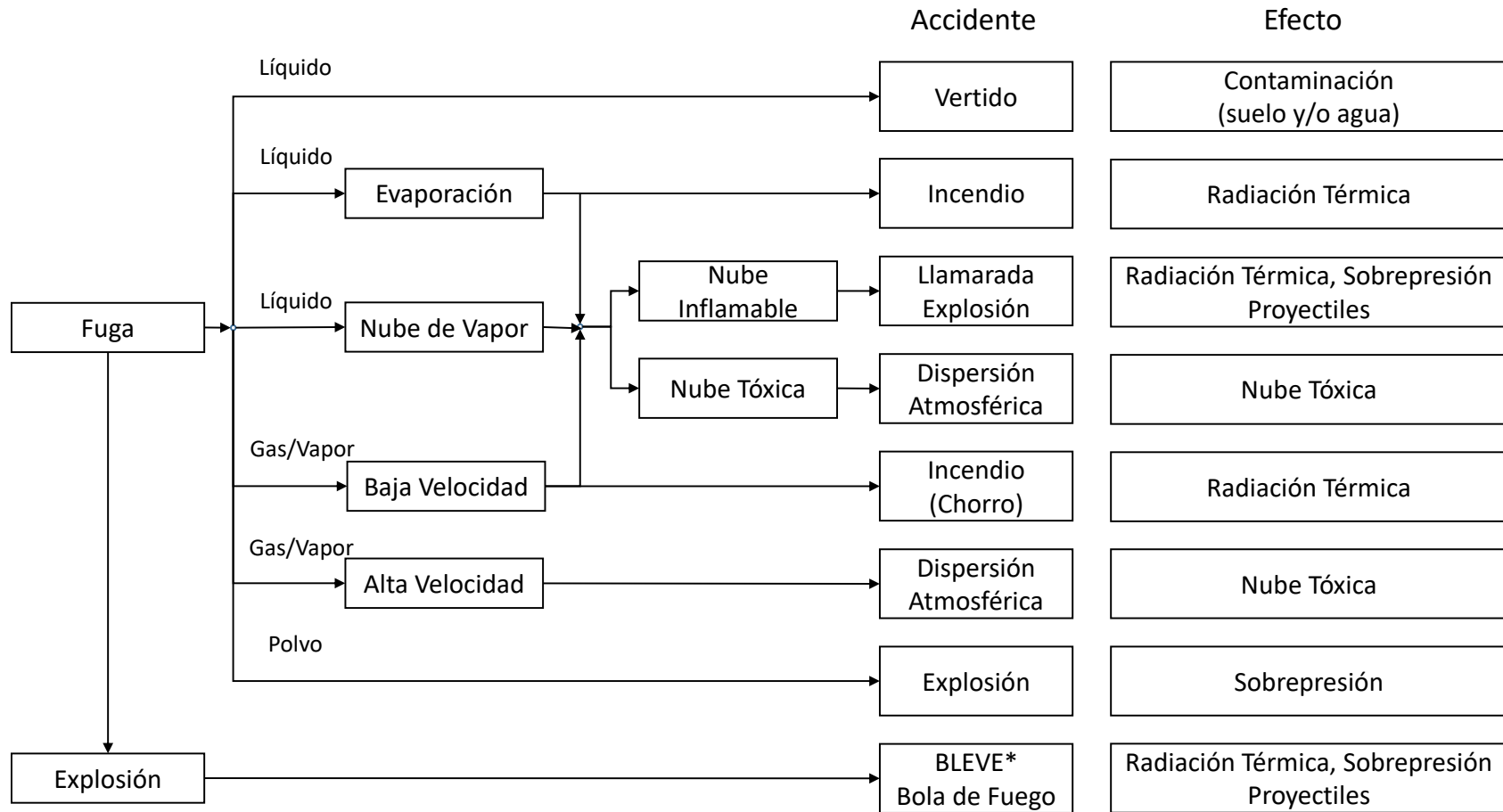


Fig. 1.1 Diagrama sobre caracterización de accidentes, adaptado de [(Casal & Vilchez, 2010); (Villafañe, 2013)]
 *: *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*, explosión de vapor expansivo por ebullición de líquido por sus siglas en inglés.

1.1.1.1.1. Fenómenos térmicos

Corresponden a cualquier evento donde se ve involucrado un material inflamable en contacto con el aire, en donde se sobrepase los límites de inflamabilidad generando así ignición y posterior combustión de dicho material. Cabe destacar que la ignición no ocurre inmediatamente desde el inicio de la fuga por lo que da la posibilidad de acumulación del material (Villafañe, 2013). Estos fenómenos pueden ser del tipo:

- Llamarada: Consiste en la acumulación de vapor en forma de nube, con un volumen considerable y punto de ignición retardado distante de la fuga, cuya combustión genera una llamarada (*flash fire*) (Fig. 1.2) y eventualmente una explosión mecánica (sobrepresión) (Blackmore et al., 1982).
- Incendio de Charco: También llamado incendio tipo balsa (*pool fire*) (Fig. 1.3) y corresponde a la ignición y posterior combustión de un líquido inflamable vertido en una superficie horizontal. Su combustión es de carácter turbulenta ya que se vaporiza debido al aporte calorífico del propio incendio. (Gómez, 2009).

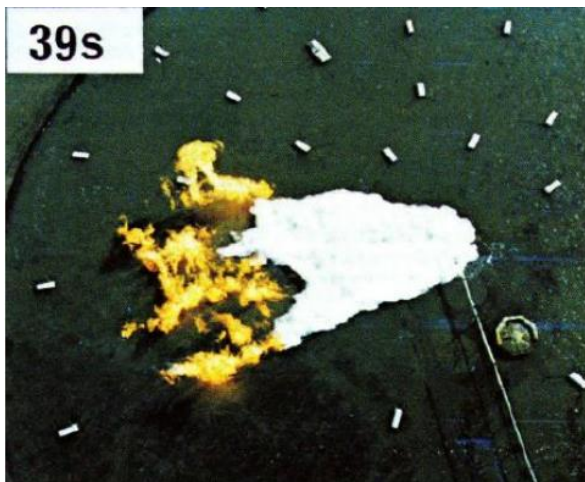


Fig. 1.2 Llamarada (*Flash fire*) de GNL
(Villafañe, 2013)



Fig. 1.3 Incendio tipo charco (*Pool fire*)
(Gómez, 2009)

- Dardo de fuego/Incendio a chorro: Se caracterizan por tener una llama de difusión, generada por la ignición de un combustible a altas velocidades debido a pequeños orificios de salida generando una liberación continua y en una dirección específica (*Jet fire*) (Fig. 1.4) (Gómez, 2009) .

Este tipo de llama suele usarse de forma controlada en instalaciones industriales para controlar presiones y flujos de combustibles. Si bien tienen un área de efecto más reducida que otros incendios, suelen presentar una mayor intensidad térmica pudiendo tener graves consecuencias, desencadenando otros eventos, en especial bolas de fuego (*Fireball*) (Fig. 1.5), explosiones o los denominados BLEVE.



Fig. 1.4 Dardo de fuego (Jet fire) (Villafañe, 2013)



Fig. 1.5 Bola de fuego (Fireball) a partir de propano (Villafañe, 2013)

- Bola de Fuego: Corresponde a una nube bifásica (vapor y líquido inflamable) que entra en ignición y denota una forma aproximadamente esférica liberando grandes cantidades de energía en forma de radiación (Villafañe, 2013). Estos fenómenos suelen ocurrir en paralelo con explosiones y proyección de fragmentos.

1.1.1.1.2. Fenómenos mecánicos

Corresponden a toda explosión y sus consecuentes fragmentos proyectados a causa de discontinuidades de presión u ondas de choque por la expansión rápida de gases (American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008). Estas expansiones pueden o no ser a causa de sustancias inflamables, sin embargo, en el presente estudio no se considerarán fallas de contención de gases no inflamables.

Villafañe (2013) cataloga las explosiones en subdivisiones según su contexto de confinamiento y estado del combustible.



- UVCE: por sus siglas en inglés (*Unconfined Vapor Cloud Explosion*) es una explosión de una nube no confinada que se genera a partir de una liberación masiva de gases licuados refrigerados en donde su tasa de acumulación sea mayor a la de disipación en el aire.
- CVE (*Confined Vapor Explosion*) o explosión confinada de vapor, hace referencia al confinamiento del combustible en edificios u estanques.
- BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) corresponden a estallidos súbitos de combustibles licuados confinados en estanques que hayan sido precalentados por incendios, generalmente dardos de fuego, aumentando así la presión de gases volátiles y por consecuencia su estallido representa un mayor peligro (Villafañe, 2013).

1.1.1.1.3. Fenómenos químicos

Toda fuga de sustancias peligrosas puede tener algún grado de toxicidad hacia la población y el medio ambiente si se expone en cantidades importantes, para lo cual están estandarizadas bases de datos toxicológicas tanto para potenciales efectos en las personas (toxicología) como el medio ambiente (ecotoxicología) (Peter Fisk Associates Ltd, 2014).

La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (EPA) en colaboración activa con la institucionalidad pública Estadounidense como AIHA (*American Industrial Hygiene Association Emergency Response Planning Committee*), US DOT (*U.S Department of Transportation*), US DOE (*U.S Department of Energy*) entre otros, fomentaron el desarrollo de las bases de datos toxicológicas a partir de la Guía de Respuesta en Caso de Emergencias y los Criterios de Acción Protectora para Productos Químicos (PACs), los cuales designan los Lineamientos de Niveles de Exposición Aguda (AEGLs), los Lineamientos para la Planeación de la Respuesta a Emergencia (ERPGs) y los Límites Temporales de Exposición de Emergencia (TEELs) para un gran número de sustancias peligrosas (EPA, 2017).

- AEGL: Corresponde a los Lineamientos de Niveles de Exposición Aguda (En inglés: *Acute Exposure Guideline Levels*). Los AEGLs representan los límites de exposición para el público en general después de una única y rara exposición en la vida, y son aplicables a los períodos de exposición de emergencia que van desde 10 minutos a 8 horas. Los valores AEGLs están definidos para tres niveles de daño (AEGL-1, AEGL-2 y AEGL-3) cada nivel cuenta con cinco períodos de tiempo (10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 4 horas y 8 horas). Estos niveles se caracterizan por distintos grados de toxicidad. (U.S Department of Transportation, 2020).



- AEGL-1: Es la concentración de una sustancia química en el aire (expresada en ppm o $\frac{mg}{m^3}$) por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos asintomáticos. Estos efectos son transitorios, no incapacitantes y reversibles una vez que cesa el periodo de exposición.
- AEGL-2: Es la concentración de una sustancia química en el aire (expresada en ppm o $\frac{mg}{m^3}$) por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar efectos duraderos serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar.
- AEGL-3: Es la concentración de una sustancia química en el aire (expresada en ppm o $\frac{mg}{m^3}$) por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar efectos amenazantes para la vida o incluso provocar la muerte.
- ERPG: Corresponden a los Lineamientos para la Planeación de la Respuesta a Emergencia (En inglés: *Emergency Response Planning Guidelines*). Valores destinados a proveer los rangos de concentración estimada por encima de la cual se puede anticipar la observación de efectos adversos a la salud; ver ERPG-1, ERPG-2 y ERPG-3. (U.S Department of Transportation, 2020)
 - ERPG-1: Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta 1 hora experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.
 - ERPG-2: Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta 1 hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.
 - ERPG-3: Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta 1 hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida



- TEEL: Son los valores Límite de Exposición de Emergencia Temporal (En inglés: *Temporary Emergency Exposure Limit*) Los valores TEEL estiman las concentraciones en las que la mayoría de las personas comienzan a experimentar efectos en la salud si se exponen a una sustancia química peligrosa en el aire durante un período determinado. Los valores TEEL se utilizan en situaciones similares a los AEGL y ERPG generalmente definiendo un rango de tiempo de 60 minutos o más. Se caracterizan por estimar valores para sustancias químicas que no poseen valores AEGL o ERPG. (U.S Department of Energy, 2022)
 - TEEL-1: Es la concentración en el aire (expresada como ppm o $\frac{mg}{m^3}$) de una sustancia por encima de la cual se prevé que la población general, incluidas las personas susceptibles, cuando se exponen durante más de una hora, podrían experimentar malestar notable, irritación o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos. Sin embargo, estos efectos no son incapacitantes sino transitorios y reversibles al cesar la exposición.
 - TEEL-2: Es la concentración en el aire (expresada como ppm o $\frac{mg}{m^3}$) de una sustancia por encima de la cual se prevé que la población en general, incluidas las personas susceptibles, cuando se exponen durante más de una hora, podrían experimentar efectos adversos irreversibles u otros efectos adversos graves y duraderos. efectos sobre la salud o una capacidad disminuida para escapar.
 - TEEL-3: Es la concentración en el aire (expresada como ppm o $\frac{mg}{m^3}$) de una sustancia por encima de la cual se prevé que la población general, incluidas las personas susceptibles, cuando se exponen durante más de una hora, podrían experimentar efectos adversos para la salud que amenazan la vida o la muerte.

1.1.1.2. Modelación física

Para entender cómo se comporta una fuga de una sustancia peligrosa, este requiere ser modelado matemáticamente de tal forma que proporcione información cuantitativa sobre el área física de impacto que podría ocasionar un accidente grave. Para ello el *American Institute of Chemical Engineers* (2008) indica que es requerida la siguiente información:

- Peligrosidad y propiedades físico-químicas de la sustancia liberada.
- Volumen total de la sustancia transportada en el contenedor.



- Condiciones de transporte (presión y temperatura).
- Diseño y características del contenedor.
- Condiciones atmosféricas (ej.: temperatura del ambiente, humedad, velocidad y dirección del viento).

Esta información puede ser ingresada en *softwares* con la capacidad de procesar los modelos físicos requeridos. De esta forma, conociendo las tasas de liberación de la sustancia y las condiciones preestablecidas se puede estimar el impacto o daño probable, posibles afectados y consecuencias asociadas a un accidente grave. Por último, las estimaciones de la sobrepresión de las explosiones y la concentración de nubes de vapor en dispersión, deben ser concordantes con la realidad (American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008); (Casal & Vilchez, 2010).

1.1.2. Exposición

Es el factor correspondiente a todos los receptores sensibles (Fig.1.6) (ej.: personas, ecosistemas, propiedad) que sean expuestos en función de la categoría del accidente grave, las características de peligrosidad de la falla de contención y el área física de impacto que se haya representado a través de la modelación. (American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008).

Los receptores sensibles, como se puede apreciar en la Figura 1.6, tienen tres ejes; poblacional, infraestructura y ambiental. Identificando las posibles consecuencias asociadas a la exposición, se puede determinar los criterios necesarios para designar el nivel de riesgo químico al que se está expuesto.

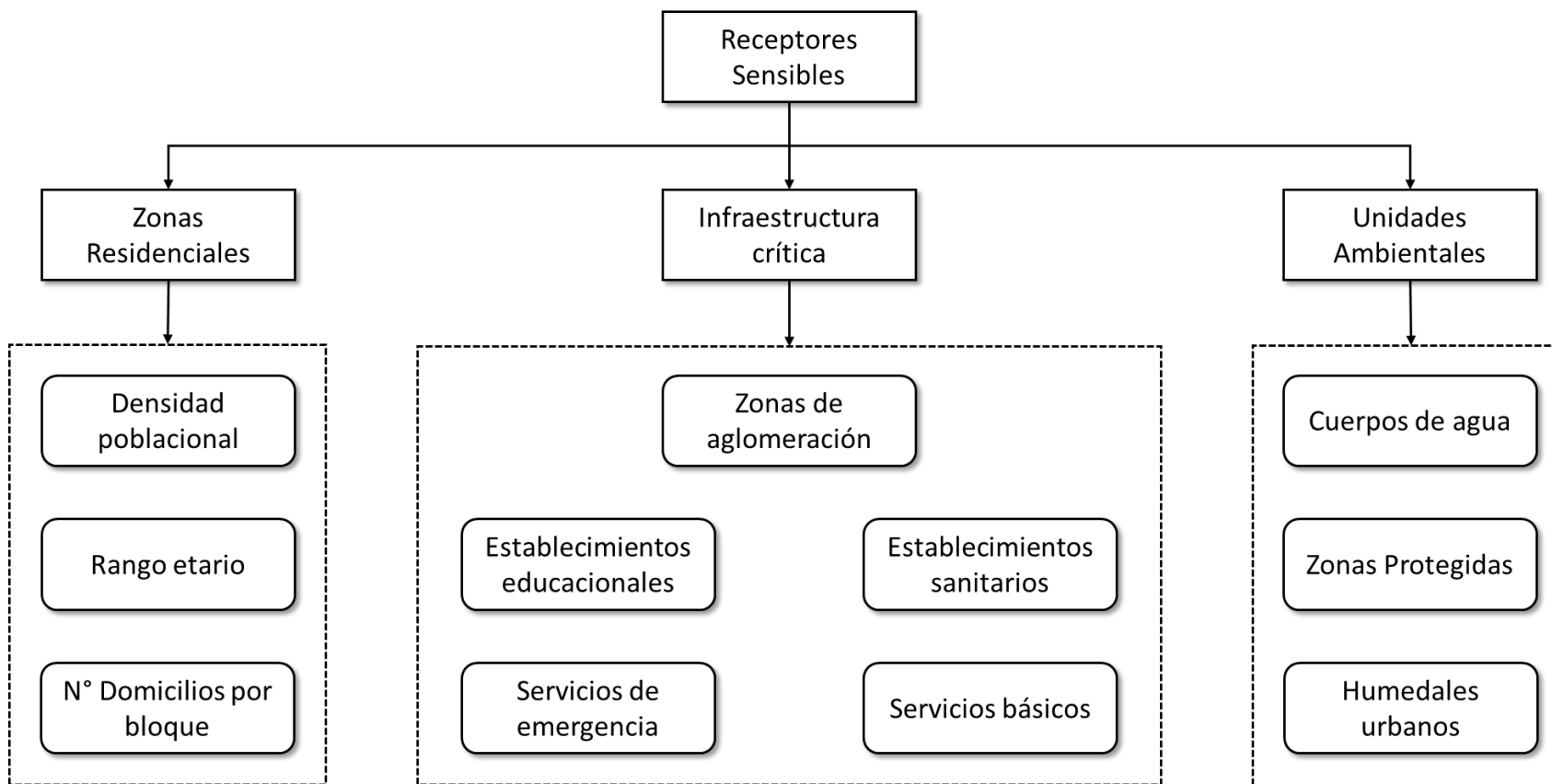


Fig. 1.6 Factores de exposición ante un accidente grave, adaptado de [(American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008); (Pinyol & Samani, 2010)]

1.1.3. Sistema Territorial

El riesgo químico debe analizarse desde una perspectiva territorial, a través de modelos que correlacionen el riesgo químico, territorio y transporte. De acuerdo con Gomez (1993), define el territorio como una proyección de los sistemas sociales, económicos, políticos y ecológicos que estén presentes dentro de un área de interés y denotan gran complejidad debido a las interacciones entre ellos, estas interacciones determinan el contexto del sistema territorial, para lo cual define cuatro subsistemas que lo conforman (Fig. 1.7):

- El medio físico asociado a las características geográficas, ecológicas y los recursos naturales presentes en el territorio.
- La población y sus respectivas actividades de producción, consumo y relación social.
- El poblamiento o configuración espacial de los asentamientos y las infraestructuras relacionadas.
- El marco legal e institucional que administra el funcionamiento.

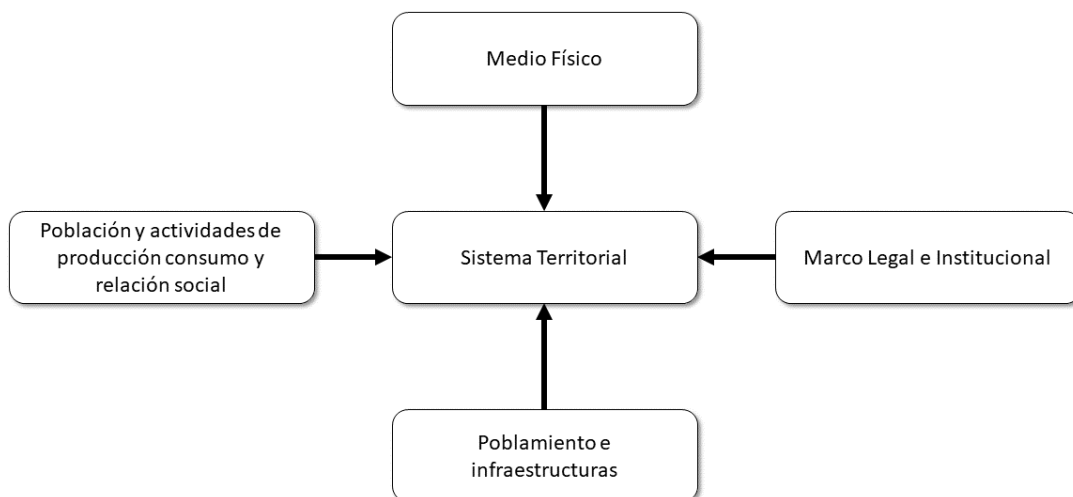


Fig. 1.7 Sistema territorial y subsistemas que lo constituyen (Gomez, 1993).

Este esquema puede alterarse, generando un desequilibrio del sistema territorial, ocasionando problemas dentro de los distintos ejes; social, económico, político y/o ecológico. Una de las principales causas es el menosprecio u omisión de uno o más ejes a la hora de implementar políticas regulatorias, el cual es tema de debate (Gomez, 1993) (Casal & Vilchez, 2010) (Pinyol & Samani, 2010).



Detractores del ordenamiento territorial abogan que se debe desregularizar territorialmente, calificándolo de ineficiente y coercitivo, proponiendo dejar esa tarea a los mecanismos del mercado u otros mecanismos regulatorios como impuestos específico (Friedman, 1980; Lamey, 2015).

Sin embargo Friedman (1980), si bien especifican que los mecanismos del mercado de por sí son eficientes a la hora de tratar temáticas ambientales como uso de suelo y uso de recursos naturales. También reconocen la existencia de los denominados “fallos del mercado” causados por la incapacidad parcial o total de identificar los costos y beneficios en actividades económicas que afecten a las personas, generando el denominado “efecto vecindario” y que este presenta un desafío para el mercado.

Es precisamente en este ámbito que factores ambientales difíciles de cuantificar e identificar (ej.: contaminación, fugas, etc.) tienen el potencial de afectar a terceros. Por lo que se debe recurrir a la gobernanza como sustituto a los mecanismos del mercado (Friedman, 1980). Por otro lado, Gómez (1993), justifica el ordenamiento territorial al mencionar que los mecanismos del mercado resultan ser insuficientes y tienden al desorden territorial. Mientras que Pinyol (2010), critica que los intereses económicos locales superan los intentos de entidades estatales de condicionar los usos del territorio para lograr sus objetivos.

De esta forma, el ordenamiento territorial busca implementar políticas con el fin de gestionar de forma óptima y prevenir el desequilibrio del sistema, definiendo así un modelo de desarrollo que refleje los valores sociales (Gomez, 1993).

Es por ello que las estrategias aplicadas en el ordenamiento territorial adquieren relevancia en el uso del territorio. Ejemplos relevantes para este estudio son la delimitación de zonas urbanas, la ubicación de infraestructura crítica, zonas residenciales, regulaciones para sustancias peligrosas, rutas de transporte de carga, y otras normativas municipales para el ordenamiento del territorio.

1.2. Regulación de sustancias peligrosas

Dentro de la legislación chilena, el Instituto Nacional de Normalización (INN) es el responsable de determinar las normas técnicas nacionales para la regulación de las sustancias peligrosas en Chile.



A continuación, se mencionan las generalidades legislativas del sector productivo químico, seguridad y transporte, y regulación territorial.

1.2.1. Sector productivo químico

Dentro del sector productivo químico, se define **sustancia peligrosa** de acuerdo a lo dispuesto por la norma chilena N°382 como *“aquella que, por su naturaleza, produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal, a los bienes y/o al medio ambiente”*. Esta definición es considerada correcta también para **materiales peligrosos, mercancías peligrosas o cargas peligrosas**.

En cuanto a su clasificación, la normativa chilena sigue los alineamientos de numeración de Naciones Unidas, el cual cataloga las sustancias peligrosas en nueve clases según su riesgo químico inherente o los riesgos más significativos que representen (INN, 2004):

- Clase 1: Sustancias explosivas.
 - 1.1: Sustancias y objetos que presenten un riesgo de explosión de toda la masa.
 - 1.2: Sustancias y objetos que tienen un riesgo de proyección, pero no un riesgo de explosión en masa.
 - 1.3: Sustancias y objetos que presentan un riesgo de incendio y un riesgo de que se produzcan pequeños efectos de onda de choque o proyección o ambos efectos, pero no un riesgo de explosión de toda la masa.
 - 1.4: Sustancias y objetos que no presentan un riesgo apreciable.
 - 1.5: Sustancias muy insensibles que no tienen un riesgo de explosión de toda la masa.
 - 1.6: Objetos sumamente insensibles que no tienen un riesgo de explosión de toda la masa.
- Clase 2: Gases.
 - 2.1: Gases inflamables.
 - 2.2: Gases no inflamables, no tóxicos.
 - 2.3: Gases tóxicos.
- Clase 3: Líquidos inflamables.
- Clase 4: Sólidos inflamables.



- 4.1: Sólidos inflamables, sustancias que reaccionan espontáneamente y explosivos insensibilizados.
- 4.2: Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea.
- 4.3: Sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.
- Clase 5: Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos.
 - 5.1: Sustancias comburentes.
 - 5.2: Peróxidos orgánicos.
- Clase 6: Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas.
 - 6.1: Sustancias tóxicas.
 - 6.2: Sustancias infecciosas.
- Clase 7: Sustancias radiactivas.
- Clase 8: Sustancias corrosivas.
- Clase 9: Sustancias y objetos peligrosos varios.

1.2.2. Seguridad y transporte

En materia de seguridad, son los distintos ministerios del poder ejecutivo los responsables de presentar las normativas correspondientes sobre el uso, etiquetado, manejo, almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas. Estas deben concordar con las especificaciones dentro de las normativas técnicas que el INN presenta y acredita con instituciones internacionales de estandarización y cooperación económica.

En este contexto, cabe desestimar cualquier jurisdicción extraterritorial consecuente a la importación y manejo de materiales peligrosos en establecimientos portuarios. Puesto que el presente estudio específicamente evalúa el riesgo asociado al transporte terrestre. Sin embargo, no se descarta la exposición que representa un establecimiento portuario a causa de un accidente grave en ruta. Dicho esto, las leyes relevantes dentro del territorio nacional están constituidas por la siguiente reglamentaria:



- Decreto N°298/1995 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones: Reglamento de transporte de cargas peligrosas por calles y caminos
- Decreto N°594/2000 del Ministerio de Salud: Reglamento de condiciones sanitarias y ambientales básicas en áreas de trabajo.
- Decreto 43/2016 del Ministerio de Salud: Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas.
- Resolución exenta N°408/2016 del Ministerio de Salud: Listado de sustancias peligrosas para la salud.
- Decreto N°160/2009 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción: Reglamento de seguridad para instalaciones y operaciones de producción, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos.
- Decreto N°73/1992 del Ministerio de Defensa Nacional: Reglamento especial de explosivos para faenas mineras.
- Decreto N°400/1978 del Ministerio de Defensa Nacional: Fija texto refundido sobre control de armas.

De acuerdo con la legislación chilena, se dispone las sustancias de Clase 1 dentro del marco legislativo de control de armas y es el Ministerio de Defensa quien regula su uso, etiquetado, manejo, almacenamiento y transporte para sustancias explosivas dentro del territorio nacional. Siendo la Dirección General de Movilización Nacional el intermediario entre Fuerzas Armadas y el sector productivo.

En cuanto a las sustancias de Clase 7, la legislación chilena exime de las disposiciones para uso, etiquetado, manejo, almacenamiento y transporte mediante la Ley N°18.302/1984 del Ministerio de Minería, Ley de Seguridad Nuclear y su respectivo reglamento; Decreto N°12/1985 del Ministerio de Minería.

Para la relevancia del presente estudio, se considerarán las sustancias de Clase 2, 3, 5, 6, 8 y 9 dentro del análisis. Para el caso de sustancias de Clase 1, la gestión de estas sustancias trasciende la gobernanza civil por lo que se desestimará. Las sustancias de Clase 4 y 7 no se alinean con la metodología de este estudio (Ver Capítulo 3).



1.2.3. Legislación Territorial

En materia territorial, la legislación chilena a través de los Decretos de Fuerza de Ley (DFL): DFL N°1/2005 y DFL N°1/2006 del Ministerio del interior; Subsecretaría de desarrollo regional y administrativo definen la **Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional** y la **Orgánica Constitucional de Municipalidades** respectivamente. Las cuales designan las funciones privativas en materia territorial tanto para los gobiernos regionales (GORE) y los municipios del país. otorgándoles la jurisdicción para elaborar, modificar y aprobar planes reguladores metropolitanos y comunales respectivamente, para el desarrollo y otras disposiciones acordes al sistema territorial.

Las resoluciones adoptadas por la gobernanza se designan **Ordenanzas** y tienen un carácter legal al de norma general dentro de la legislación chilena, por lo que no pueden contradecir las disposiciones de los decretos mencionados en (1.2.2).

El alcance geográfico de las ordenanzas está acotada a los límites territoriales metropolitanos y comunales según corresponda. En el caso de que existiesen áreas metropolitanas dentro del territorio comunal, concierne al GORE incurrir en dichas áreas en conjunto con las respectivas subsecretarías regionales ministeriales (SEREMI) correspondientes en las materias reguladas (Ministerio del Interior, 2006). En este ámbito la SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones Biobío tiene un rol fundamental a través del Programa de Vialidad y Transporte Urbano de la Secretaría de Transporte (SECTRA). El SECTRA es un organismo técnico especializado en la planificación del transporte y tiene por función proponer planes de desarrollo de los sistemas de transporte, como también evaluar socialmente iniciativas de inversión en infraestructura y la gestión de los sistemas de transporte (Ministerio Transporte Telecomunicaciones, 2019).

Dicho lo anterior, las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén conforman una parte del territorio metropolitano del Gran Concepción. Las cuales están reguladas territorialmente a través del Plan Regulador Metropolitano del Gran Concepción (PRMC), además de los planes reguladores comunales (PRC) de Concepción y Talcahuano (GORE Biobío, 2003). Cabe destacar que la comuna de Hualpén, hasta el año 2004 conformaba parte de la comuna de Talcahuano, por lo que sigue rigiéndose por el actual PRC de Talcahuano (Municipalidad Talcahuano, 2016); (Municipalidad Hualpen, 2018). Se ha conformado un anteproyecto de plan regulador para la comuna de Hualpén desde el 2018, no obstante, no se ha materializado como tal, de acuerdo a la información disponible. Solo existen promulgaciones de consultas públicas respecto del anteproyecto. (Municipalidad Hualpen, 2022). El PRMC fue actualizado y aprobado por el GORE durante el 2021,



sin embargo, no fue aprobado por la Contraloría General de la República, encontrándose a la fecha en proceso de subsanar observaciones.

Las disposiciones ejercidas en el PRMC y los PRC de Concepción y Talcahuano a través de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (GORE Biobío, 2003); (Municipalidad Concepción, 2015); (Municipalidad Talcahuano, 2016) jerarquizan la red de caminos mediante la denominada **vialidad estructurante**, la cual define:

- **Vía Expresa:** Corresponden a vías de conectividad urbana intercomunal a nivel regional. Su diseño de calzada permite desplazamientos de grandes distancias, a velocidades entre $80 - 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, para flujos mayores a $4.000 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$, predominantemente de automóviles, con presencia de locomoción colectiva y vehículos de carga.
- **Vía Troncal:** Corresponden a vías de conectividad urbana dentro de una intercomuna. Su diseño de calzada permite desplazamientos de grandes distancias, a velocidades entre $50 - 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, para flujos mayores a $2.000 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$, predominantemente de locomoción colectiva y automóviles.
- **Vía Colectora:** Corresponden a vías de corredor de distribución entre zonas residenciales, centros de empleo y servicios. Su diseño de calzada permite desplazamientos de distancias medias, a velocidades entre $40 - 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, para flujos mayores a $1.500 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$, predominantemente de automóviles.
- **Vía de Servicio:** Corresponden a vías centrales en centros o subcentros urbanos que permitan accesibilidad a servicios y al comercio. Su diseño de calzada permite desplazamientos de distancias medias, a velocidades entre $30 - 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, para flujos mayores a $600 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$, predominantemente de locomoción colectiva.
- **Vía local:** Corresponden a caminos que conecten entre vías troncales, colectora, de servicio y de acceso a la vivienda. Su diseño de calzada permite desplazamientos cortos de distancia, a velocidades entre $20 - 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ para flujos bajos, predominantes automóviles, tracción animal, humana y excepcionalmente locomoción colectiva.



La presencia de vehículos de carga está restringido a las vías expresas. Sin embargo, los planes reguladores también especifican que dentro de los polígonos industriales pueden asociarse actividades de carga en la vialidad estructurante siempre cuando los responsables presenten estudios de análisis de riesgo que acrediten que las actividades asociadas no son peligrosas o que sus efectos serían mitigables. (Municipalidad Concepción, 2015); (Municipalidad Talcahuano, 2016). (Ver Anexo I).

Teniendo todo esto en consideración, no existen regulaciones explícitas dentro de los PRC y el PRMC asociadas al transporte de cargas peligrosas, dicha información debe ser levantada a partir de empresas asociadas o en el mejor de los casos mediante un levantamiento de información a través del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Por lo que se debe asumir que toda carga transportada dentro de la red vial estructurante del área de estudio puede potencialmente contener sustancias peligrosas, esto debido a que no se puede desestimar el riesgo químico en ruta.

1.3. Área de Estudio

El área de estudio está emplazado dentro del área metropolitana del Gran Concepción, correspondiendo a las zonas urbanas de las intercomunas Concepción, Talcahuano y Hualpén, estas ocupan un área de 9600 *ha* con una población de 461.000 habitantes, equivalente al 48% de los habitantes del área metropolitana del Gran Concepción. (INE, 2020).

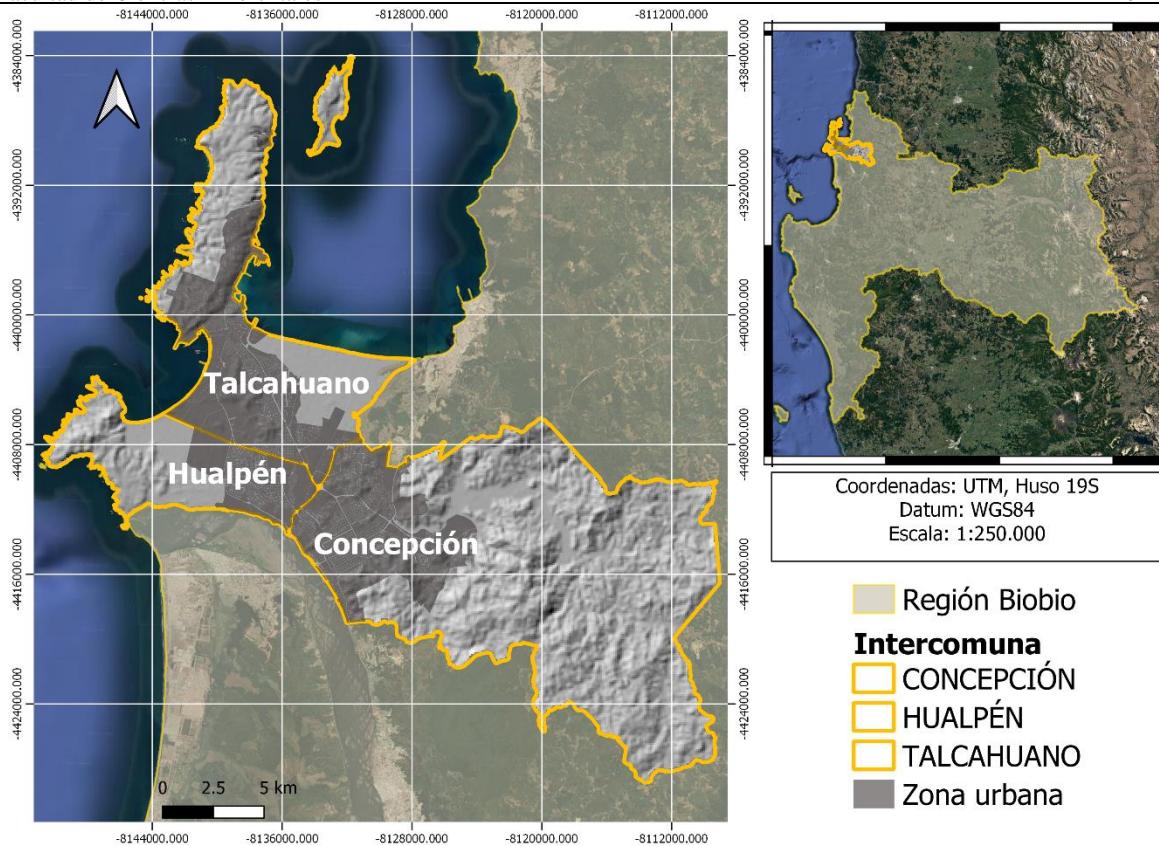


Fig. 1.8 Intercomuna Concepción, Talcahuano, Hualpén; adaptado de (GORE Biobío, 2003).

Las principales actividades económicas en relación a su contribución al PIB regional son la industria manufacturera que representa hasta un 24%, seguido por servicios personales con un 15%. A esto le siguen, los servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros empresariales y servicios de Transporte, información y comunicaciones representan con un 9% cada uno. (PACYT Biobío, 2019).

En relación a las cadenas de valor tradicionales, el sector forestal genera exportaciones por un valor de \$3.694 MMUSD puerto de carga convenido o *Free on Board*, (FOB de ahora en adelante) correspondiente al 77% de las exportaciones regionales totales, de los cuales el producto de mayor venta es la celulosa (36%) y la madera aserrada (13%) (PACYT Biobío, 2019).

Es importante mencionar que el proceso de pulpado de celulosa requiere implementar sustancias peligrosas como soda caustica ($NaOH$) y sulfuros de sodio (Na_2S) para una etapa inicial de digestión para posteriormente utilizar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y dióxido de cloro (ClO_2) en las etapas de blanqueamiento. (González, Vega, & Zaror, 2011). Estas mercancías recorren activamente la vialidad estructurante a través de camiones de carga.



Dentro del área de estudio se emplazan complejos portuarios industriales, que representan un gran movimiento de carga industrial e insumos químicos, con un alto nivel de peligrosidad. Los cuales corresponden a los complejos portuarios de Talcahuano y San Vicente. Ambos mueven un total de 8,3 millones de toneladas de carga anual, correspondiendo de esta forma al 34% del total a nivel nacional, para el año 2019 (CAMPORT, 2020).

Por último, la industria petroquímica, a nivel nacional se refinaron 10,8 Mm^3 de crudo solo en 2019. En lo que respecta al presente estudio, la refinería ENAP Biobío durante el mismo año presentó una capacidad de producción del 83% y de refinación de 116.000 $\frac{\text{barril crudo}}{\text{día}}$, equivalente a 5,6 Mm^3 de crudo, de esta forma procesando aproximadamente el 52% del total nacional (ENAP, 2019).

1.3.1. Operabilidad y evaluación ambiental del transporte de carga

Todas estas mercancías manufacturadas, refinadas y/o procesadas necesariamente deben ser transportadas por la red vial dentro del área de estudio. En este ámbito entran en rigor los planes reguladores para designar dichas vías por donde se realiza el transporte de carga. Sin embargo, es necesario entender que no todas las cargas pueden causar accidentes químicos graves. Para lo cual SECTRA Biobío desarrolló un diagnóstico de la operación del transporte vial de carga dentro del sector Gran Concepción, el cual analiza la oferta y demanda vial de dicho transporte. Otorgando información técnica en la identificación de la vialidad estructurante asociada al área de estudio. Además de otorgar matrices de viajes rodoviaros, ferroviarios y de ductos (Tabla 1). Están desagregadas según tonelaje, periodo del día y tipo de carga de transportada (Tabla 2).

Tabla 1.1 Transporte multimodal presente en el Gran Concepción (SECTRA, 2011).

	Modos de Transporte (mmT/año)			
	Rodoviario	Ferroviano	Ductos	Total
Forestal	29,43	5,18	-	36,6
Industrial	8,99	-	4,01	13
Hidrocarburos	0,06	0,11	14,9	15,06
Marítimo / Agropecuario	1,98	-	-	1,98
Contenedores	4,54	-	-	4,54
Bienes de Consumo Masivo	1,07	-	-	1,07
Total	46,07	5,28	18,91	70,26

**Tabla 1.2 Caracterización de cargas rodoviarias (SECTRA, 2011).**

Producto	Punta Mañana		Fuera Punta Mañana		Fuera Punta Tarde	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Forestal	4.400	32,4	10.166	39,8	6.586	37
Industrial	4.664	34,4	8.401	32,9	6.422	36,1
Hidrocarburos	2.727	20,1	2.203	8,6	905	5,1
Carga Marítima y Agropecuaria	620	4,6	2.594	10,2	2.043	11,5
Contenedores y Bodegaje	451	3,3	1.110	4,3	915	5,1
Alimentos, Bebidas, Vestuario y Muebles	708	5,2	949	3,9	899	5,1
Vacías	0	0	0	0	0	0
No responde	0	0	91	0,4	29	0,2
Total	13.570	100	25.514	100	17.798	100

Por otro lado, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) a través del Portal web del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) provee información relevante sobre los proyectos que hayan aprobado su evaluación ambiental. A través del Decreto 40/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, se realizan Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) que dejan constancia sobre aspectos técnicos relevantes para el presente estudio. De esta forma, se provee información que ratifica la presencia de vehículos con carga peligrosa dentro de la intercomuna.

De acuerdo a la información disponible, no hay estudios que combinen la modelación matemática y herramientas de análisis espacial para una evaluación de riesgo químico en el área de las intercomunas Concepción, Talcahuano, Hualpén. Teniendo en cuenta que el área de estudio es un polo industrial con una alta demanda vial para el transporte de mercancías peligrosas, un hipotético accidente puede generar graves impactos a las personas, la infraestructura y el medio ambiente. El presente estudio toma en consideración todos los aspectos presentados en este marco teórico para formular los siguientes objetivos.



2. Objetivos

2.1. General

Evaluar el riesgo químico asociado a un accidente de transporte de sustancias peligrosas en la intercomuna Concepción, Talcahuano y Hualpén.

2.2. Específicos

- Establecer zonas de alta accidentabilidad dentro de la vialidad estructurante de la intercomuna de Concepción, Talcahuano y Hualpén relacionado al transporte de carga.
- Determinar el peligro asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas.
- Analizar la exposición de la población e infraestructura crítica asociado al accidente del transporte de sustancias peligrosas.

3. Metodología

Este capítulo abarca la metodología asociada a cada uno de los objetivos propuestos en el presente estudio.

3.1. Establecimiento de zonas de alta accidentabilidad dentro del área de estudio.

Para establecer zonas de alta accidentabilidad dentro de la intercomuna se identificó la vialidad estructurante con presencia de transporte de carga peligrosa a partir de restricciones territoriales. Se identificaron los accidentes vehiculares presentes en ruta. Posteriormente, se calculó una función de densidad de probabilidad para establecer *hotspots* de accidentes. La figura 3.1 muestra un esquema conceptual del proceso.

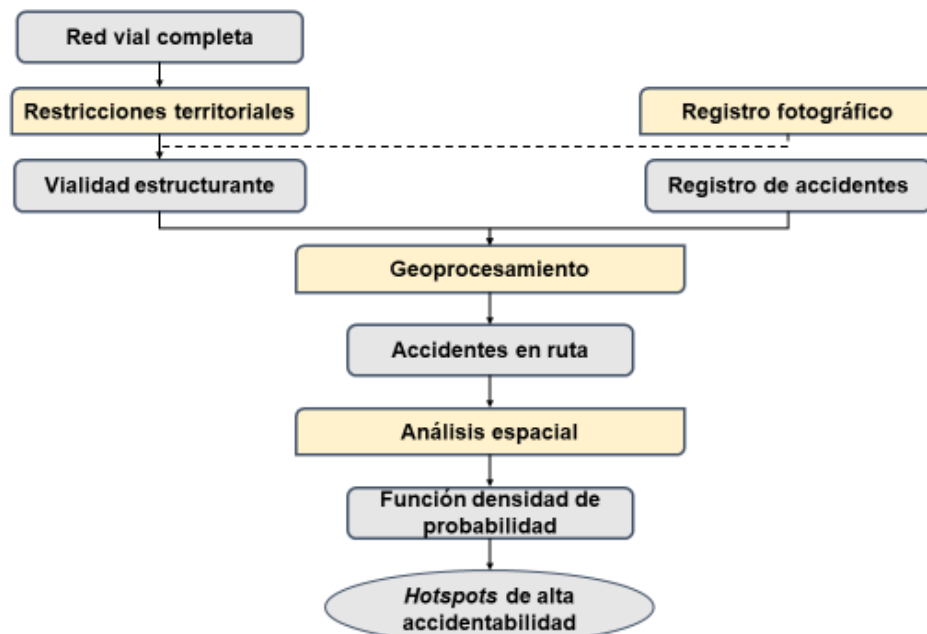


Fig. 3.1 Diagrama de flujo para la designación de zonas de alta accidentabilidad



3.1.1. Identificación de vialidad estructurante

La información geoespacial correspondiente a la red vial fue obtenida de la plataforma de Infraestructura de Datos Geoespaciales Chile (IDE Chile, 2019). Las restricciones territoriales que fueron consideradas en este estudio corresponden a las asignaciones de vías expresas, troncales y colectoras de acuerdo a las disposiciones de los PRC de Concepción, Talcahuano como a su vez el PRMC (GORE Biobio, 2003; Municipalidad Concepción, 2015; Municipalidad Talcahuano, 2016). (Ver Anexo I). Una vez definida la red vial geoespaciada, esta se procesó con el software ArcGIS 10.2.2, mediante las restricciones territoriales se descartaron las vías sin presencia de transporte de carga. Finalmente se corrobora la selección mediante un registro fotográfico en terreno de aquellas zonas que carecían de información, identificando de esta forma la vialidad estructurante con presencia de transporte de carga.

3.1.2. Obtención de accidentes en ruta

El registro de accidentes georreferenciados dentro de la intercomuna fue obtenido a partir de la Plataforma GESITRAN (Rojas C. , 2015). El procesamiento de los datos fue a través de ArcGIS 10.2.2 y consistió en hacer una selección del registro de accidentes vehiculares presentes según la metodología de Huang (2018) que, de acuerdo a las características de la vía, se determinó un rango de 30 metros a lo largo de la vialidad estructurante.

3.1.3. Determinación de función de densidad de probabilidad

Posterior a la obtención de los accidentes en ruta, se aplica el método de análisis de densidad de Kernel, el cual es utilizado para identificar *hotspots* o “puntos calientes” en redes de transporte (Rojas, 2015). La estimación de densidad de Kernel se expresa mediante la Ecuación 3.1.

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (3.1)$$

Donde, $f(x)$ representa una función estimativa de la densidad de accidentes a partir de una evaluación de un punto de referencia x . El valor n corresponde al número de accidentes de la muestra para cada iteración dentro de un radio de búsqueda h . Por otro lado, K corresponde a la función de probabilidad de Kernel, definida en la Ecuación 3.2. El valor $x - X_i$ representa la distancia entre el punto de referencia y la ubicación vectorial $[X_i, Y_i]$ de cada uno de los accidentes (Ye *et al.*, 2014).

$$K = \frac{3}{\pi} \left(1 - \left(\frac{x - h_i}{h} \right)^2 \right)^2 \text{ donde } \frac{x - h_i}{h} \leq 1, i = \{1, \dots, n\} \quad (3.2)$$

Para el cálculo se utilizó un radio de búsqueda de 400 metros a lo largo de la vialidad estructurante, en base al criterio de la Plataforma GESITRAN (Rojas, 2015) que adecua las redes de transporte de la zona de estudio con las del Gran Concepción, sin embargo, se aumentó la resolución a 30 metros de tamaño de celda (*pixel*) para tener resultados más detallados y que se alineen con el proceso de obtención de los accidentes en ruta. La figura 3.2 muestra el modelo utilizado para el procesamiento en ArcGIS 10.2.2.

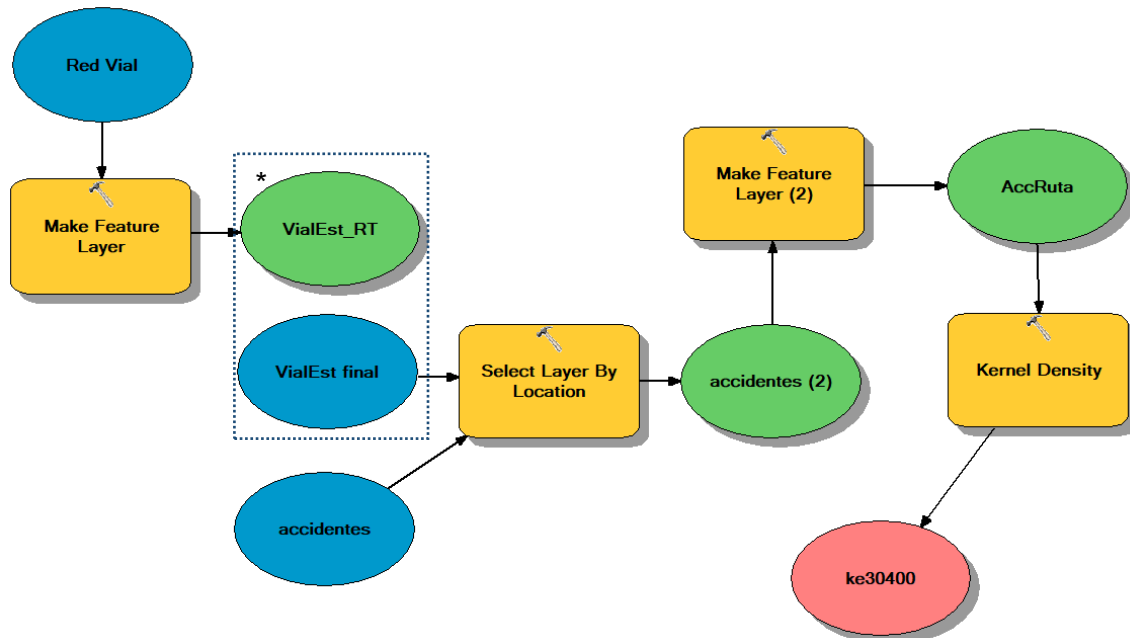


Fig. 3.2 Modelo utilizado para determinar zonas de alta accidentabilidad, Fuente: Elaboración propia. (*)

(*) Nota: La vialidad estructurante se detalló mediante presencia/ausencia de transporte de carga a través de registros fotográficos en terreno en algunas áreas y declaraciones de impacto ambiental en Portal SEIA.

VialEst: Vialidad estructurante

Accruta: registro histórico de accidentes dentro de la vialidad estructurante.

De acuerdo a Rojas (2015), los valores Kernel considerados altos son todos aquellos $K > 300$. A partir de estos valores, se definieron todos los polígonos subyacentes a la vialidad estructurante. Los escenarios para modelar una fuga están determinados por los centroides de dichos polígonos, de ahora en adelante **puntos críticos**.

3.2. Determinar peligro asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas.

Para determinar el peligro asociado a una fuga primero se hizo un levantamiento de información para identificar y priorizar las sustancias peligrosas presentes en la vialidad estructurante. Se determinaron las condiciones atmosféricas necesarias. Se identificó las condiciones de transporte de las sustancias peligrosas. Se establecieron criterios para condiciones de fuga. Se emplazaron en los puntos críticos modelos de dispersión de cada una de las sustancias peligrosas transportadas con el software ALOHA 5.4.7, determinando escenarios de accidentes graves. La Figura 3.3 muestra un esquema conceptual del proceso.

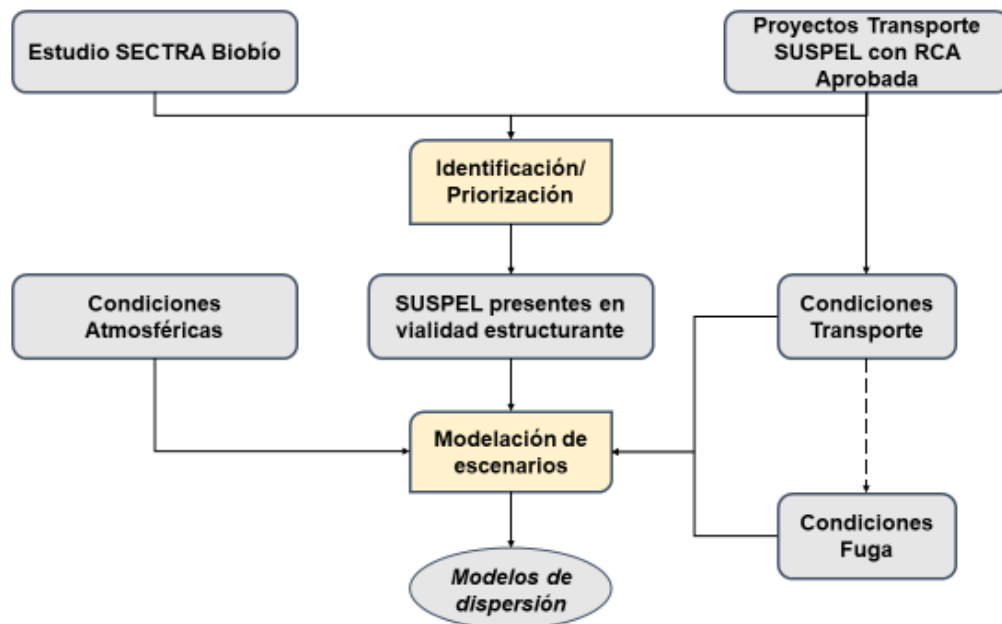


Fig. 3.3 Diagrama de flujo para obtención de escenarios a modelar.



3.2.1. Identificación y priorización de sustancias peligrosas presentes en la vialidad estructurante.

Se prioriza la identificación de sustancias de Clase 2, Clase 3, Clase 5, Clase 6 y Clase 8 a partir de la muestra multimodal validada por el Ministerio de Transportes (SECTRA, 2011). La información sobre el tipo de sustancias peligrosas y los volúmenes transportados fueron obtenidos del Portal SEIA (SEA, 2019) (ver Anexo II). Se priorizó una primera selección de sustancias peligrosas a partir del protocolo de *Análisis de Riesgo Cuantitativo*, QRA por sus siglas en inglés (American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008) a partir del registro de $\frac{N^{\circ} \text{ Viajes}}{\text{Año}}$ y $\frac{\text{Ton}}{\text{Viaje}}$ de las sustancias transportadas. Las sustancias identificadas deben estar presentes en base de datos del software ALOHA 5.4.7 (ver Anexo III).

Kim, *et al.* proponen un método de partición de componentes para mejorar la priorización de sustancias, la cual consiste en la partición de peligrosidad en base a dos componentes (i, j) asociado a la naturaleza de la sustancia y un respectivo análisis de selección (ver Tabla 3.1). Se priorizó los modelos en función de la clasificación de peligro (ver Ecuación 3.3) de los cuales se seleccionaron los valores $N_p \geq 3$. De esta forma las sustancias modeladas representarían el mayor peligro dentro del catastro de sustancias para cada uno de los puntos críticos en ruta. Los datos de peligrosidad de las sustancias se obtuvieron de las hojas de seguridad presentadas en las DIAs.

Tabla 3.1 Matriz de selección a partir de partición de peligrosidad de la sustancia. (Kim, et al., 2003).

$N_j \backslash N_i$	0	1	2	3	4
0	0	1	2	3	4
1	1	1	2	3	4
2	2	2	4	6	8
3	3	3	6	9	12
4	4	4	8	12	16



$$N_p = N_i * N_j \text{ donde } \begin{cases} N_f * N_r & \text{si sustancia es inflamable} \\ N_h * N_r & \text{si sustancia no es inflamable} \end{cases} \quad (3.3)$$

Donde:

N_f : Clasificación de inflamabilidad HMIS.

N_h : Clasificación de salud HMIS.

N_r : Clasificación de reactividad HMIS.

N_p : Clasificación de peligro.

3.2.2. Establecimiento de condiciones meteorológicas y de transporte.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos a partir de la Dirección Meteorológica de Chile (DGAC Chile, 2020). Se utilizaron registros diarios representativos de la estación Carriel Sur (Tabla 3.2) durante un periodo de 10 años para determinar condiciones estándar biestacionarias (invierno, verano), luego fueron ingresadas a ALOHA 5.4.7 ver Anexo III. Las variables meteorológicas utilizadas en el modelo son:

- Temperatura
- Presión atmosférica
- Humedad
- Velocidad del Viento
- Dirección del Viento
- Factor de Nubosidad
- Condición de inversión atmosférica

Tabla 3.1 Especificaciones estación Carriel Sur, fuente (DGAC Chile, 2020).

Código Nacional	360019
Nombre de la Estación	Carriel Sur, Concepción Ap.
Propietario de la Estación	Dirección Meteorológica de Chile
Fecha de Creación	01/01/1968
Latitud	-36.780.554
Longitud	-73.066.388
Altitud	13 m
Altitud Mínima de Seguridad	1500 m
Entorno	Al SE cerro y al Oeste cerro a 3.000 m
Zona Geográfica	Litoral
Localidad más cercana	5 km al centro de la plaza de Concepción.



Las condiciones de transporte fueron establecidas mediante la información disponible en Portal SEIA, indicada en el Anexo II. El criterio utilizado fue de un tanque horizontal cilíndrico que represente un estanque cisterna de capacidad 30 m^3 y largo 12 m . Se ingresa al software un radio consistente al volumen del estanque cisterna; la temperatura dentro del tanque y/o el estado físico de la sustancia al momento de ser transportada (ver Anexo III).

A partir del Manual de Riesgos del Ministerio de Salud (MINSAL, 2016) se utiliza como criterio de fuga que para sustancias inflamables el diámetro del orificio de fuga será el de la tubería (*piping*) que canaliza a las zonas de consumo. Acorde a los informes técnicos de las DIAs evaluadas, las válvulas corresponden a 2" o aproximadamente 50 mm . Se extiende este criterio de fuga para otras sustancias modeladas.

3.2.3. Obtención de modelos de dispersión y selección de escenarios.

Se modelaron las sustancias a partir de las especificaciones técnicas del software ALOHA (ver Anexo IV). La base de datos de ALOHA agrupa los valores ERPG, AEGL y TEEL respectivos en los denominados Niveles de Preocupación (En inglés: *Levels of Concern*) LOC de ahora en adelante, asignando los valores asociados en tres bandas; bajo, medio y alto.

Considerando que pueden existir múltiples puntos críticos y sustancias peligrosas a modelar (ver Tabla 3.3), el American Institute of Chemical Engineers determina que es necesario una metodología para seleccionar y priorizar escenarios.

Tabla 3.2 Matriz de modelos de dispersión

Lugar	Invierno	Verano	Escenarios Potenciales
Punto Crítico 1	Evento Sustancia 1	Evento Sustancia 1	1,1
	⋮	⋮	⋮
	Evento Sustancia n_j	Evento Sustancia n_j	1, n_j
⋮	⋮	⋮	⋮
Punto Crítico n_i	Evento Sustancia 1	Evento Sustancia 1	$n_i, 1$
	⋮	⋮	⋮
	Evento Sustancia n_j	Evento Sustancia n_j	n_i, n_j

Para el presente estudio se adaptó un algoritmo *Hazard Based*, de ahora en adelante HB para la priorización de escenarios de accidentes graves. Tiene por finalidad filtrar los modelos para obtener los escenarios que representen el mayor peligro en base a las condiciones modeladas. (ver Figura 3.4).

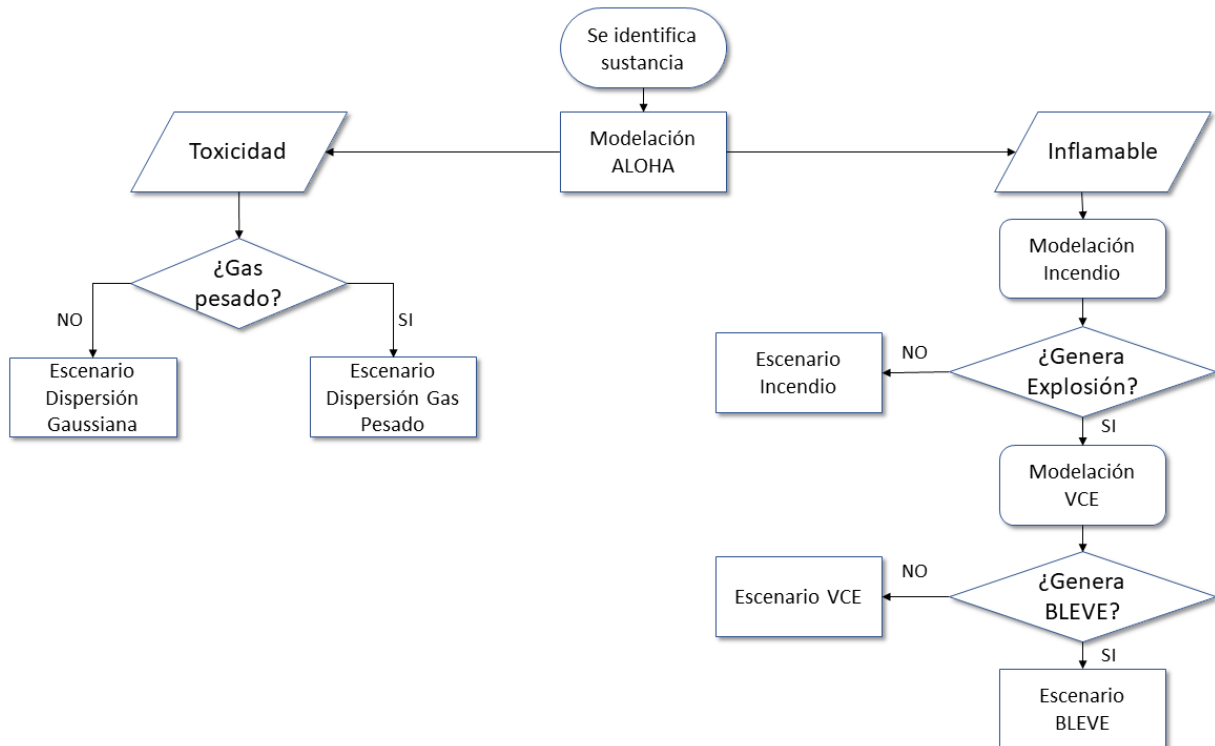


Figura 3.4 Algoritmo de selección de escenarios basado en peligro, adaptado de (American Institute of Chemical Engineers, Inc., 2008).

3.3. Análisis de exposición de la población e infraestructura crítica asociado al accidente en el transporte de sustancias peligrosas.

Se realizó un análisis de exposición, a partir de dos factores; poblacional e infraestructura crítica, para así identificar zonas críticas vinculadas a la exposición. La evaluación poblacional consistió en una evaluación multicriterio propuesta por Barilla (2009) y asignar ponderaciones o pesos en relación a cinco capas temáticas poblacionales (ver Tabla 3.4) las cuales se les asignó un puntaje [1-4] (Barilla, Leonardi, & Puglisi, 2009; León & March, 2014; Rojas et al., 2017). Los pesos de las capas temáticas se obtuvieron en base a una matriz [P]



Tabla 3.3 Capas temáticas poblacionales

Capa (unidad/manzana)	Peso	Clase individual	Puntaje asociado a valor de clase
Población [0-5] años	0,24	0-4	1
		5-7	2
		8-10	3
		11-31	4
Población [6-14] años	0,19	0-6	1
		7-10	2
		11-15	3
		16-41	4
Población [15-64]	0,18	0-24	1
		25-44	2
		45-70	3
		71-198	4
Población [65-+]	0,22	0-7	1
		8-12	2
		13-18	3
		19-40	4
N° viviendas	0,17	0-12	1
		13-21	2
		22-34	3
		35-102	4

La infraestructura crítica consiste en servicios de emergencia, infraestructura tanto del Sistema Nacional de Servicios de Salud (SNSS de ahora en adelante) como los no pertenecientes al SNSS, establecimientos educacionales, servicerios y puertos (ver Tabla 3.5), las que representan focos de conglomeración de personas y/o almacenamiento de sustancias peligrosas que aumentan el riesgo al estar expuestos al área de influencia de un accidente. Sin embargo, no hay información disponible sobre la cantidad de personas que deambulan en dichas estructuras o un catastro de los volúmenes de sustancias peligrosas que puedan estar almacenadas, por lo que se les debe considerar de igual importancia, para ello se asigna un valor puntaje en base a la ausencia y presencia (1 y 4 respectivamente) de estos con el objetivo de no sobreestimar los datos (Ecuación 3.4) (Rojas & Martínez, 2018).

Los datos demográficos se obtuvieron del Censo 2017 (INE, 2019). Los datos urbanos geoespaciados se obtuvieron de la plataforma Infraestructura de Datos Geoespaciales Chile (IDE Chile, 2019).

**Tabla 3.4 Infraestructura crítica asociadas al factor exposición**

Infraestructura crítica considerada	Categoría	Descripción
Servicios de salud	Establecimientos servicio nacional de salud primaria	CESFAM, SAPU, CGU, CECOSF, PRAIS
	Establecimientos servicio nacional de salud secundaria	COSAM, Centro de rehabilitación, CDT
	Establecimientos de salud terciaria	Hospitales públicos
	Otros Establecimientos	Clínicas privadas, Hospitales FF.AA.
Establecimientos educacionales	Municipal	Liceos, escuelas, colegios de carácter público
	Particular pagado	Colegios, escuelas, Jardines infantiles privados
	Particular Subvencionado	Liceos, escuelas, colegios de carácter subvencionado
	Administración delegada	Liceos técnicos
	JUNJI	Jardines infantiles y salas cuna de carácter público
Servicios de emergencia	Unidades PDI Compañías Bomberos Cuarteles Carabineros	
Almacenamiento de sustancias peligrosas	Servicentros Puertos	

$$E_F = \{1,4\} \text{ con Ausencia} = 1, \text{Presencia} = 4 \quad (3.4)$$

La información demográfica dentro del área urbana se estructuró en base a los bloques urbanos o manzanas presentes, para ello se realizó una sobreposición de datos mediante ArcGIS 10.2.2 entre microdatos demográficos con el ID de las manzanas para zonificar la información. Se normalizó el número de habitantes por manzana usando la Ecuación 3.5. Se realizó un análisis descriptivo para cada una de las capas temáticas poblacionales a través de EasyFit 5.3. Se identificaron valores percentiles P_{25} para determinar los valores de las clases y asignar puntaje. Se reclasificó las variables poblacionales a partir de los percentiles en capas temáticas a través de la extensión “Reclasificar”. Posteriormente, se asignaron los pesos relativos a las capas temáticas en base a la relevancia de exposición. Los puntajes se establecieron en relación con el análisis descriptivo en base a cuatro categorías de exposición 1, 2, 3, 4 representando de esta manera un aumento



ascendente de la exposición; baja, media, alta, muy alta respectivamente. Finalmente, las capas temáticas fueron integradas usando la extensión “Calculadora Raster” de ArcGIS (ver Ecuación 3.6).

$$NHN = 4 * \frac{NHabManz}{NHabManzMax} \quad (3.5)$$

$$E_a = (F_1 \times W_1) + \dots + (F_n \times W_n) \quad (3.6)$$

Donde:

E_a : Corresponde a un factor de exposición acumulativa.

F_n : Factor reclasificado asociado a un puntaje de exposición.

W_n : Peso relativo aplicado a cada uno de los factores.

3.4. Evaluación de riesgo químico asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas en la intercomuna Concepción, Talcahuano y Hualpén.

El riesgo asociado a cada escenario de accidente grave se determinó a través de una matriz cualitativa de bandas (INSHT, 2017). El riesgo está determinado por los Niveles de Preocupación (LOC) asociados a la modelación con ALOHA en contraste con los valores de Exposición Acumulada (ver Tabla 3.6). De esta forma el riesgo queda evaluado en tres bandas, bajo, medio, alto.

Tabla 3.5 Matriz cualitativa de riesgo*.

Peligro \ Exposición	LOC1	LOC2	LOC3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9
4	4	8	12

(*) Nota: Las bandas de color respectivamente indican el nivel de riesgo; Verde (Bajo); Amarillo (Medio); Rojo (Alto).



4. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la metodología presentada en el Capítulo 3.

4.1. Establecimiento de zonas de alta accidentabilidad dentro del área de estudio.

4.1.1. Identificación de vialidad estructurante.

La Tabla 4.1 indica el registro de las vías dentro de la intercomuna con presencia de vehículos con carga peligrosa. Esto a partir del levantamiento de información y el registro fotográfico en terreno de las rutas no especificadas en los PRMCs de Concepción y Talcahuano (ver Figuras 4.1 a 4.4).

Tabla 4.1 Registro de vías con presencia de camiones con carga peligrosa.

Concepción	Talcahuano	Hualpén
Alonso De Ribera	Alemania	Autopista De Concepción A Talcahuano (Ruta 154)
Arturo Prat	Almirante Latorre	Costanera
Autopista Concepción - Penco (Ruta 150)	Almirante Villarroel	Cristóbal Colón
Autopista De Concepción - Talcahuano (Ruta 154)	Alto Horno	Gran Bretaña
Autopista De Concepción - Florida (Ruta 148)	Autopista De Talcahuano - Concepción (Ruta 154)	Jorge Alessandri Rodríguez
Blanco	Autopista Interportuaria	Las Golondrinas
Costanera	Blanco Encalada	O'Higgins
General Bonilla	Cristóbal Colón	
Jorge Alessandri Rodríguez	Gálvez	
José Miguel García	Gran Bretaña	
Los Carrera	Jorge Montt	
Paicaví	Juan Antonio Ríos	
Pedro De Valdivia	La Marina	
San Juan Bosco	Las Golondrinas	
	O'Higgins	
	Pérez Gacitúa	
	Valdivia	



Figura 4.1 Fotografía en terreno, 15 septiembre 2019; Camión cisterna en Av. Jorge Alessandri.



Figura 4.2 Fotografía en terreno, 9 septiembre 2019; Camión cisterna transportando combustible presente en autopista 158.



Figura 4.3 Fotografía en terreno, 9 septiembre 2019; Camión cisterna para distribución de combustible presente en autopista Costanera.



Figura 4.4 Fotografía en terreno, 15 septiembre 2019; Camión cisterna en autopista General Bonilla.

De acuerdo a la información recopilada, la vialidad estructurante se extiende desde el sector norte de Talcahuano hasta los límites comunales de Concepción al sur con Chiguayante y el río Bío-Bío, por el oeste desde la vía Gran Bretaña hasta los sectores orientales de Collao y el límite comunal con Penco. La vialidad estructurante conforma 267 km de vías expresas y troncales, las cuales corresponden 114 km a la comuna de Concepción, 102 km a la comuna de Talcahuano y 51 km a la comuna de Hualpén, siendo un 43%, 38% y 19% respectivamente (ver tabla 4.2). Las vías expresas y troncales poseen un ancho promedio de 30 y 20 metros respectivamente.



Tabla 4.2 Distribución vial por comuna.

REGISTRO IDE	Km DE VÍA POR COMUNA			
	CONCEPCIÓN	HUALPÉN	TALCAHUANO	TOTAL
Ruta 148	28,3			28,3
Sin Nombre		0,1	0,5	0,6
21 DE MAYO	4,4			4,4
ALEMANIA			0,0	0,0
ALMIRANTE LATORRE			2,1	2,1
ALMIRANTE VILLARROEL			0,9	0,9
ALONSO DE RIBERA	8,0			8,0
ALTO HORNO			1,8	1,8
ARTURO PRAT	3,1			3,1
AUTOPISTA			1,4	1,4
AUTOPISTA CONCEPCION - PENCO	0,1			0,1
AUTOPISTA DE CONCEPCION A TALCAHUANO	2,1	1,7	8,2	12,1
AUTOPISTA INTERPORTUARIA			10,0	10,0
AVENIDA LAS GOLONDRINAS		1,9		1,9
BLANCO ENCALADA			3,6	3,6
CAMINO A CONCEPCION			1,1	1,1
CAMINO A PENCO	7,0			7,0
CARDENAL RAÚL SILVA HENRIQUEZ	1,7			1,7
CENTRAL NORTE	0,0			0,0
CHACABUCO	0,0			0,0
CONCEPCION - TALCAHUANO		0,3		0,3
COSTANERA	8,5	17,1		25,6
CRISTOBAL COLÓN		5,7	22,2	27,9
EDELMIRA GAETE			0,1	0,1
ENLACE A PUENTE CHACABUCO	0,2			0,2
ESMERALDA	0,1			0,1
GALVEZ			0,5	0,5
GENERAL BONILLA	11,1			11,1
GÉNOVA		0,0		0,0
GRAN BRETAÑA		4,5	14,5	19,1
INGLESA	0,0			0,0
JORDAN VALDIVIESO			0,2	0,2
JORGE ALESSANDRI RODRIGUEZ			2,6	2,6
JORGE ALESSANDRI RODRÍGUEZ	9,9	8,6	7,1	25,6
JORGE MONTT			3,6	3,6



JOSE MIGUEL GARCIA	3,1			3,1
JUAN ANTONIO RÍOS			3,5	3,5
LA MARINA			2,1	2,1
LAS GOLONDRINAS		8,6	8,7	17,3
LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS	0,0			0,0
LOS CARRERA	9,7			9,7
MANUEL RODRÍGUEZ O'HIGGINS	0,0		0,0	0,0
PADRE HURTADO		2,1	2,0	4,1
PADRE HURTADO	0,2			0,2
PAICAVI	8,8			8,8
PEDRO DE VALDIVIA	6,0			6,0
PEREZ GACITUA			3,3	3,3
RAMUNTCHO		0,1		0,1
ROCOTO			0,1	0,1
SAN JUAN BOSCO	1,9			1,9
SUECIA			0,0	0,0
URBRU 151			0,2	0,2
VALDIVIA			1,2	1,2
VICTOR LAMAS	0,0			0,0
ZAÑARTU	0,1			0,1
TOTAL GENERAL	114,4	50,7	101,5	266,6
	43%	19%	38%	100%

La Figura 4.5 muestra cartográficamente cómo se configura la red vial dentro de la intercomuna, específicamente dentro de las zonas urbanas del área de estudio, esto debido al levantamiento de accidentes históricos de tránsito como se muestra más adelante en el capítulo 4.1.2.

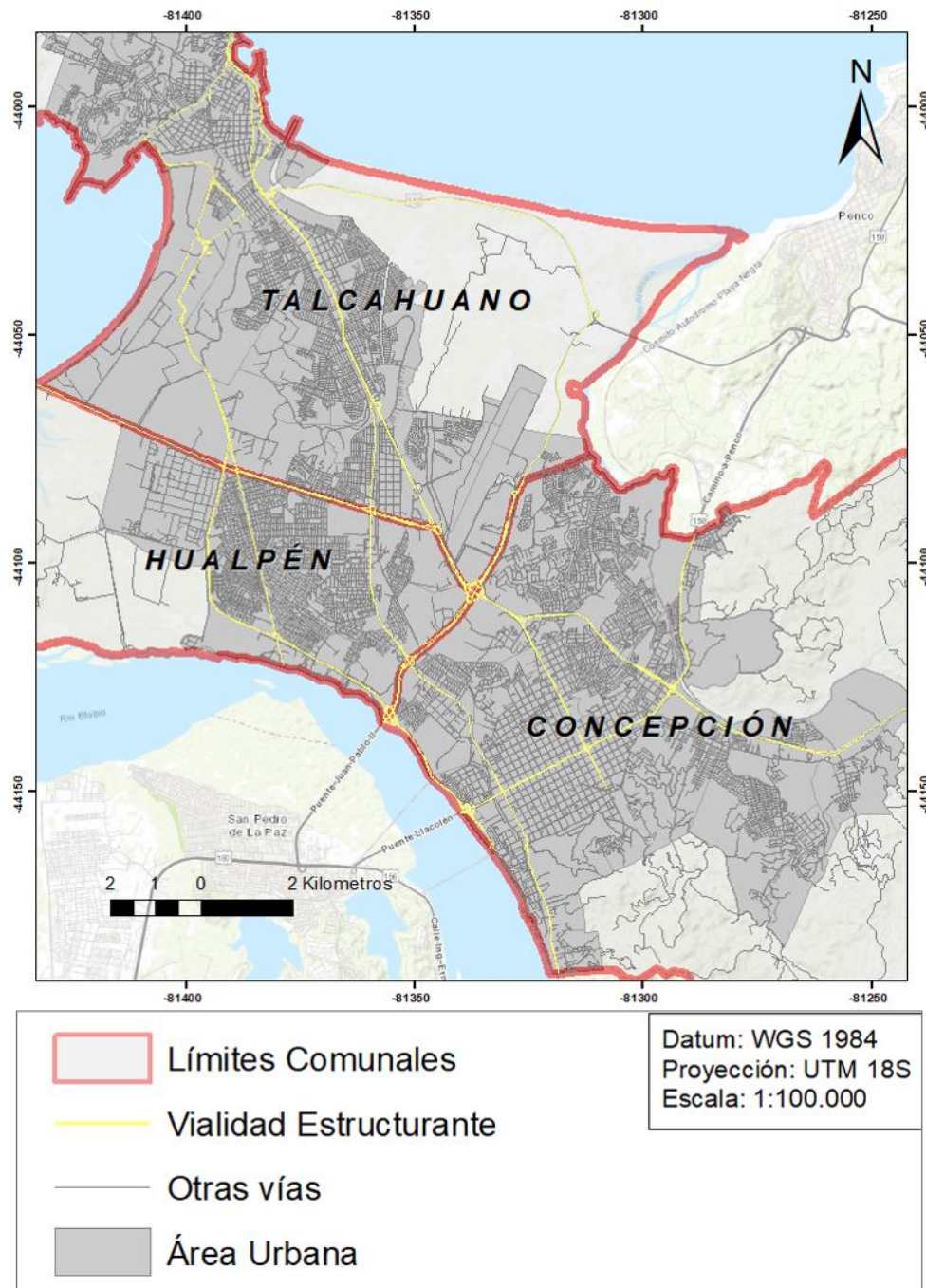


Figura 4.5 Vialidad Estructurante presente en el Área de Estudio.

4.1.2. Obtención de accidentes en ruta.

A partir de la información recopilada, se obtuvo un registro de accidentes de tránsito georreferenciado a lo largo de la vialidad estructurante. La figura 4.6 muestra el registro histórico de accidentes de tránsito a lo largo de la vialidad estructurante.

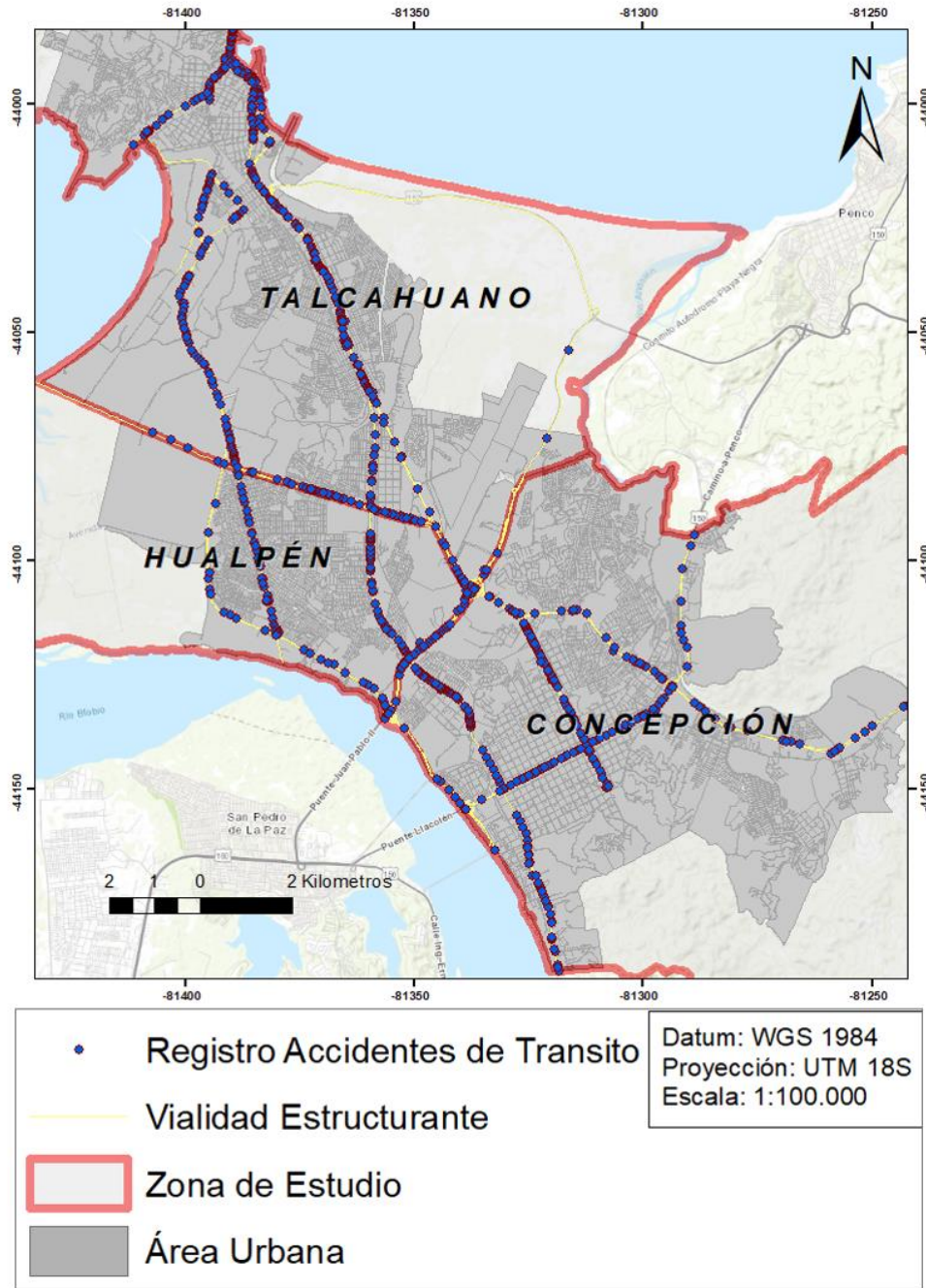


Figura 4.6 Registro de accidentes de tránsito presentes en la Vialidad Estructurante.

De los 2.841 accidentes de tránsito registrados en la vialidad estructurante, un 52% de ellos ocurrieron en la comuna de Concepción, un 29% en Talcahuano y un 19% en Hualpén como indica la Figura 4.7. Cabe destacar que el 99% de ellos ocurren dentro del área urbana que colinda con zonas domésticas, comerciales e industriales. Teniendo en cuenta el porcentaje de las vías expresas y troncales presentes en las comunas de Concepción (43%), Talcahuano (38%) y Hualpén (19%) se puede determinar que hay una mayor incidencia de accidentes en la comuna de Concepción.

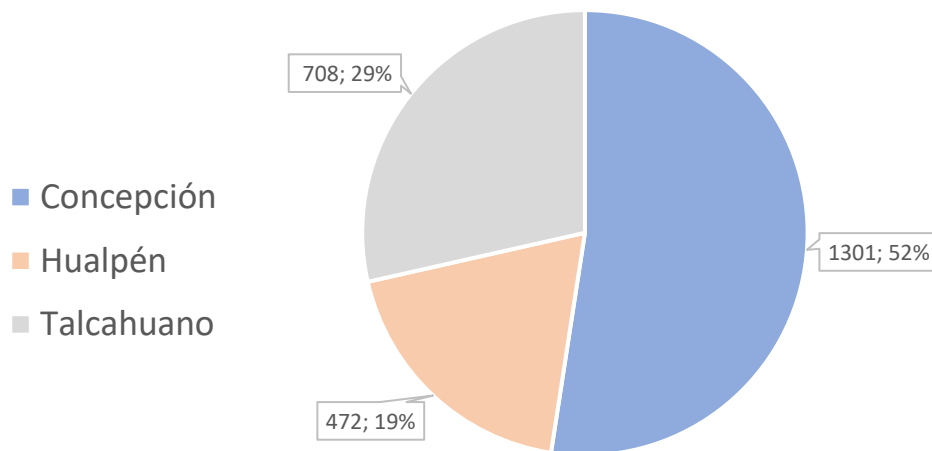


Figura 4.7 Distribución de accidentes de tránsito dentro de la intercomuna.

4.1.3. Determinación de función de densidad de probabilidad.

La Figura 4.8 muestra la concentración de accidentes a través de la función de densidad de Kernel. Se pueden identificar 5 polígonos asociados a valores $K > 300$ los cuales colindan con las vías, *Cristóbal Colón*, *Jorge Alessandri*, *Los Carrera* y *Paicaví*. Cabe destacar que a lo largo de la Avenida Jorge Alessandri se conforman dos polígonos, uno a la altura de *21 de Mayo* y otro en la intersección *vía acceso a Lomas de San Andrés*. En cada polígono se define un punto a partir del centroide del mismo. De esta forma cada punto representa la zona de mayor probabilidad para un accidente de tránsito (ver Tabla 4.3).

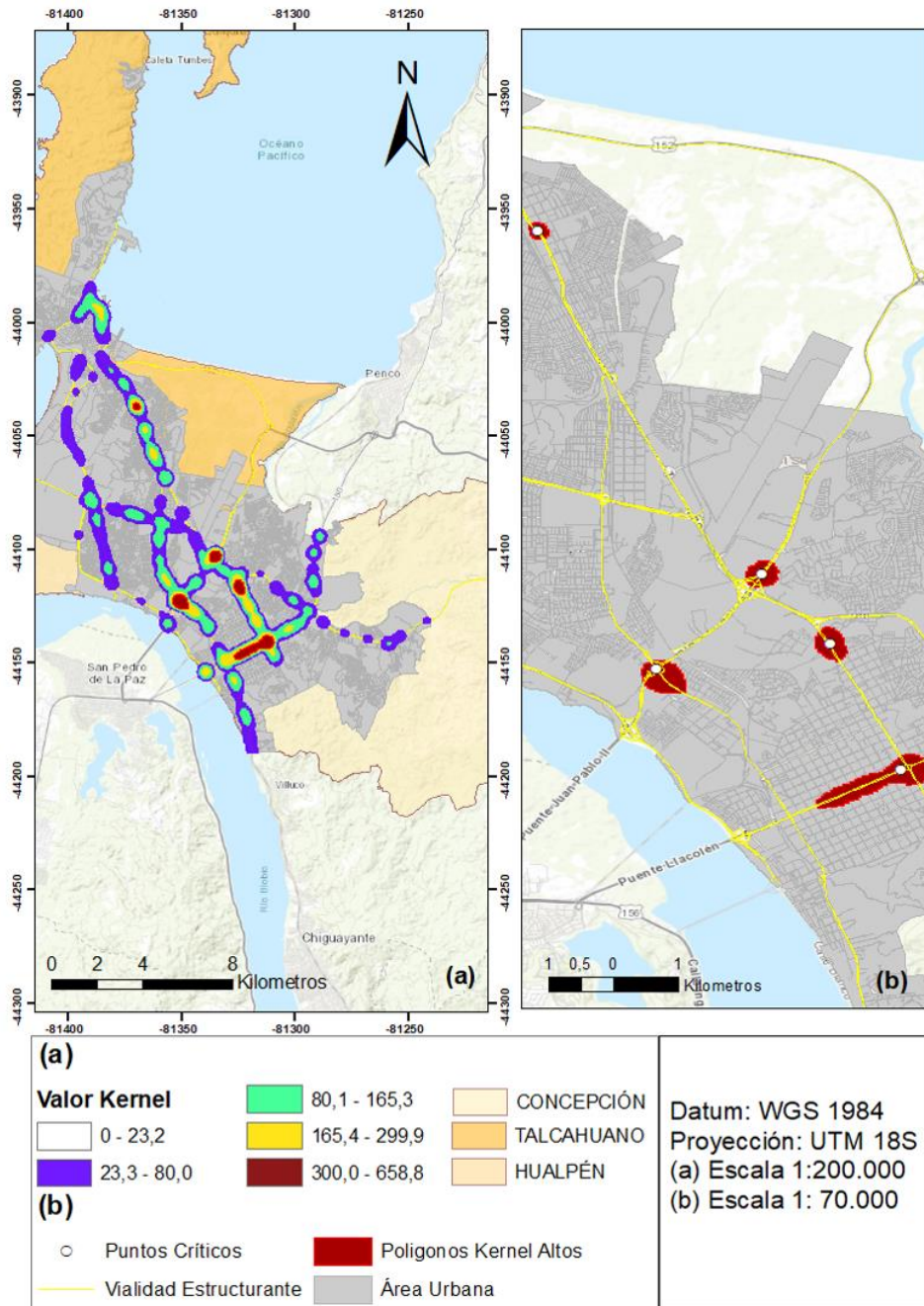


Figura 4.8 Función Densidad de Probabilidad y puntos críticos asociados a valores Kernel altos.

Los puntos críticos identificados a partir de la función de densidad de Kernel fueron georreferenciados en las vías pertenecientes a la vialidad estructurante. La tabla 4.3 muestra la ubicación de cada uno de estos puntos.



Tabla 4.3 Puntos críticos presentes en la vialidad estructurante.

Id	Calle	Intersección	Comuna	Latitud	Longitud
1	Avenida Colón	Independencia	Talcahuano	36°44'44.45"S	73° 5'44.19"O
2	Autopista Jorge Alessandri	Acceso Lomas San Andrés	Concepción	36°47'35.96"S	73° 3'52.31"O
3	Avenida Paicaví	Independencia	Concepción	36°48'10.78"S	73° 3'17.80"O
4	Autopista Jorge Alessandri	21 de Mayo	Hualpén	36°48'23.42"S	73° 4'44.80"O
5	Avenida Los Carrera	Paicaví	Concepción	36°49'13.39"S	73° 2'42.55"O

4.2. Determinar peligro asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas.

A continuación, se procede a mostrar los resultados en base a la partición de peligrosidad de sustancias identificadas y el algoritmo HB (Figura 3.4) para los escenarios de accidentes graves.

4.2.1. Identificación y priorización de sustancias peligrosas presentes en la vialidad estructurante.

La Tabla 4.4 muestra las sustancias peligrosas identificadas y priorizadas dentro de la vialidad estructurante.

Tabla 4.4 Catastro, priorización y ubicación de sustancias peligrosas presentes en vialidad estructurante.

Sustancia	$\left[\frac{Ton}{Año}\right]$	Base de datos ALOHA	Puntos Críticos	N_f	N_r	N_h	N_p
GLP (Propano)	S/D	si	1, 2, 3, 4, 5	4	0	0	4
Gasolinas (93 95 97)	S/D	no	1, 2, 3, 4, 5	3	0	1	3
Peróxido Hidrogeno	33.311	si	2, 4	0	3	2	6
Oxido De Calcio	20.137	no	-	0	2	3	6



Ácido Clorhídrico 32%	12.705	si	3, 4	0	1	3	3
Soda Caustica	11.206	no	-	0	1	3	3
Formalina	5.924	no	-	2	0	3	3
Metanol	5.236	si	2, 4	3	0	1	3
Cloro	4.593	si	3	0	0	4	4
Trementina	3.020	no	-	3	0	1	3

N_f : Clasificación de inflamabilidad HMIS.

N_h : Clasificación de salud HMIS.

N_r : Clasificación de reactividad HMIS.

N_p : Clasificación de peligro. (ver metodología)

A partir de las DIAs (ver Anexo II), se identifican las rutas declaradas por los titulares en los distintos proyectos de transporte de sustancias químicas. Con esta información se correlaciona la presencia de las sustancias en la tabla 4.4 con la vialidad estructurante y análogamente en los respectivos puntos críticos por donde transita cada sustancia. Debido a esto, existe la posibilidad de que algunas sustancias puedan generar un escenario de accidente grave en más de un punto crítico. Para el caso del GLP y Gasolina, no hay información disponible en la base de datos del SEA, sin embargo, el registro fotográfico en terreno (Figuras 4.1 a 4.4) muestran la presencia en toda la vialidad estructurante de camiones cargando combustibles, además, los PRCs y el PRMC permite el uso de vías troncales y colectoras para estaciones de servicios, siendo este el caso para los puntos críticos 1, 2, 3, 4 y 5. Por otro lado, ALOHA no tiene una base de datos compatible para modelar Gasolinas tipo 93, 95 y 97 octanos por lo que se desestima esta sustancia del estudio. Para el caso del GLP, se considera como propano al 100%. Otras sustancias que no están presentes en la base de datos del programa ALOHA y que debieron ser desestimadas del estudio son, óxido de calcio, soda caustica, formalina y trementina.

4.2.2. Establecimiento de condiciones meteorológicas y de transporte.

La Tabla 4.5 muestra los parámetros meteorológicos promedios obtenidos a partir de la estación meteorológica Carriel Sur. Se recopilaron datos horarios en un periodo de 10 años y se determinaron las condiciones estándar para temporada verano e invierno. Posteriormente son utilizados en los modelos ALOHA.

Tabla 4.5 Parámetros meteorológicos

Estación	Temperatura del aire [°C]	Presión atmosférica [hPa]	Humedad relativa [%]	Velocidad del viento [k]	Dirección del viento	Nubosidad [OCTAS]
Verano	16,6	1014,2	74,5	7,5	SSO	2,6
Invierno	9,7	1019,1	83,5	6,7	SSE	4,6

4.2.3. Análisis de modelos de dispersión y selección de escenarios.

- Propano

De acuerdo a las condiciones de transporte, un camión estándar contiene unos 12.500 kg de propano. El software ALOHA calcula que un accidente grave con propano puede entrar en ignición y generar subsecuentes eventos de incendio y explosión, independiente de las condiciones invierno o verano. De acuerdo a la gráfica, generaría una onda expansiva sobre 1 psi capaz de dañar ventanales y otros cristales en un radio mayor a 100 metros. El modelo alcanza el LOC2 de 3,5 psi pudiendo generar lesiones graves, como indica la Figura 4.9.

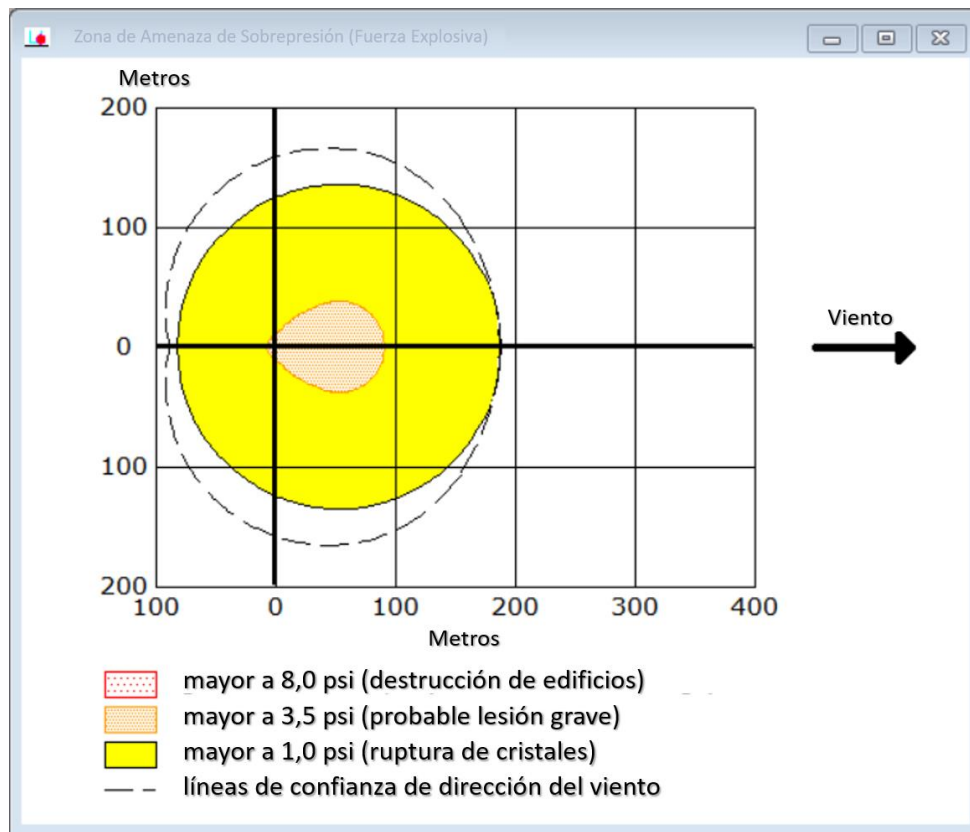


Figura 4.9 Zona de amenaza para un VCE propano. Condición verano.



La figura 4.10 indica la tasa de liberación para un VCE de propano. Muestra tres intervalos constantes de 2 minutos antes de una abrupta disminución en la tasa de liberación de sustancia. El primer intervalo liberaría $1.800 \frac{kg}{min}$ de sustancia, el segundo $1.750 \frac{kg}{min}$ y el tercero $1.600 \frac{kg}{min}$, dando como resultado una pérdida de contención de 10.300 kg en los primeros 6 minutos, en ese instante el estanque del camión contiene alrededor de 2.200 kg de propano. Luego de 6 minutos la tasa de liberación cae abruptamente, esto representa el punto de ignición para el escenario y genera la subsecuente explosión de la nube de vapor acumulada.

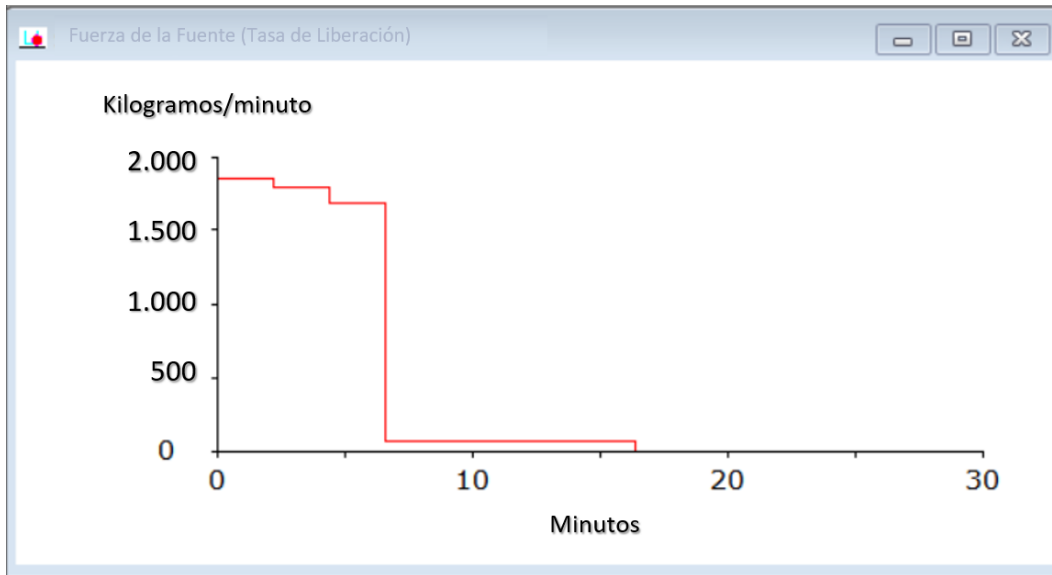


Figura 4.10 Tasa de liberación de escenario VCE propano. Condición verano.

De acuerdo al algoritmo HB (figura 3.4), es necesario seleccionar el peor escenario posible. Al verificarse que es viable un VCE entonces se justifica modelar un escenario de BLEVE bajo las mismas condiciones. El gráfico BLEVE (Figura 4.11) a diferencia del modelo VCE muestra valores de radiación térmica. El escenario BLEVE no se ve afectado por las condiciones invierno o verano. El software ALOHA asume la ocurrencia de una explosión súbita precalentada con la totalidad del volumen transportado. Los límites de preocupación LOC3 (letal), LOC2 (quemaduras 2° grado) y LOC1 (leve) alcanzarían distancias de 260, 430 y 670 metros respectivamente. Se utilizará el escenario BLEVE para el análisis de riesgo.

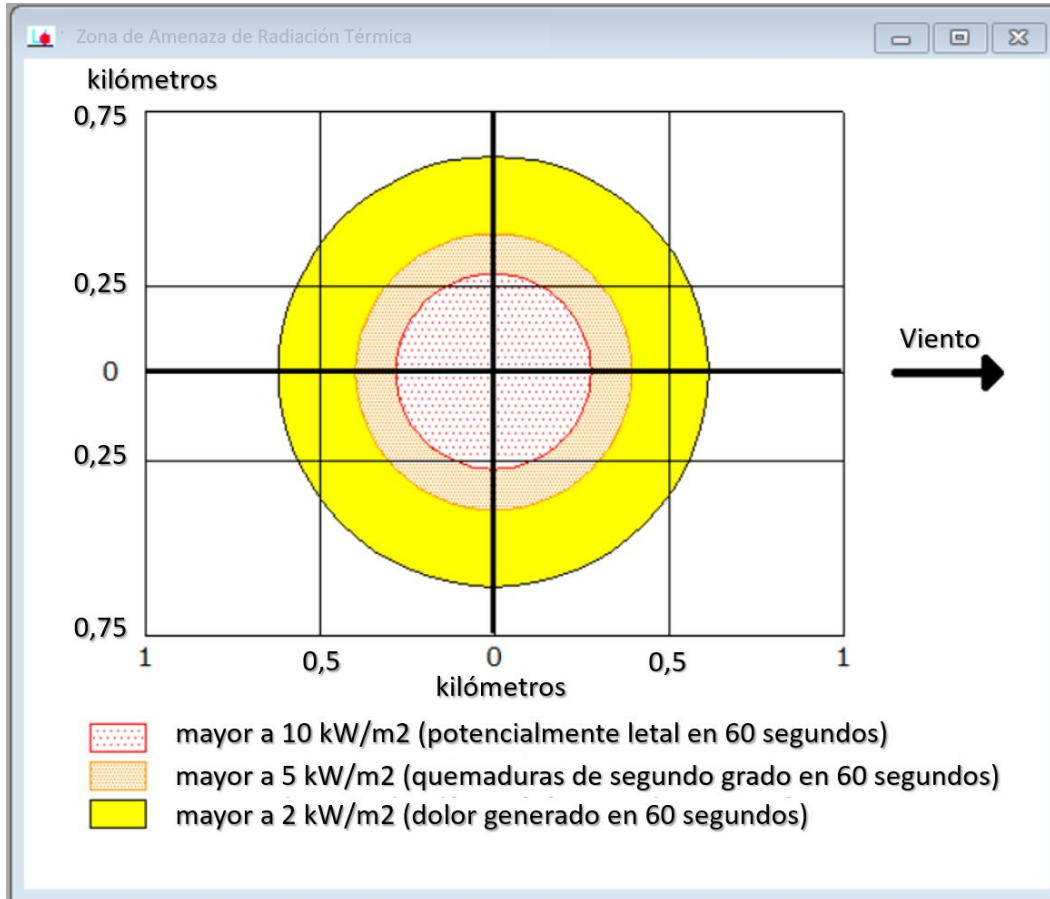


Figura 4. 11 Zona de amenaza para escenario BLEVE propano.

Teniendo esta información se procede a desplegar esta información geográficamente dentro de los cinco puntos críticos correspondientes. La Figura 4.12 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de BLEVE en condiciones biestacionales.

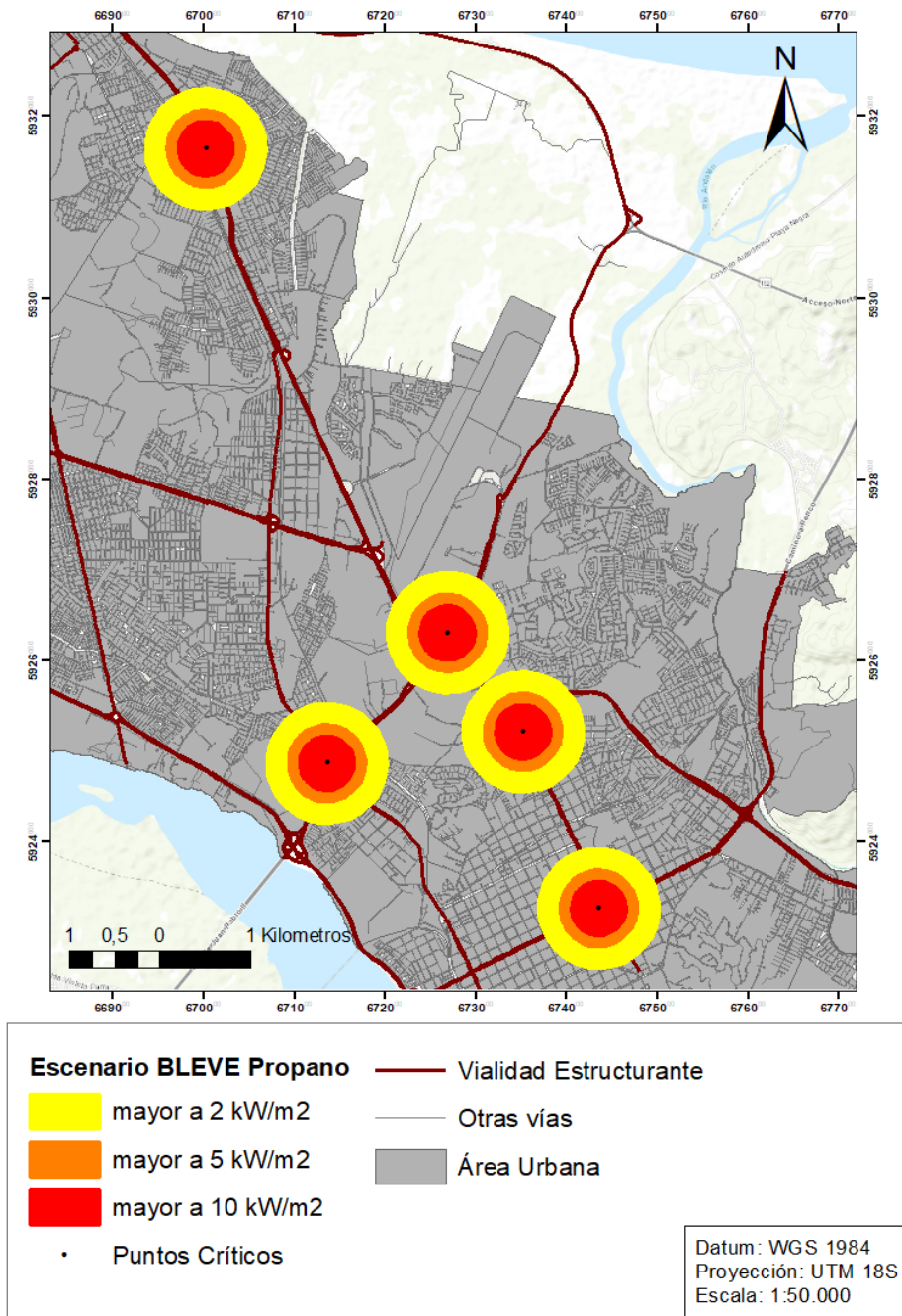


Figura 4. 12 Mapa de peligro para escenario BLEVE de propano en condiciones biestacionales.

En escala temporal la figura 4.14 indica la tasa de evaporación del derrame en condiciones de invierno. Se muestran 5 intervalos de 12 minutos, con tasas de $100 \frac{g}{min}$, $250 \frac{g}{min}$, $400 \frac{g}{min}$, $550 \frac{g}{min}$ y $700 \frac{g}{min}$ respectivamente. Al cabo de una hora, se ha evaporado 24 kg de sustancia, siendo un 0,1% de todo el volumen transportado. Esto físicamente representa que el vertido líquido se acumula más rápido que lo que se volatiliza la sustancia hacia el aire, persistiendo en el sitio del accidente.

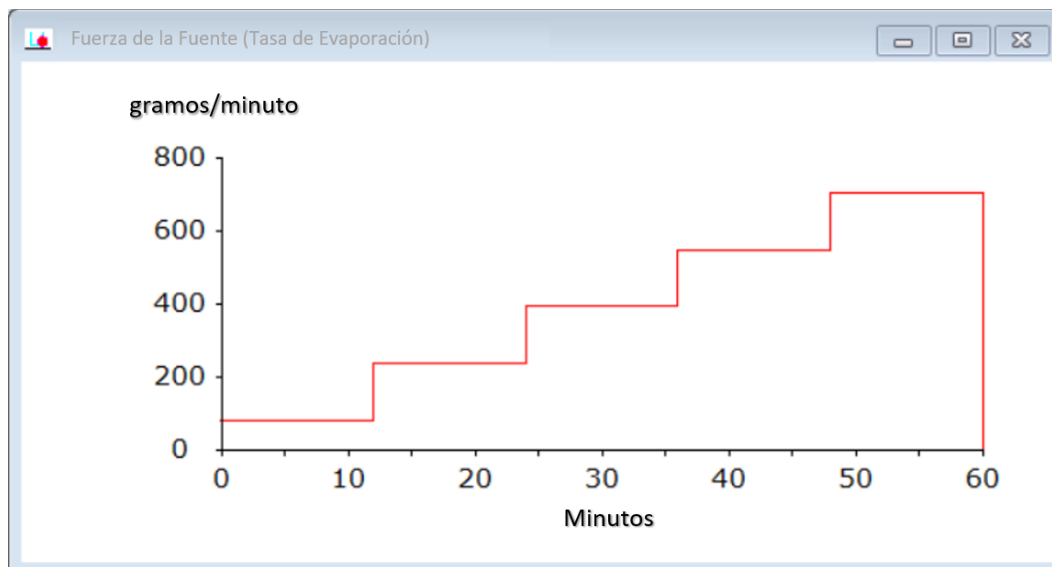


Figura 4.14 Tasa de evaporación de vertido de peróxido de hidrógeno. Condición Invierno.

La Figura 4.15 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de derrame de peróxido de hidrógeno en condiciones de invierno en los puntos críticos 2 y 4 correspondientes a avenida *Jorge Alessandri* en las intersecciones *21 de mayo* y *Acceso Lomas San Andrés*. El valor LOC1 entraría en contacto con unidades urbanas solo en el punto 4.

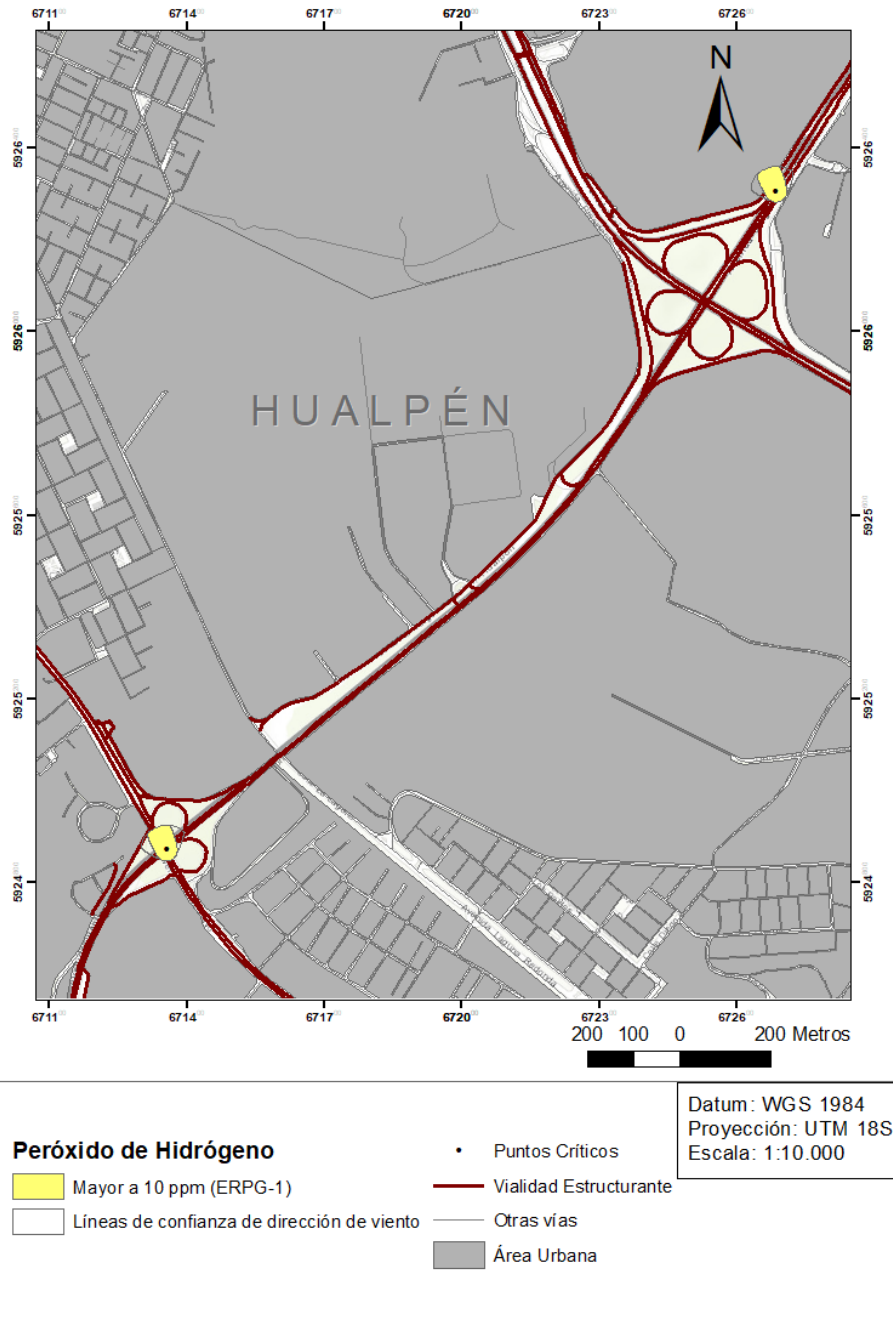


Figura 4. 15 Mapa de peligro para escenario de derrame de peróxido de hidrógeno. Condición invierno.

En condiciones de verano el escenario cambia. La figura 4.16 muestra que también se alcanza un LOC1 con concentraciones mayores a 10 ppm, lo que generaría impactos leves hacia la salud. La pluma alcanzaría un largo máximo de 90 metros y un ancho máximo de 60 metros.

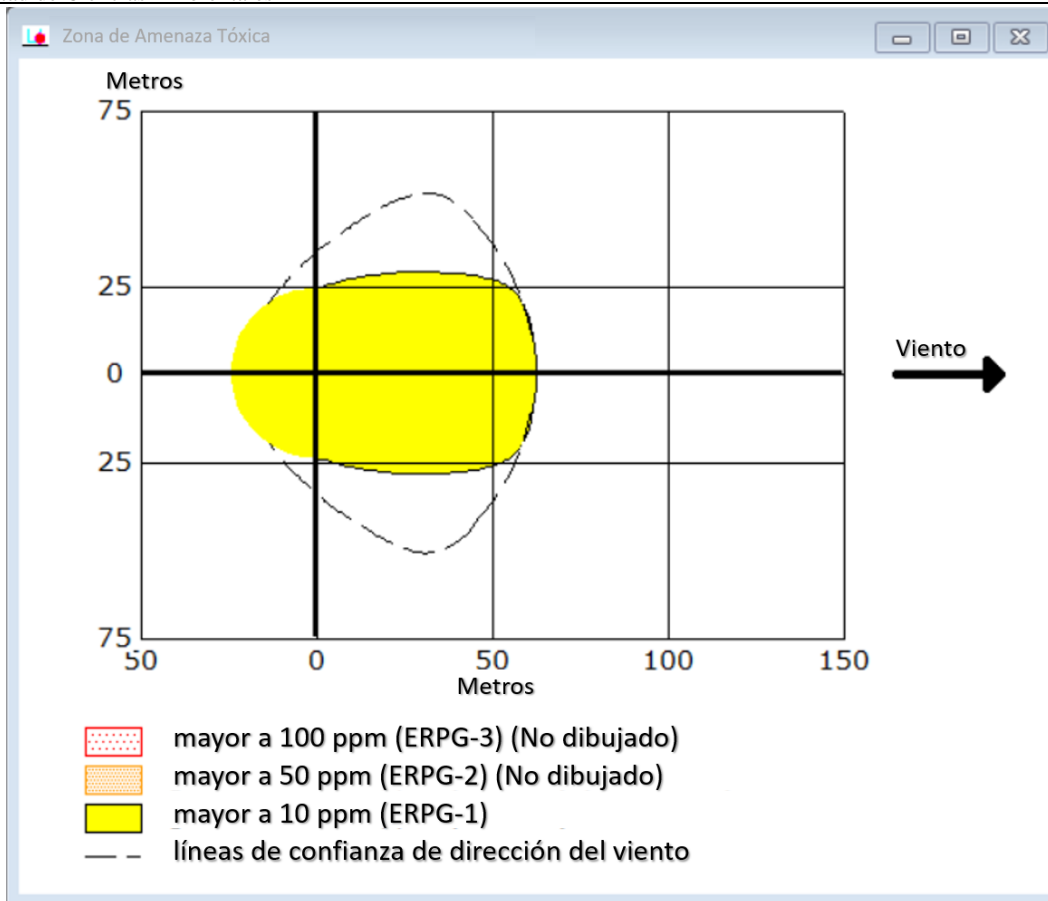


Figura 4.16 Zona de amenaza tóxica para peróxido de hidrógeno. Condición verano.

La figura 4.17 muestra la tasa de evaporación del vertido de peróxido de hidrógeno en condiciones de verano. Presenta 5 intervalos de 12 minutos cada uno, con tasas de $200 \left[\frac{g}{min} \right]$, $500 \left[\frac{g}{min} \right]$, $800 \left[\frac{g}{min} \right]$, $1300 \left[\frac{g}{min} \right]$ y $1600 \left[\frac{g}{min} \right]$ respectivamente. Al cabo de una hora, se ha volatilizado al ambiente un total de 53 kg de sustancia, equivalente al 0,2% del volumen transportado. Esto físicamente representa que el vertido líquido se acumula más rápido que lo que se volatiliza la sustancia hacia el aire, persistiendo en el sitio del accidente.

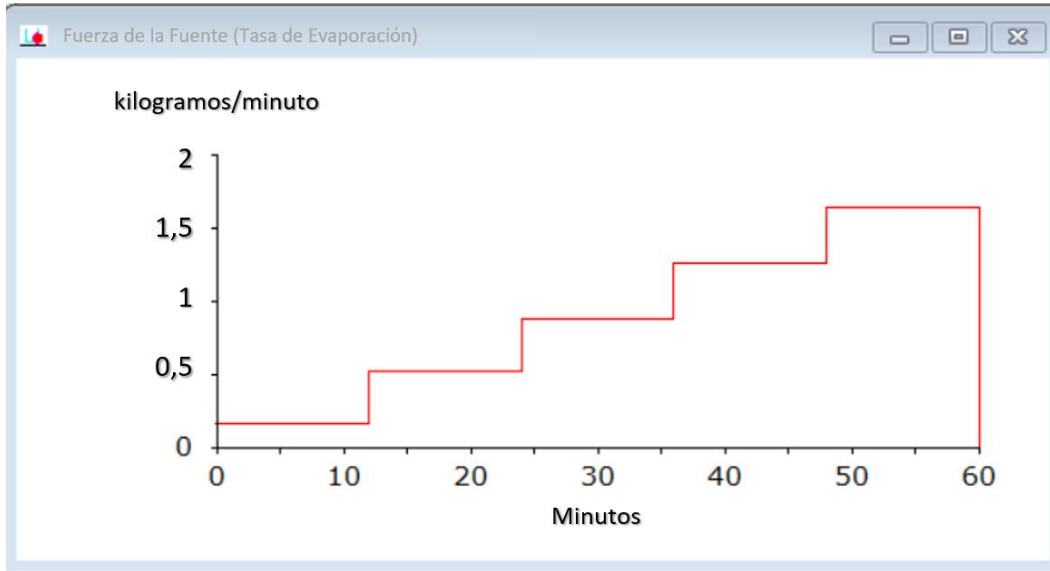


Figura 4. 17 Tasa de evaporación para vertido de peróxido de hidrógeno. Condición verano.

La Figura 4.18 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de derrame de peróxido de hidrógeno en condiciones de verano en los puntos críticos 2 y 4 correspondientes a avenida *Jorge Alessandri* en las intersecciones *21 de mayo* y *Acceso Lomas San Andrés*. El valor LOC1 entraría en contacto con unidades urbanas solo en el punto 4 con dos unidades urbanas.

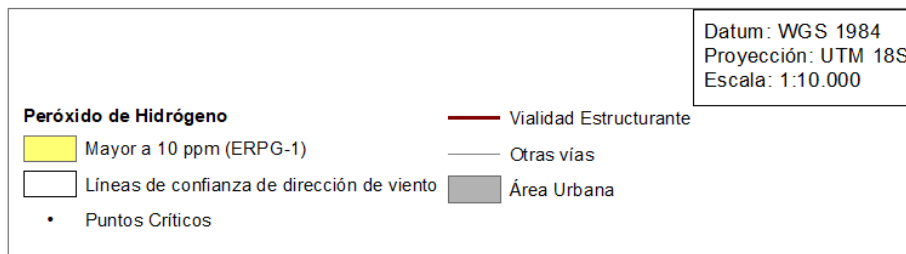
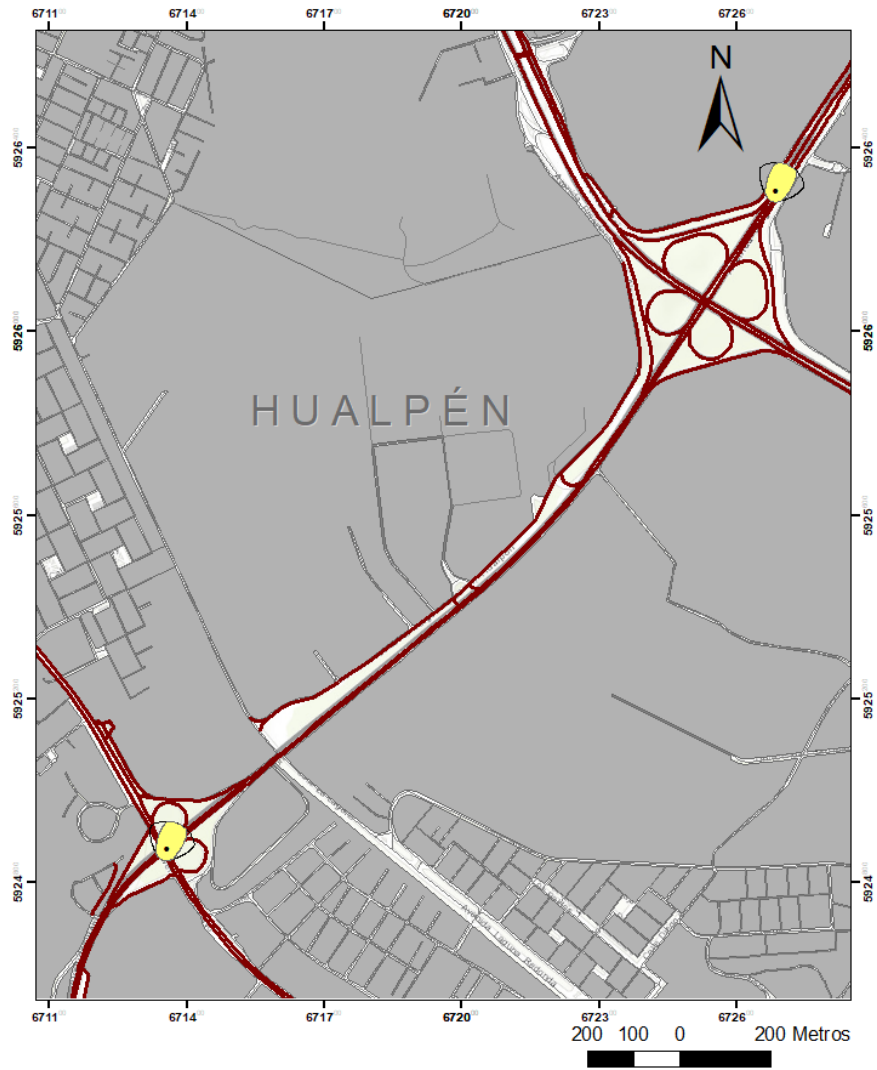


Figura 4. 18 Mapa de peligro para escenario de derrame de peróxido de hidrógeno. Condición verano.



Las diferencias a partir de las condiciones invierno/verano se pueden resumir en la tabla 4.6.

Tabla 4. 6 Resumen de escenarios para peróxido de hidrogeno. Condiciones invierno y verano.

Peróxido de Hidrogeno	Condición	
	Invierno	Verano
LOC máximo alcanzado	LOC1	LOC1
Longitud máxima pluma [m]	70	90
Ancho máximo pluma [m]	60	60
Porcentaje masa evaporada en 1 hora	0,1%	0,2%

- Ácido Clorhídrico 32%

Para sustancias en solución, el software ALOHA solo permite fijar como fuente un charco preexistente (*puddle*). El volumen utilizado en el escenario corresponde al 80% de capacidad para un estanque cisterna de $30 m^3$, equivalente a $24 m^3$ (27.900 kg). El diámetro máximo que puede alcanzar el charco está definido por el ancho de las vías en los puntos críticos 3 y 4 (ver Tabla 4.3) aproximadamente 30 metros.

La Figura 4.19 grafica una dispersión gaussiana en condiciones de verano para un charco preexistente de ácido clorhídrico al 32%. La gráfica muestra que la pluma alcanza concentraciones superiores a los 100 ppm (LOC3) a una distancia máxima de 55 metros y un ancho máximo de 36 metros. La pluma alcanza concentraciones superiores a los 22 ppm (LOC2) a una distancia máxima de 170 metros y un ancho máximo de 44 metros. La pluma alcanza concentraciones superiores a los 1,8 ppm (LOC1) a una distancia máxima de 645 metros de largo y un ancho máximo de 120 metros.

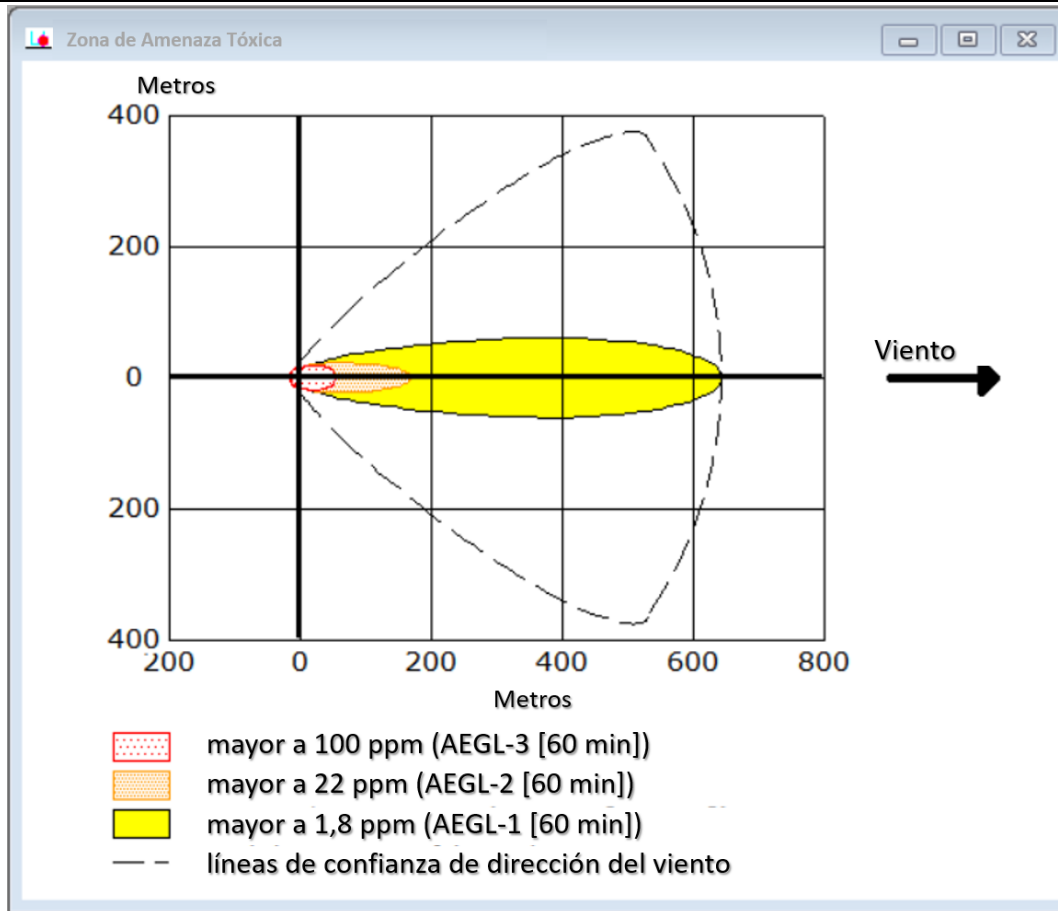


Figura 4. 19 Zona de amenaza tóxica para ácido clorhídrico 32%. Condición verano.

La figura 4.20 muestra la tasa de evaporación del charco de ácido clorhídrico al 32% en condiciones de verano. Presenta 5 intervalos de tiempo, uno de 10 min, tres consecutivos de 12 min y uno de 14 min. Las tasas de evaporación para los 5 intervalos son respectivamente $9,8 \frac{kg}{min}$, $9 \frac{kg}{min}$, $8,5 \frac{kg}{min}$, $8 \frac{kg}{min}$ y $7,5 \frac{kg}{min}$. Al cabo de una hora, se ha evaporado 509 kg de ácido clorhídrico al 32%, equivalente al 1,8% de la masa total del charco.

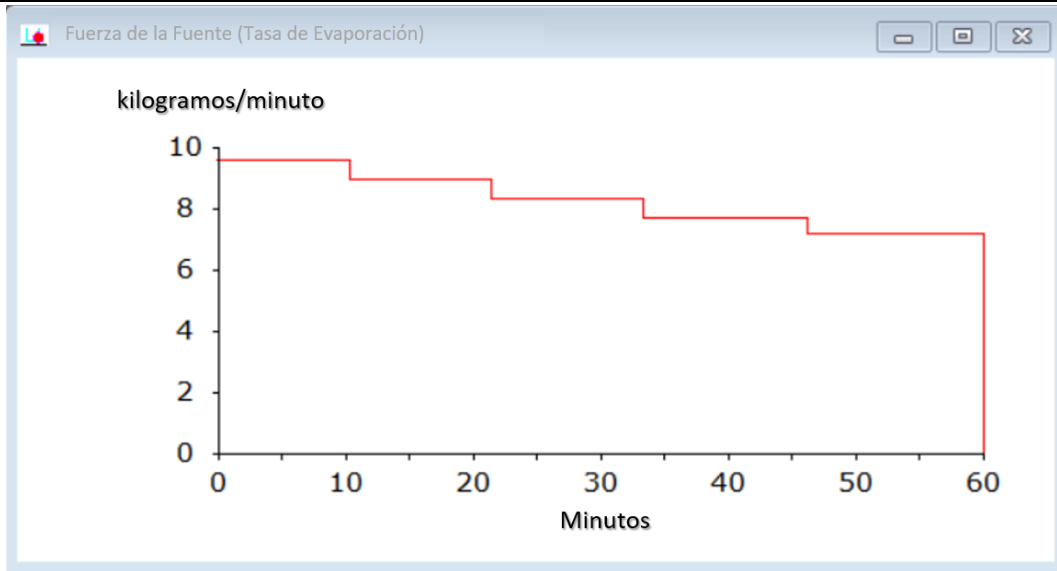


Figura 4. 20 Tasa de evaporación para charco de ácido clorhídrico 32%. Condición verano.

La Figura 4.21 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico al 32% en condiciones de verano en los puntos críticos 3 y 4 correspondientes a avenida *Paicavi* y avenida *Jorge Alessandri* con *21 de mayo*.

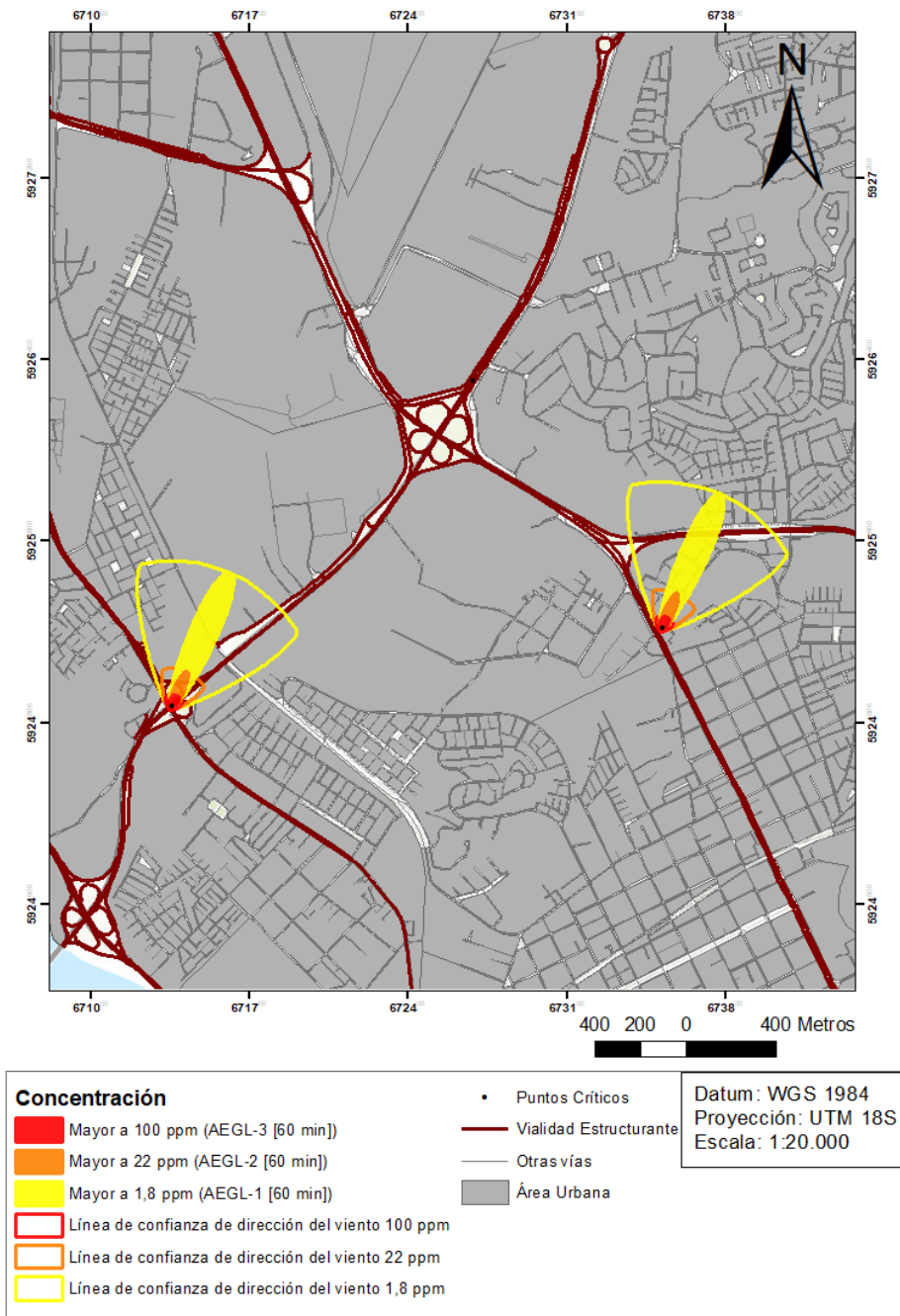


Figura 4. 21 Mapa de peligro para escenario de derrame de ácido clorhídrico 32%. Condición verano.

La figura 4.22 grafica una dispersión gaussiana en condiciones de invierno para un charco preexistente de ácido clorhídrico al 32%. La gráfica muestra que la pluma alcanza concentraciones superiores a los 22 ppm (LOC2) a una distancia máxima de 130 metros y un ancho máximo de 42 metros. La pluma alcanza concentraciones

superiores a los 1,8 ppm (LOC1) a una distancia máxima de 665 metros de largo y un ancho máximo de 98 metros.

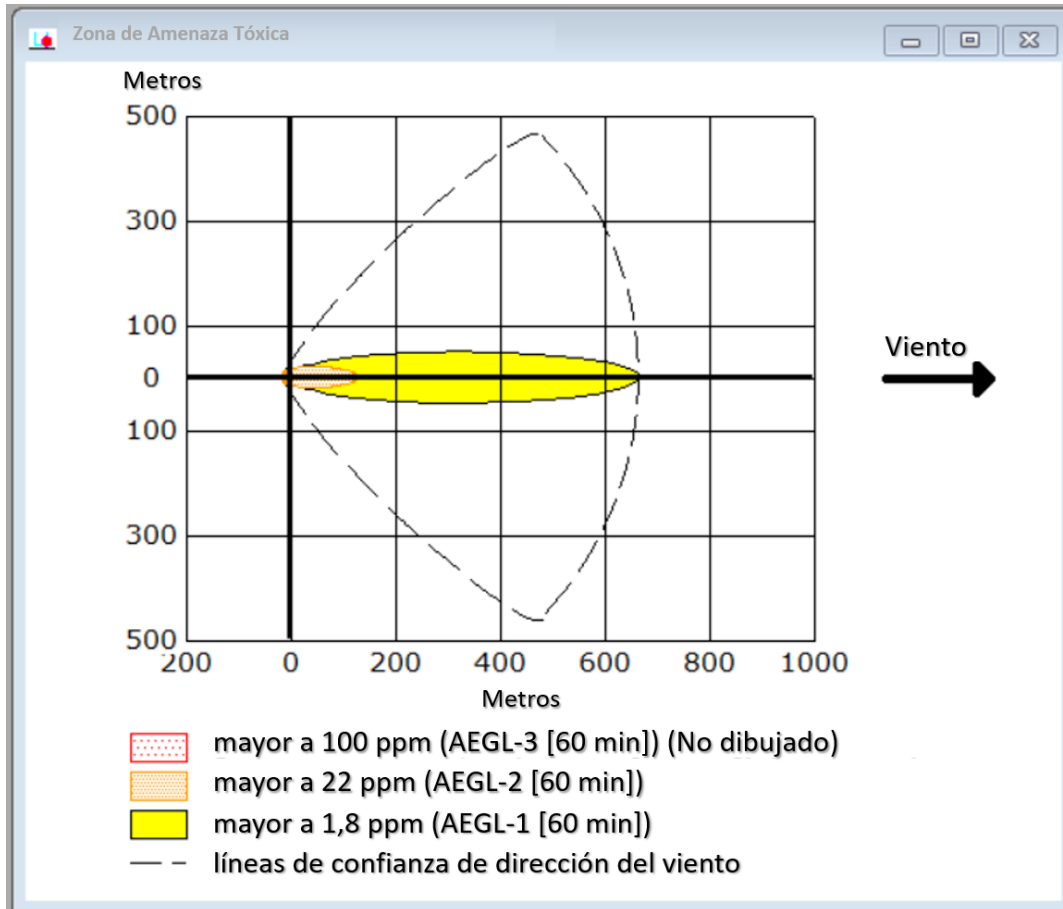


Figura 4. 22 Zona de amenaza tóxica para ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.

La figura 4.23 muestra la tasa de evaporación del charco de ácido clorhídrico al 32% en condiciones de invierno. Presenta 5 intervalos de tiempo de 12 minutos. Las tasas de evaporación para los 5 intervalos son respectivamente $5,8 \left[\frac{kg}{min} \right]$, $5,7 \left[\frac{kg}{min} \right]$, $5,6 \left[\frac{kg}{min} \right]$, $5,5 \left[\frac{kg}{min} \right]$ y $5,4 \left[\frac{kg}{min} \right]$. Al cabo de una hora, se ha evaporado 336 kg sustancia, equivalente al 1,2% de la masa total del charco.

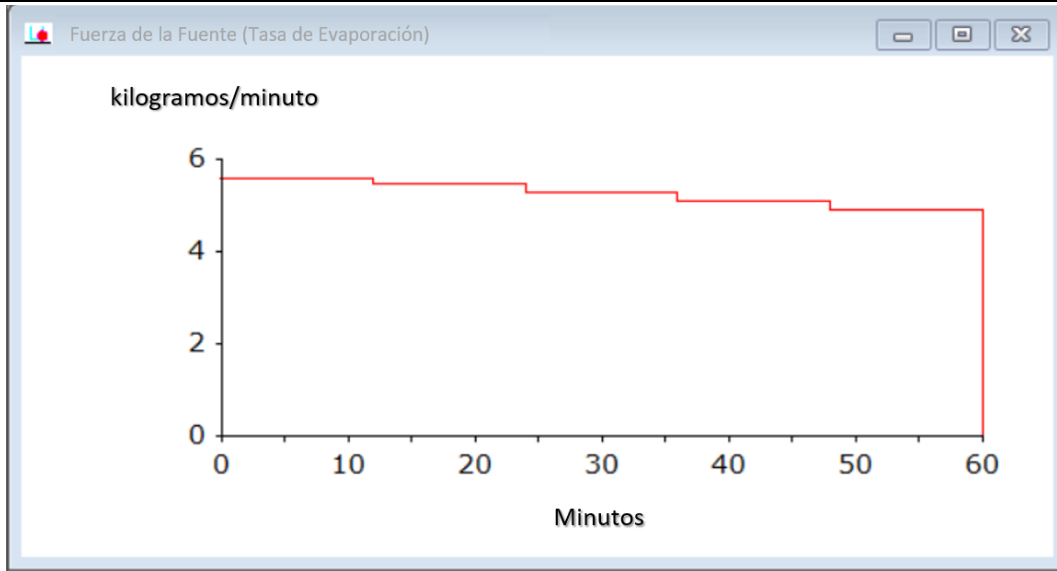


Figura 4. 23 Tasa de evaporación para charco de ácido clorhídrico al 32%. Condiciones invierno.

La Figura 4.24 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico al 32% en condiciones de invierno en los puntos críticos 3 y 4 correspondientes a avenida *Paicavi* y avenida *Jorge Alessandri* con *21 de mayo*.



Figura 4. 24 Mapa de peligro para escenario de derrame de ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.



Las diferencias a partir de las condiciones invierno/verano se pueden resumir en la tabla 4.7.

Tabla 4. 7 Resumen de escenarios para ácido clorhídrico 32%. Condiciones invierno y verano.

Ácido Clorhídrico 32%	Condición	
	Invierno	Verano
LOC máximo alcanzado	LOC2	LOC3
Longitud máxima pluma [m]	665	645
Ancho máximo pluma [m]	98	120
Porcentaje masa evaporada en 1 hora	1,2	1,8

- Metanol

La figura 4.25 muestra la configuración utilizada para los escenarios de Metanol. En este caso, ALOHA calcula que tanto para condiciones de invierno y verano la sustancia no alcanza el punto de ignición, por lo que se desestima cualquier escenario inflamable.

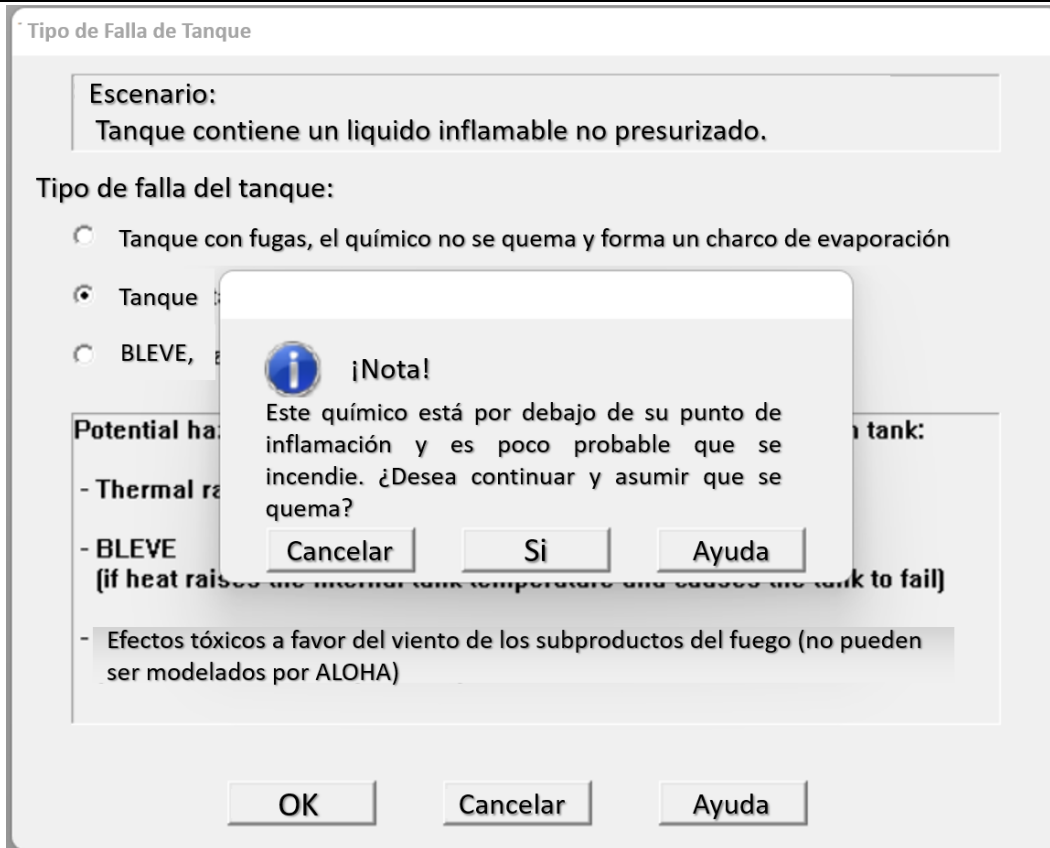


Figura 4. 25 Configuración software ALOHA para escenarios de Metanol. Condiciones biestacionales.

Al descartar cualquier escenario inflamable, se procedió a graficar escenarios de evaporación tóxica de un vertido de metanol. La figura 4.26 muestra que no es posible obtener una gráfica a partir de un modelo gaussiano, por lo que se desestimaría cualquier escenario de Metanol un posterior análisis de riesgo.

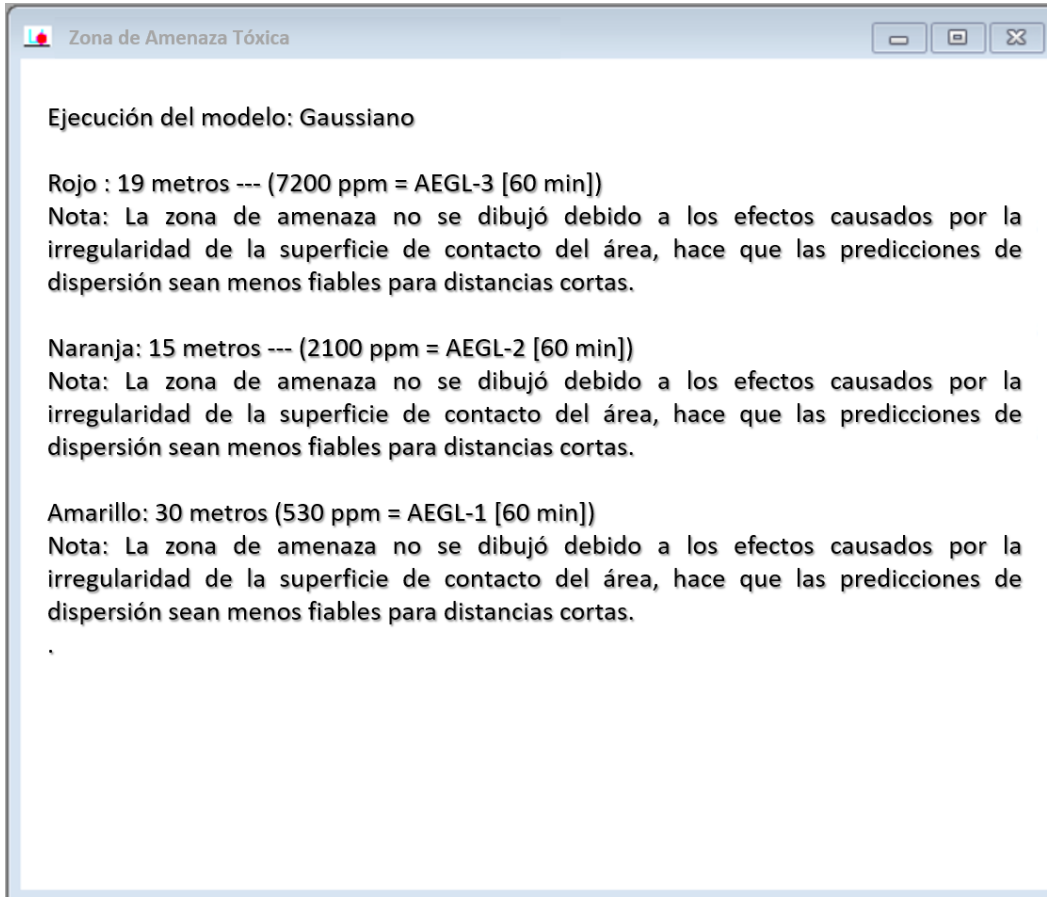


Figura 4. 26 Zona de amenaza tóxica para escenario de evaporación de charco para Metanol. Condiciones biestacionales.

- Gas Cloro

De acuerdo a las condiciones de transporte, un camión estándar contiene unos 19.000 kg de cloro gaseoso. El software ALOHA calcula que un accidente grave con cloro gaseoso generaría un escenario de nube de gas pesado. La figura 4.27 grafica una dispersión de gas pesado de cloro en condiciones de verano. La gráfica muestra que la pluma alcanza concentraciones superiores a los 20 ppm (LOC3) a una distancia máxima de 960 metros y un ancho máximo de 220 metros. La pluma alcanza concentraciones superiores a los 2 ppm (LOC2) a una distancia máxima de 3100 metros y un ancho máximo de 620 metros. La pluma alcanza concentraciones superiores a los 0,5 ppm (LOC1) a una distancia máxima de 5800 metros y un ancho máximo de 1140 metros.

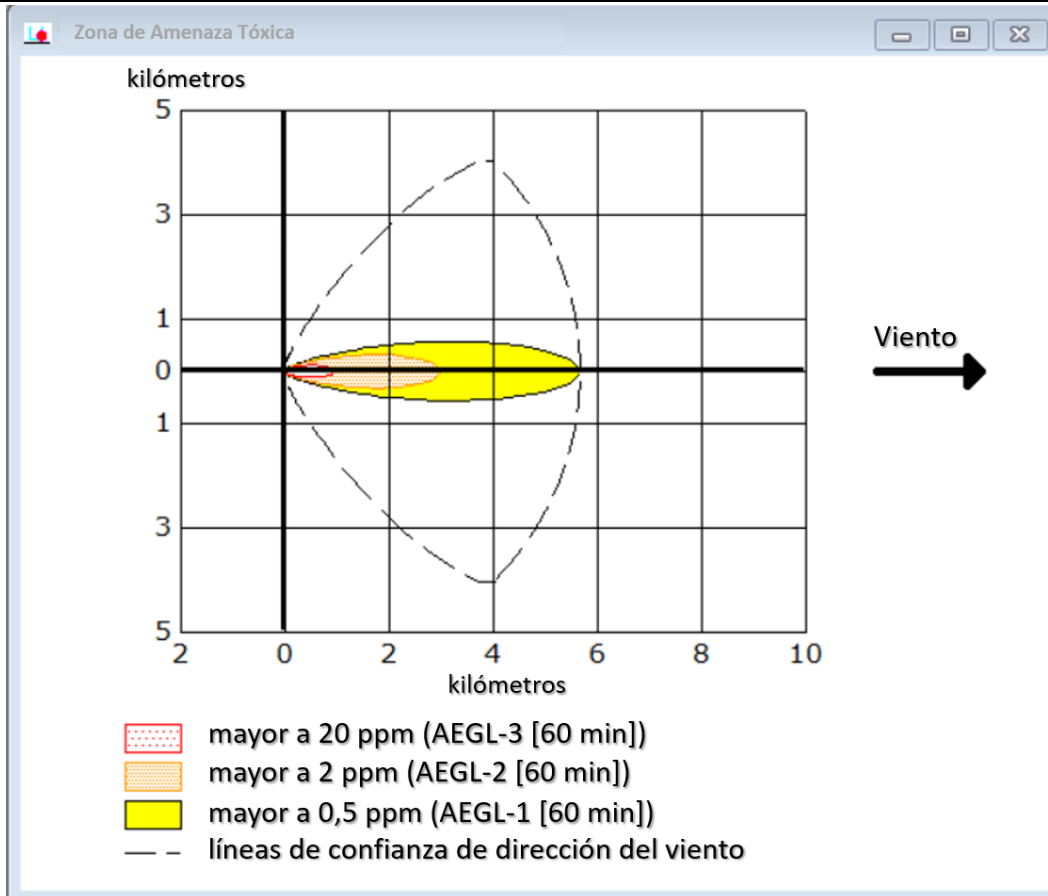


Figura 4. 27 zona de amenaza tóxica para gas cloro. Condición verano.

La figura 4.28 muestra la tasa de liberación de gas pesado cloro en condiciones de verano. Presenta 5 intervalos de tiempo en el siguiente orden; 4 min, 5 min, 8 min, 11 min y 21 min. Las tasas de liberación de gas para los 5 intervalos son respectivamente $150 \left[\frac{kg}{min} \right]$, $120 \left[\frac{kg}{min} \right]$, $80 \left[\frac{kg}{min} \right]$, $60 \left[\frac{kg}{min} \right]$ y $25 \left[\frac{kg}{min} \right]$. Al cabo de 50 min, se han liberado 3.025 kg de gas cloro, equivalente al 15,9% del total transportado.

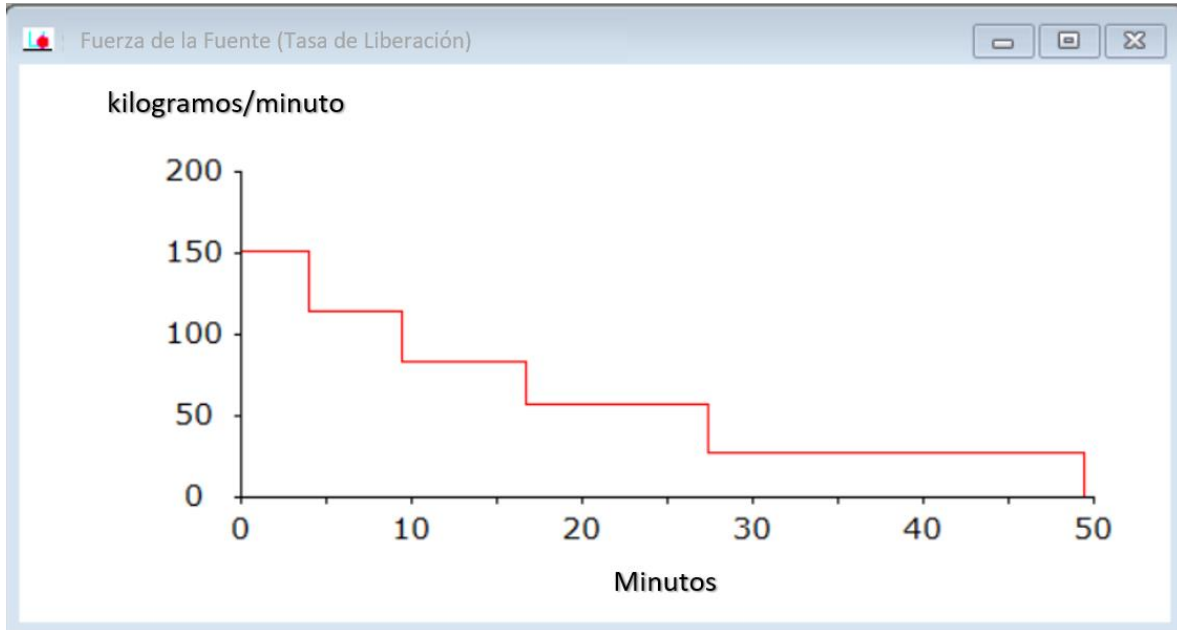


Figura 4. 28 Tasa de liberación para escenario gas cloro. Condición verano.

La Figura 4.29 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de dispersión de gas pesado cloro en condiciones de verano, ubicado en el punto crítico 3 correspondiente a avenida *Paicavi*.

alcanza concentraciones superiores a los 0,5 ppm (LOC1) a una distancia máxima de 6900 metros y un ancho máximo de 930 metros.

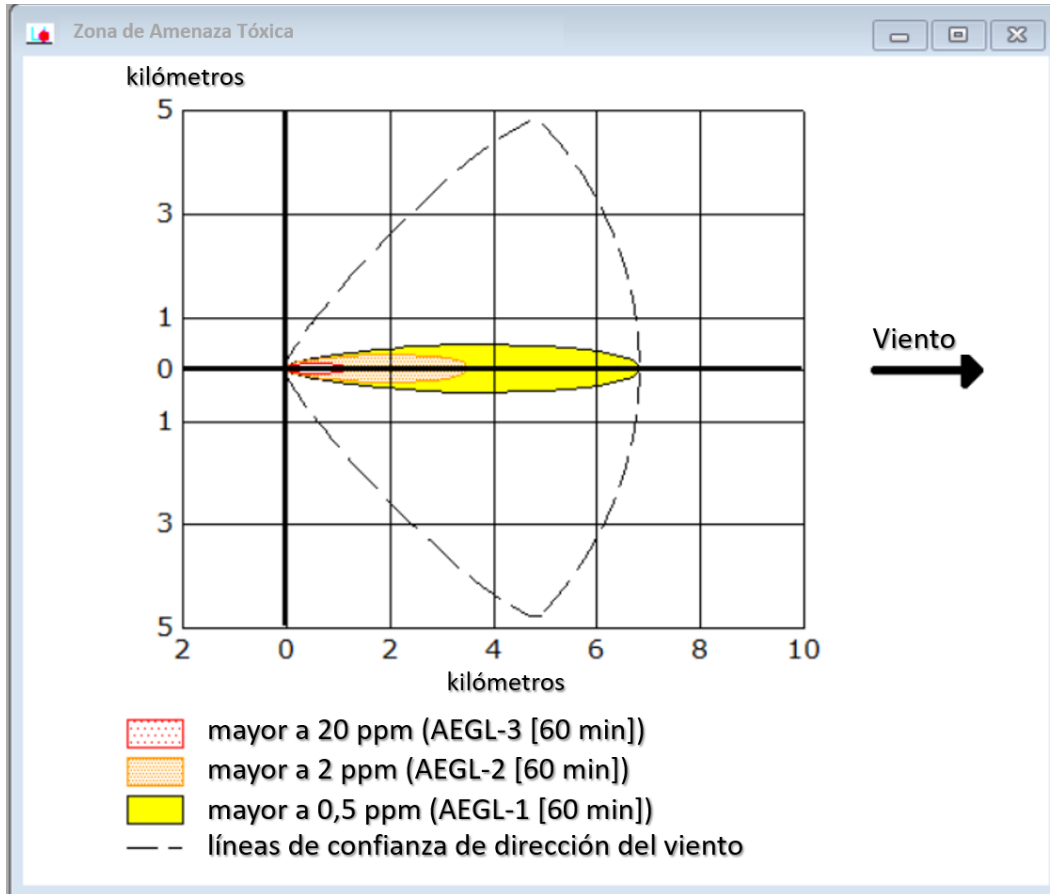


Figura 4. 30 Zona de amenaza tóxica para gas cloro. Condición invierno.

La figura 4.31 muestra la tasa de liberación de gas pesado cloro en condiciones de invierno. Presenta 5 intervalos de tiempo en el siguiente orden; 4 min, 6 min, 7 min, 11 min y 22 min. Las tasas de liberación de gas para los 5 intervalos son respectivamente $125 \frac{kg}{min}$, $100 \frac{kg}{min}$, $75 \frac{kg}{min}$, $50 \frac{kg}{min}$ y $25 \frac{kg}{min}$. Al cabo de 50 min, se han liberado 2.725 kg de gas cloro, equivalente al 14,3% del total transportado.

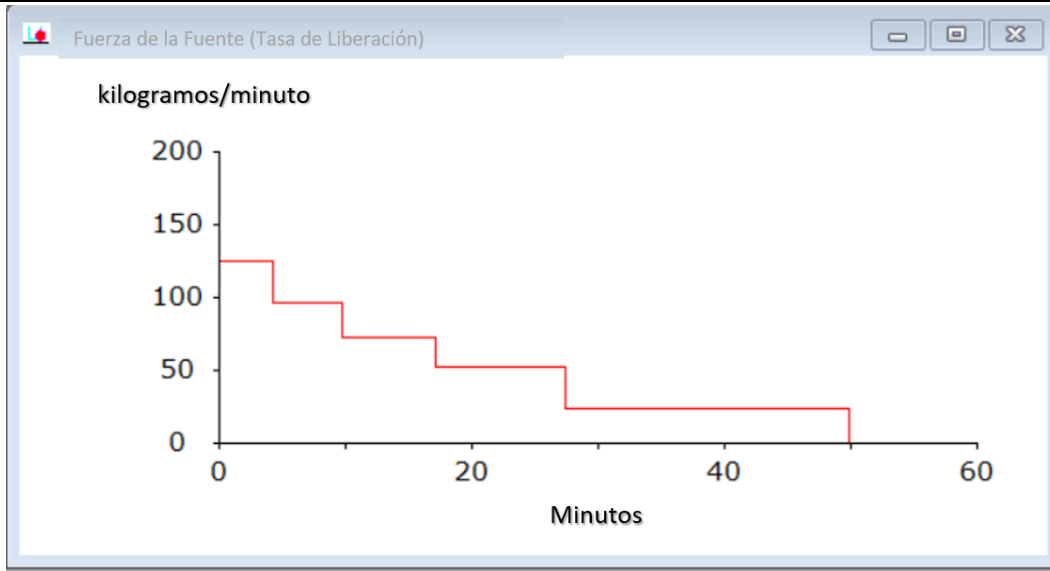


Figura 4. 31 Tasa de liberación para escenario gas cloro. Condición invierno.

La Figura 4.32 muestra el mapa de peligro asociado al escenario de dispersión de gas pesado cloro en condiciones de invierno, ubicado en el punto crítico 3 correspondiente a avenida *Paicavi*.

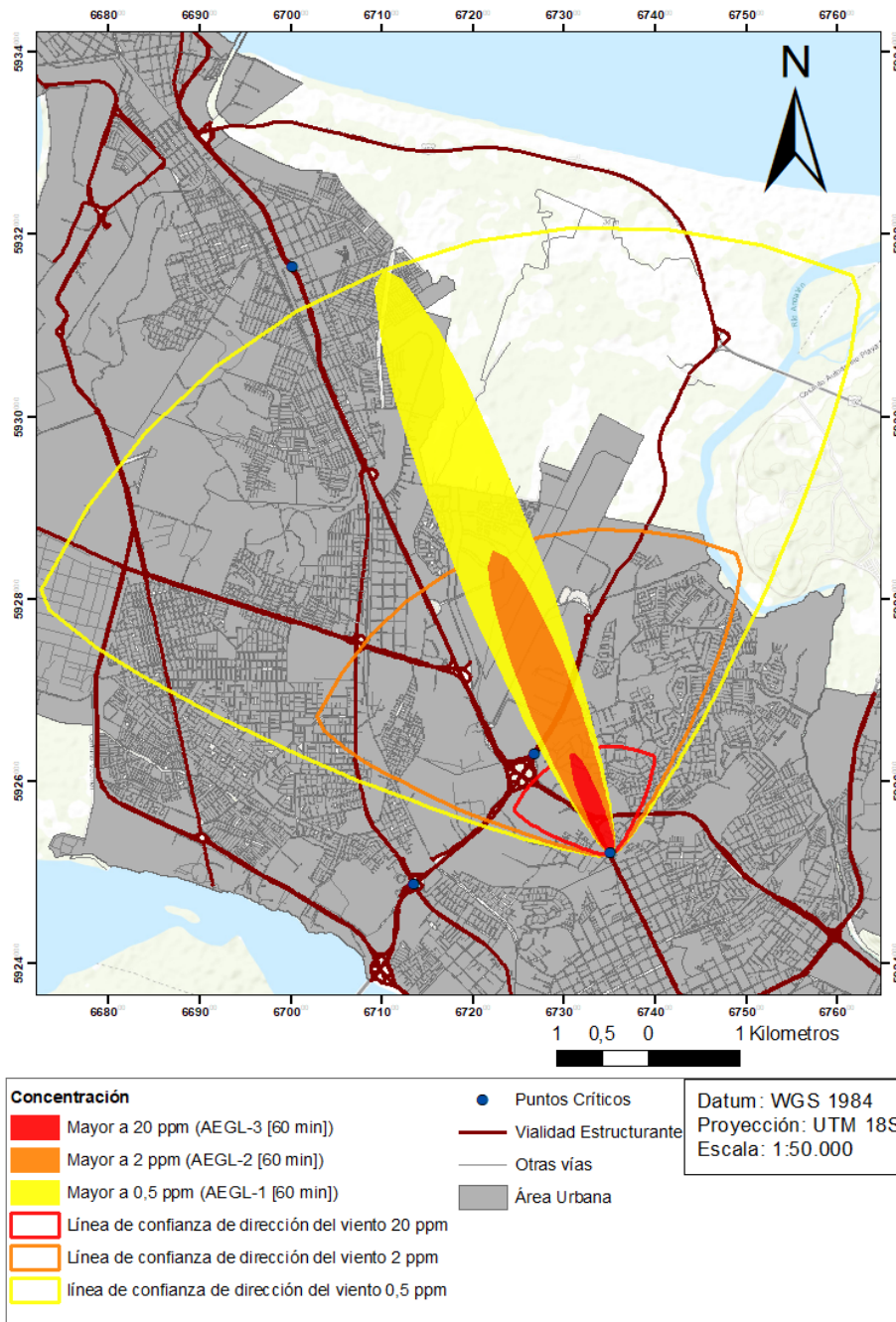


Figura 4. 32 Mapa de peligro para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición invierno.

Las diferencias a partir de las condiciones invierno/verano para los escenarios de gas cloro se pueden resumir en la tabla 4.8.

**Tabla 4. 8 Resumen escenarios para gas pesado cloro. Condiciones invierno y verano.**

Gas Cloro	Condición	
	Invierno	Verano
LOC máximo alcanzado	LOC3	LOC3
Longitud máxima pluma [m]	6.900	5.800
Ancho máximo pluma [m]	930	1.140
Porcentaje masa liberada en 50 min [%]	14,3	15,9

Luego de la selección de sustancias, la obtención de los puntos críticos en las rutas declaradas y los escenarios seleccionados por ALOHA y el algoritmo HB, se formula la siguiente tabla resumen. La Tabla 4.9 muestra los escenarios seleccionados en cada uno de los puntos críticos para condiciones biestacionales.

Tabla 4.9 Resumen de escenarios seleccionados siguiendo el algoritmo *Hazard Based* y base de datos ALOHA.

ID Punto Crítico	Invierno		Verano	
	Sustancia	Escenario	Sustancia	Escenario
1	Propano	BLEVE	Propano	BLEVE
2	Propano	BLEVE	Propano	BLEVE
	Peróxido de Hidrógeno	Dispersión Gaussiana	Peróxido de Hidrógeno	Dispersión Gaussiana
	Metanol	N/C*	Metanol	Incendio Charco
3	Propano	BLEVE	Propano	BLEVE
	Ácido Clorhídrico	Derrame volátil	Ácido Clorhídrico	Derrame volátil
	Cloro	Dispersión gas pesado	Cloro	Dispersión gas pesado
4	Propano	BLEVE	Propano	BLEVE
	Peróxido de Hidrógeno	Dispersión Gaussiana	Peróxido de Hidrógeno	Dispersión Gaussiana
	Ácido Clorhídrico	Derrame volátil	Ácido Clorhídrico	Derrame volátil
	Metanol	N/C*	Metanol	Incendio Charco
5	Propano	BLEVE	Propano	BLEVE

Nota: *N/C; Modelo no calcula o no cumple condiciones físicas.

4.3. Análisis de exposición de la población e infraestructura crítica asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas.



A continuación, se muestran los resultados y la distribución territorial por unidad urbana de los distintos factores de exposición calculados en el presente estudio.

La figura 4.33 muestra dos mapas (a,b,c,d), cada uno con los respectivos valores de exposición para intervalos de población [0-5] años, [6-14] años, [15-64] años y [65-+] años. De un total de 26.115 infantes entre [0-5] años, el 45,5% habita en la comuna de Concepción, un 34,9% en la comuna de Talcahuano y un 19,7% en Hualpén. De un total de 40.750 menores entre [6-14] años, el 43% habita en Concepción, el 36,4% en Talcahuano y el 20,6% en Hualpén. De un total de 312.501 jóvenes y adultos entre [15-64] años, el 48,3% habita en la comuna de Concepción, un 32,4% en la comuna de Talcahuano y un 19,3% en Hualpén. De un total de 52.195 adultos mayores a 64 años, el 48,4% habita en Concepción, el 32,1% en Talcahuano y el 19,5% en Hualpén. La distribución territorial de cada uno de los intervalos se muestra en la tabla 4.10.

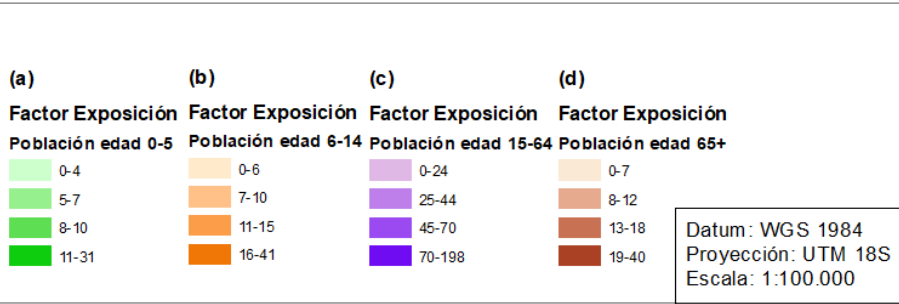
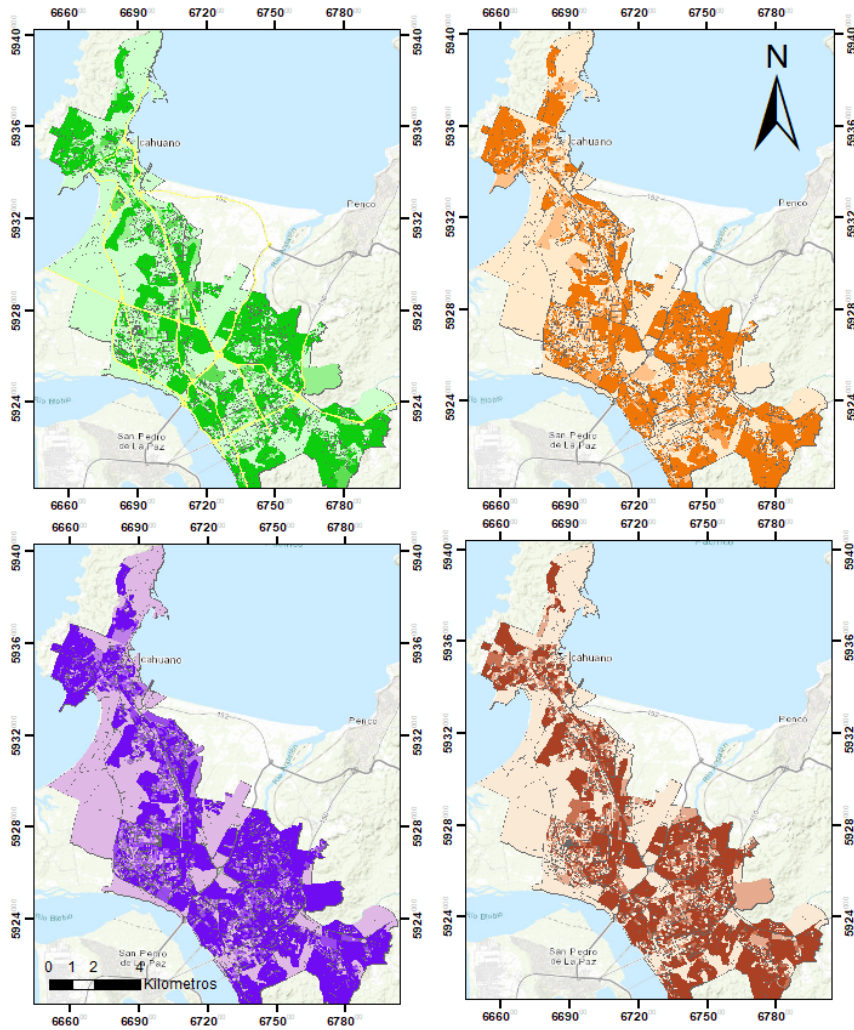


Figura 4. 33 Mapas de exposición por unidad urbana: (a) intervalos población 0-5 años; (b) intervalos población 6-14 años; (c) intervalos población 15-64 años; (d) intervalos población 65+ años.

La figura 4.34 muestra dos mapas (a,b). El primero, considera el factor de exposición por intervalos de números de vivienda por unidad urbana. De un total de 161.368 viviendas dentro de la intercomuna, el 50,9% se encuentran en Concepción, el 30,7% en Talcahuano y el 18,4% en Hualpén. La distribución territorial de cada uno de los intervalos se muestra en la tabla 4.10.



El segundo mapa, muestra la distribución territorial de la infraestructura crítica considerada en el estudio. De 443 infraestructuras críticas identificadas; 247 son establecimientos educacionales públicos/privados, 47 establecimientos JUNJI, 22 compañías de Bomberos, 6 unidades de PDI, 6 cuarteles de Carabineros, 57 estaciones de servicio, 4 estructuras portuarias, 38 establecimientos de atención primaria del SNSS, 4 establecimientos de atención secundaria del SNSS, 3 establecimientos de atención terciaria del SNSS, 2 directorios del SNSS y 7 establecimientos de atención de salud no pertenecientes al SNSS. La distribución de la infraestructura se puede ver en la tabla 4.10

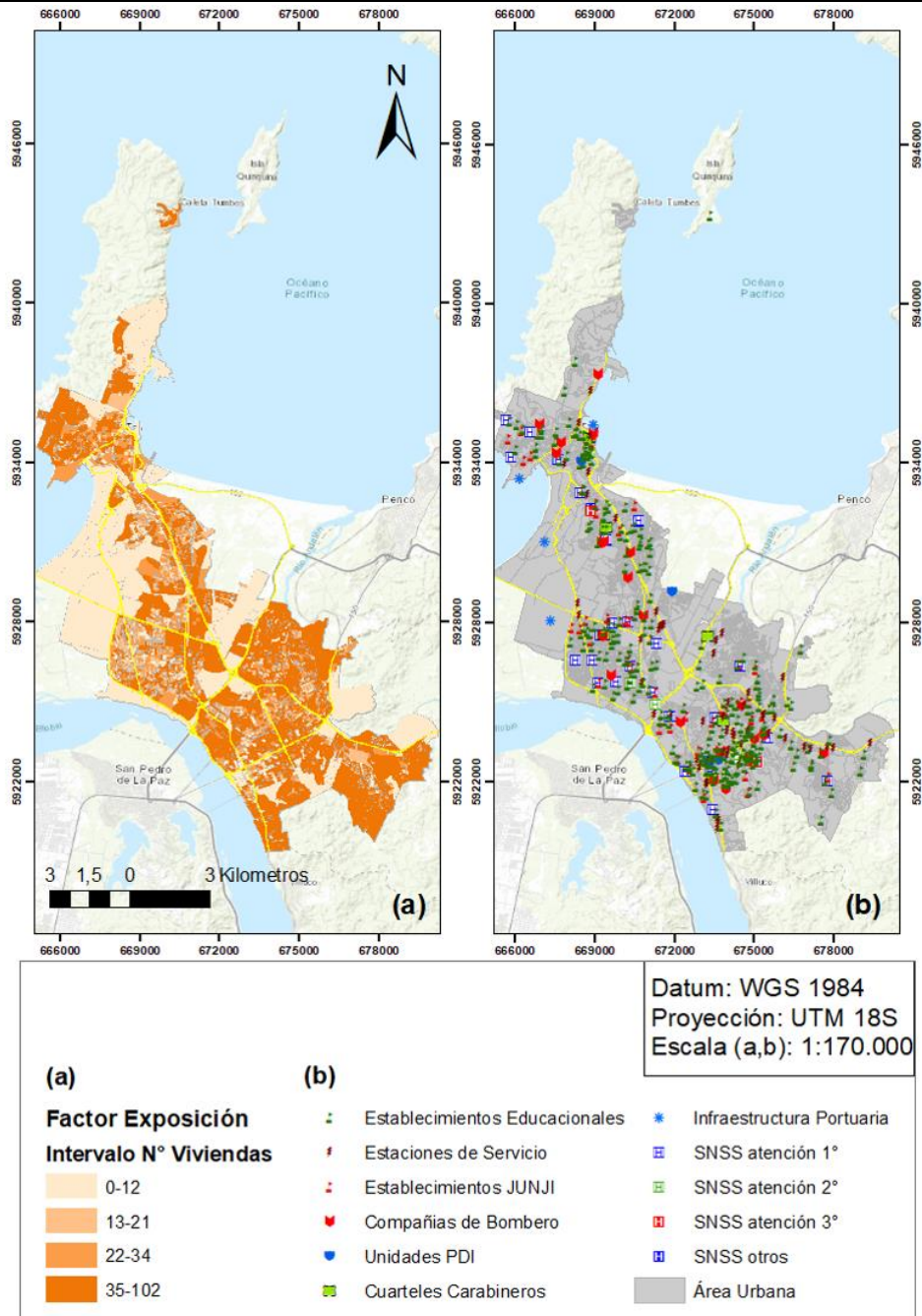


Figura 4. 34 Mapas de exposición por unidad urbana: (a) intervalo N° de Viviendas; (b) presencia de infraestructura crítica.

Podemos observar que la comuna de Concepción posee el 53,3% del total de infraestructuras críticas, seguido por Talcahuano con el 31,2% y Hualpén con el 15,3%.



Tabla 4. 10 Distribución territorial de infraestructura crítica dentro de la intercomuna

Infraestructura Crítica	Comuna			Total Inf.	Porcentaje
	Concepción	Talcahuano	Hualpén		
Establecimientos Educativos	136	73	38	247	56%
Estaciones De Servicio	40	14	3	57	13%
Establecimientos JUNJI	21	16	10	47	11%
Compañías De Bomberos	10	10	2	22	5%
Unidades PDI	4	2	0	6	1%
Cuarteles De Carabineros	3	2	1	6	1%
Infraestructura Portuaria	0	3	1	4	1%
SNSS Atención 1°	14	13	10	37	8%
SNSS Atención 2°	2	0	2	4	1%
SNSS Atención 3°	2	1	0	3	1%
SNSS Otros	1	1	0	2	0%
No SNSS Atención 3°	3	3	1	7	2%
Total General	236	138	68	442	100%

La tabla 4.11 muestra cómo se distribuyen territorialmente dentro de la intercomuna Concepción, Talcahuano, Hualpén los intervalos de cada uno de los factores de exposición a excepción de la infraestructura crítica. La intercomuna comprende un total de 4.730 unidades urbanas o manzanas. De las cuales un 36,7% de las manzanas se ubican en la comuna de Concepción, un 38,8% en Talcahuano y un 24,5% corresponden a la comuna de Hualpén.

Tabla 4. 11 Distribución de factores de exposición por unidad urbana dentro de la intercomuna Concepción, Talcahuano, Hualpén.

Factor de Exposición	Intervalo	N° manzanas			Porcentaje
		Concepción	Talcahuano	Hualpén	
Población 0-5 años	0-4	1036	1137	752	62%
	5-7	263	331	176	16%
	8-10	148	177	93	9%
	11-31	287	193	137	13%
	Total factor	1734	1838	1158	100%
Población 6-14 años	0-6	994	1055	666	57%
	7-10	277	316	188	17%



	11-15	181	225	155	12%
	16-41	282	242	149	14%
	Total factor	1734	1838	1158	100%
Población 15-64 años	0-24	422	501	266	25%
	25-44	398	454	372	26%
	45-70	327	511	319	24%
	71-198	587	372	201	25%
	Total factor	1734	1838	1158	100%
Población 65+ años	0-7	726	934	610	48%
	8-12	312	375	234	19%
	13-18	269	299	172	16%
	19-40	427	230	142	17%
	Total factor	1734	1838	1158	100%
N° viviendas	0-12	420	496	267	25%
	13-21	383	471	412	27%
	22-34	349	522	287	24%
	35-102	582	349	192	24%
	Total factor	1734	1838	1158	100%

Teniendo en cuenta todos los factores de exposición dentro del área de estudio, se calculó la exposición acumulada para cada una de las manzanas urbanas fijando valores ascendentes 1 a 4. La figura 4.35 muestra el mapa de exposición acumulada por unidad urbana considerando todos los factores de exposición del capítulo 4.3. con sus respectivos pesos asociados.

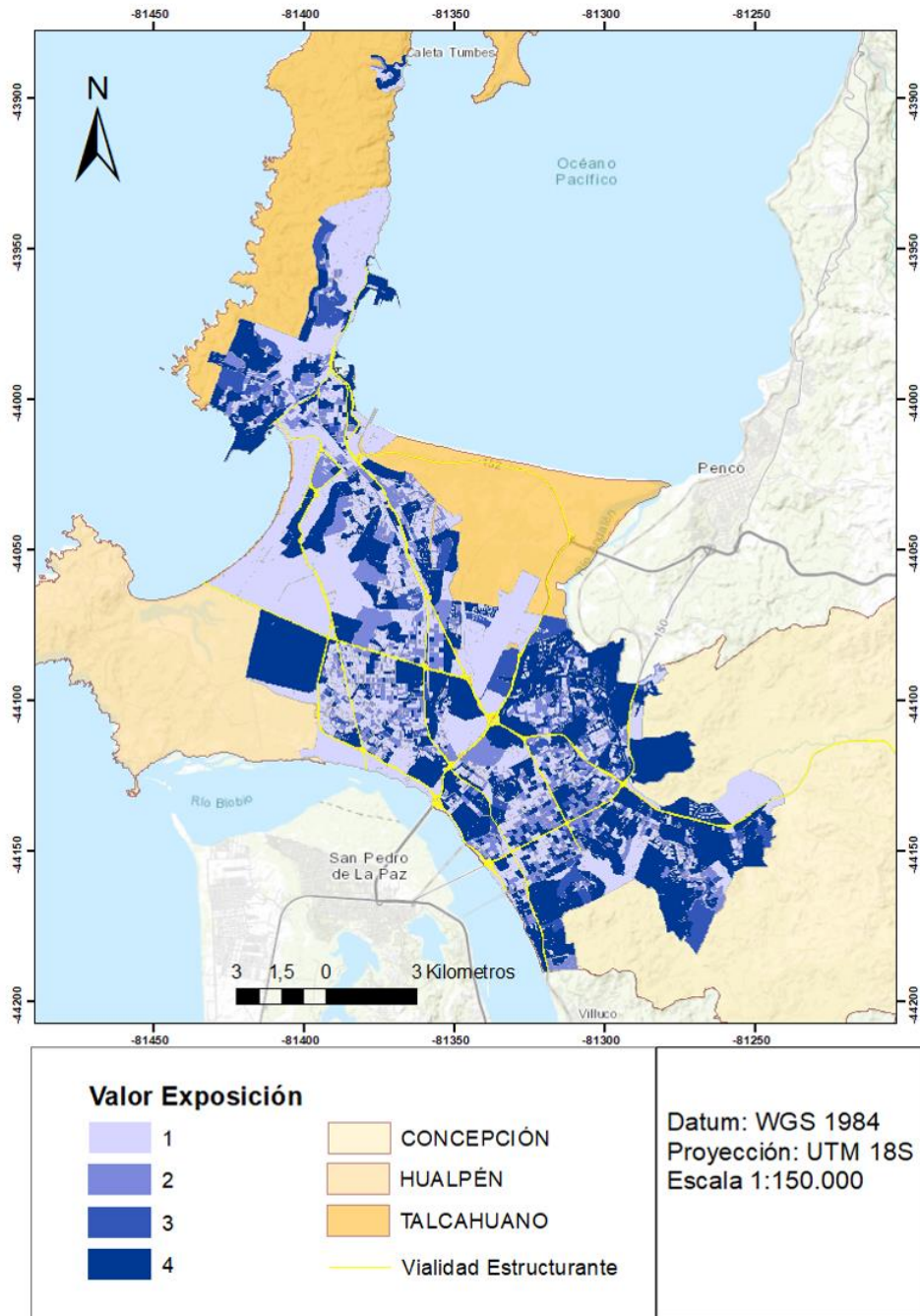


Figura 4. 35 Mapa de exposición acumulada dentro del área de estudio.

La Tabla 4.12 muestra cómo se distribuyen los datos de exposición acumulada por unidad urbana dentro de la intercomuna. Para el valor de exposición acumulada [1] considerado [Bajo] abarca un 65,7% del total de unidades urbanas, siendo Talcahuano la comuna menos expuesta al tener un 26,9% de todos los valores de exposición considerados bajos. Para el valor de exposición acumulada [2] considerado [Medio] abarca un 21,6% del total de unidades urbanas. El valor de



exposición acumulada [3] considerado [Alto] es el menor dentro del territorio, con un 3,2% del total de unidades urbanas. El valor de exposición acumulada [4] considerado [Muy Alto] abarca un 9,5% del total de las unidades urbanas dentro de la intercomuna, siendo Concepción la comuna más expuesta con un 5,2% del total de unidades urbanas.

Tabla 4. 12 Resumen de distribución de datos de exposición dentro de la intercomuna

Valores Exposición	Comuna	Datos	
		N° manzanas	Porcentaje
1	Concepción	997	21,10%
	Hualpén	841	17,80%
	Talcahuano	1270	26,90%
	Total valor 1	3108	65,70%
2	Concepción	401	8,50%
	Hualpén	225	4,80%
	Talcahuano	397	8,40%
	Total valor 2	1023	21,60%
3	Concepción	92	2,00%
	Hualpén	25	0,50%
	Talcahuano	35	0,70%
	Total valor 3	152	3,20%
4	Concepción	244	5,20%
	Hualpén	67	1,40%
	Talcahuano	136	2,90%
	Total valor 4	447	9,50%
Total General		4730	100,00%

Considerando los valores de exposición acumulada [3] y [4] o [Alto] y [Muy Alto], se obtiene un 12,7% del total de unidades urbanas, equivalente a 599 manzanas, Concepción sigue siendo la comuna más expuesta en términos demográficos e infraestructura crítica con un 7,2% del total de unidades urbanas de la intercomuna.

Un segundo análisis más detallado nos permite contrastar los datos de exposición acumulada. La tabla 4.13 muestra la distribución de los datos de exposición acotando en una zona de influencia de 5 cuadras.



Tabla 4. 13 Distribución de datos de exposición dentro de la Intercomuna, acotado a una zona de 5 cuadras.

Valores Exposición	Comuna	Datos	
		N° manzanas	Porcentaje
1	Concepción	707	12,3%
	Hualpén	767	13,3%
	Talcahuano	839	14,6%
	Total valor 1	2313	40,2%
2	Concepción	318	11,0%
	Hualpén	197	6,8%
	Talcahuano	290	10,1%
	Total valor 2	1023	28,0%
3	Concepción	76	4,0%
	Hualpén	23	1,2%
	Talcahuano	22	1,1%
	Total valor 3	121	6,3%
4	Concepción	201	14,0%
	Hualpén	63	4,4%
	Talcahuano	104	7,2%
	Total valor 4	368	25,6%
Total General		3607	100,0%

Para el valor de exposición acumulada [1] considerado [Bajo] abarca un 40,2% de las unidades urbanas acotadas, siendo Talcahuano la comuna menos expuesta al tener un 14,6% de los valores de exposición acotados a la zona de influencia. Para el valor de exposición acumulada [2] considerado [Medio] abarca un 28,0% de las unidades urbanas acotadas. El valor de exposición acumulada [3] considerado [Alto] es el menor dentro del territorio, con un 6,3% de las unidades urbanas acotadas. El valor de exposición acumulada [4] considerado [Muy Alto] abarca un 25,6% de las unidades urbanas acotadas, siendo Concepción la comuna más expuesta con un 14,0% de las unidades urbanas.

La tabla 4.30 muestra la variabilidad de las distribuciones de datos de exposición acumulada por comuna, considerando toda el área de estudio en contraste con la zona de influencia de 5 cuadras.

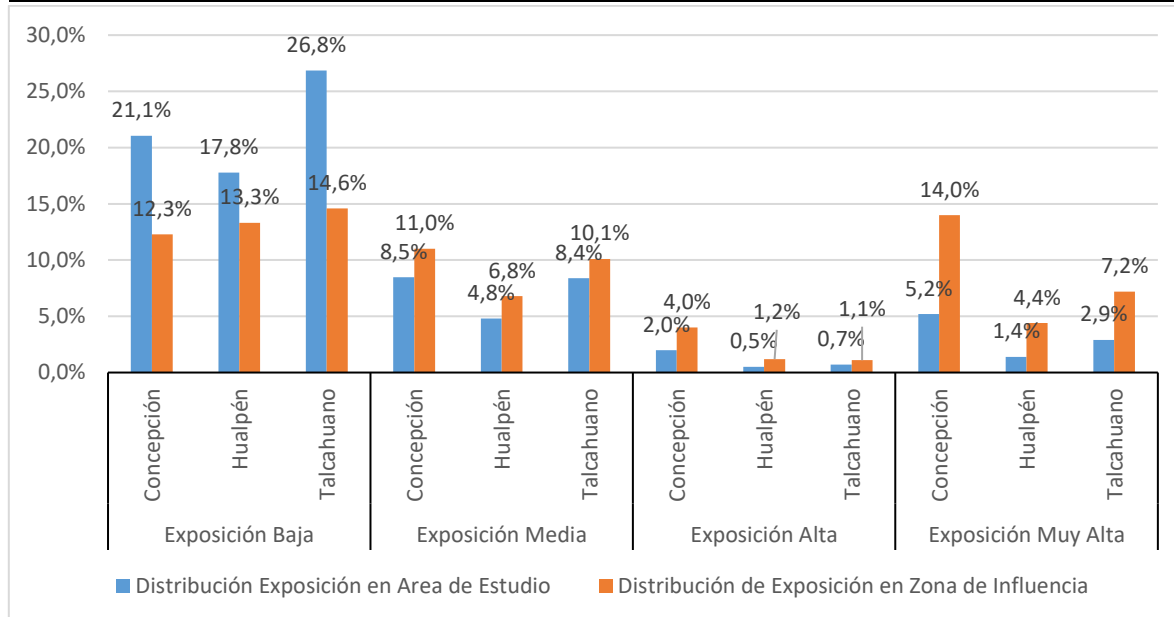


Figura 4. 36 Variación de distribución de datos de exposición acumulada dentro de la intercomuna en contraste con una zona de influencia de 5 cuadras.

Se puede apreciar una disminución del 25,5% en la distribución total de datos de exposición acumulada [1] considerado [Bajo]. La distribución total de valores de exposición acumulada [2] considerado [Medio] aumentan en un 6,2%. La distribución total de valores de exposición acumulada [3] considerado [Alto] aumentan en un 3,1%. La distribución total de datos de exposición acumulada [4] considerado [Muy Alto] aumentan en un 16,1%.

4.4. Evaluación de riesgo químico asociado a escenarios de accidentes graves en el transporte de sustancias peligrosas en la intercomuna.

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de riesgo, donde se contrasta los distintos escenarios seleccionados en el capítulo 4.2 con el mapa de exposición acumulada en el capítulo 4.3.

- Propano

El transporte de GLP (100% propano) se verificó que está presente en toda la vialidad estructurante, en consecuencia, un escenario de accidente grave con propano debe representarse en los 5 puntos críticos identificados. El análisis de riesgo para esta sustancia contempla sobreponer el escenario seleccionado de BLEVE (Figura. 4.12) con el mapa de exposición acumulada (Figura 4.35).



La figura 4.37 muestra un mapa con los valores de riesgo químicos por unidad urbana dentro de la intercomuna. El escenario BLEVE de propano se ajustó a los 5 puntos de la tabla 4.3. Cabe recordar que el escenario BLEVE de propano no se ve afectado por las condiciones biestacionales. De las 4.730 unidades urbanas de la intercomuna, 4.310 (91,1%) estarían fuera de la zona de alta probabilidad de accidentes. Respecto a las 420 manzanas expuestas por el escenario BLEVE estas se distribuyen respectivamente; 238 (57%) en Concepción, 147 (35%) en Talcahuano, 35 (8,3%) en Hualpén. De las cuales, 236 (56%) obtienen un valor de riesgo [bajo], 114 (27,1%) obtienen un valor de riesgo [medio] y 70 (14,9%) obtienen un valor de riesgo [alto].

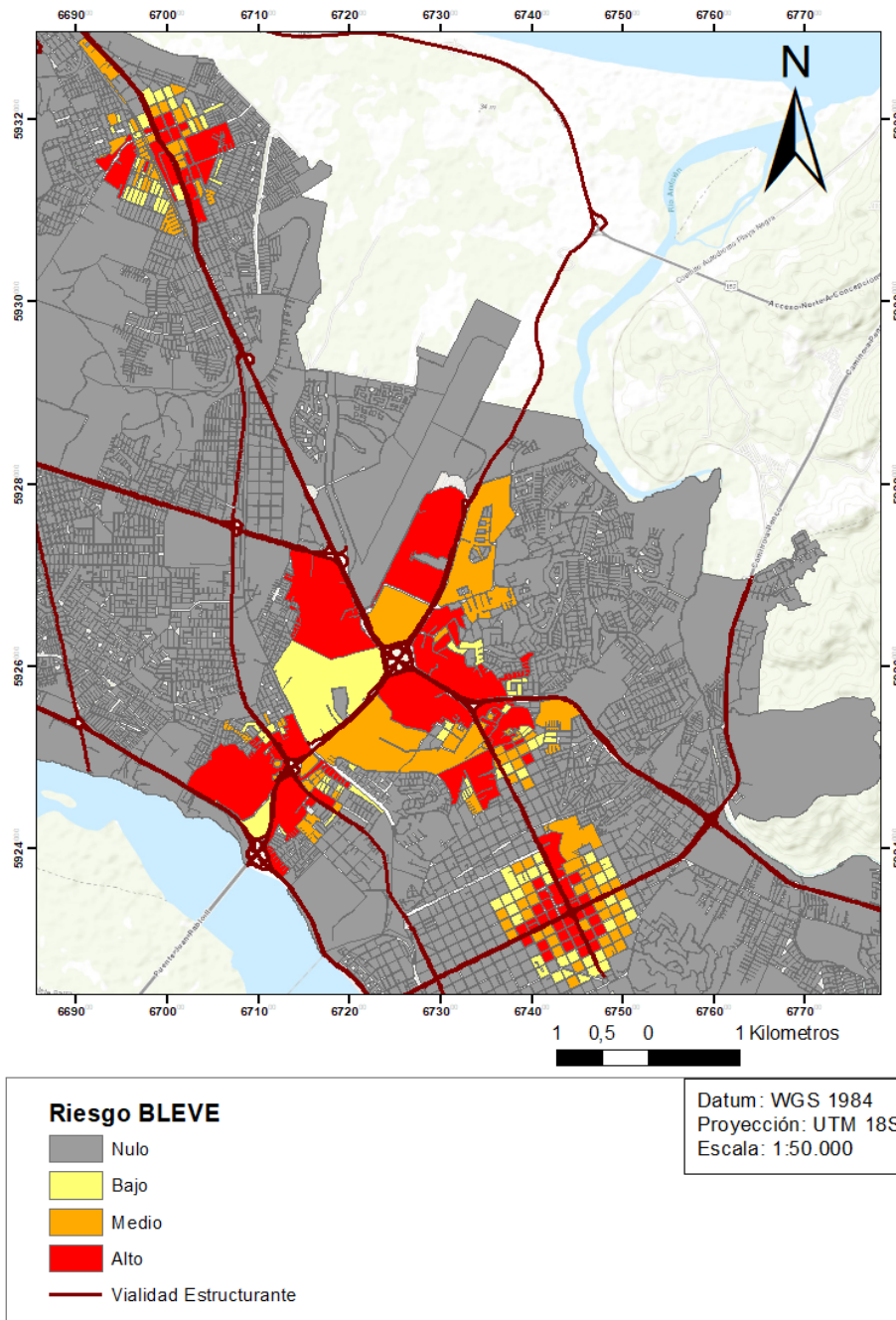


Figura 4. 37 Mapa de riesgo químico para escenario BLEVE propano.

El análisis de infraestructura crítica identifica que, un escenario de BLEVE propano dentro de los cinco puntos críticos potencialmente podría afectar a 44 establecimientos educaciones, 12 estaciones de servicio, 4 establecimientos JUNJI, 2 compañías de bomberos, 2 cuarteles de carabineros, 6 establecimientos SNSS de atención primaria, 2 establecimientos SNSS de atención secundaria, 2 establecimientos de atención terciaria no pertenecientes al SNSS.



- Peróxido de Hidrógeno

El transporte de peróxido de hidrógeno se verificó por la vía Jorge Alessandri. En consecuencia, un escenario de accidente grave con peróxido de hidrógeno debe representarse en los puntos críticos 2 y 4 de la tabla 4.3. El análisis de riesgo para esta sustancia contempla sobreponer los escenarios seleccionados de peróxido de hidrógeno en condiciones invierno y verano (Figura 4.15 y 4.18) con el mapa de exposición acumulada (Figura 4.35). Las zonas de amenaza de los escenarios de peróxido no abarcan mayores distancias que a unas pocas decenas de metros, por lo que para su análisis se simplificó en dos figuras, una para cada condición estacional, invierno y verano.

La figura 4.38 muestra la zona afectada y el riesgo químico por unidad urbana ante un escenario de derrame volátil de peróxido de hidrógeno en condiciones invierno. El escenario afectaría a una manzana en el punto crítico 2, el valor de riesgo asociado se considera [bajo] sin embargo, en dicha unidad urbana se emplaza el complejo comercial “Mall Plaza del Trébol, Talcahuano” lo que representa una aglomeración considerable de personas en el lugar. Respecto al punto crítico 1, la zona de amenaza no tendría contacto con ninguna unidad urbana, sin embargo, la pluma tendría dirección hacia el establecimiento de atención de salud secundaria “Centro Diurno para Personas con Demencia *Kelluwün*, Hualpén” (ver Figura 4.15).

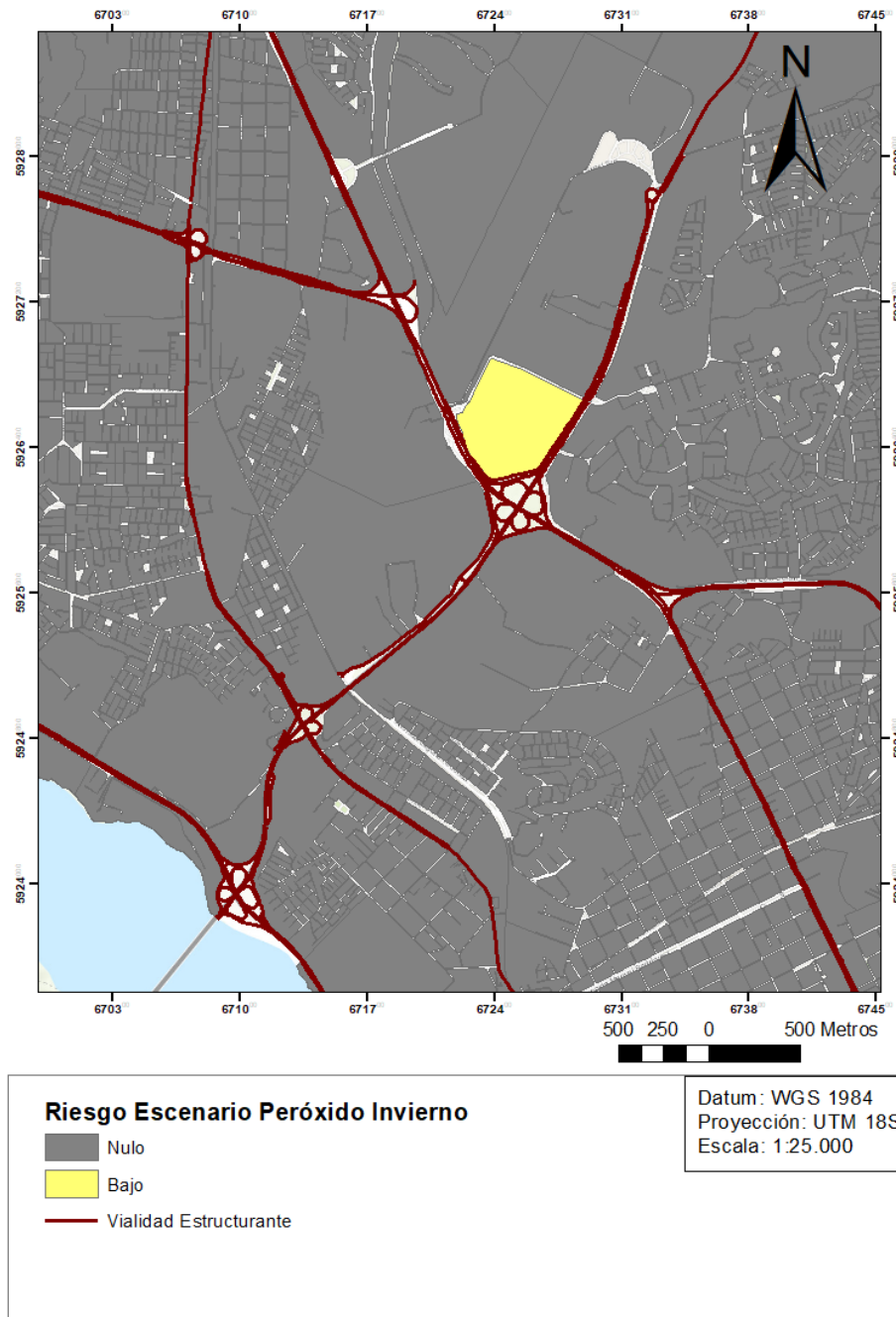


Figura 4. 38 Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de peróxido de hidrógeno. Condición invierno.

La figura 4.39 muestra la zona afectada y el riesgo químico por unidad urbana ante un escenario de derrame volátil de peróxido de hidrógeno en condiciones de verano. El escenario afectaría a dos unidades urbanas en el punto crítico 2, entre ellas están presentes el complejo comercial “Mall Plaza del Trébol, Talcahuano” y los establecimientos educacionales “Universidad Católica de la Santísima Concepción”

y “Duoc UC, Concepción”. Respecto al punto crítico 1, la zona de amenaza no tendría contacto con ninguna unidad urbana, sin embargo, hay que considerar la cercanía del establecimiento de atención de salud secundaria “Centro Diurno para Personas con Demencia *Kelluwün*, Hualpén” (ver Figura 4.15).

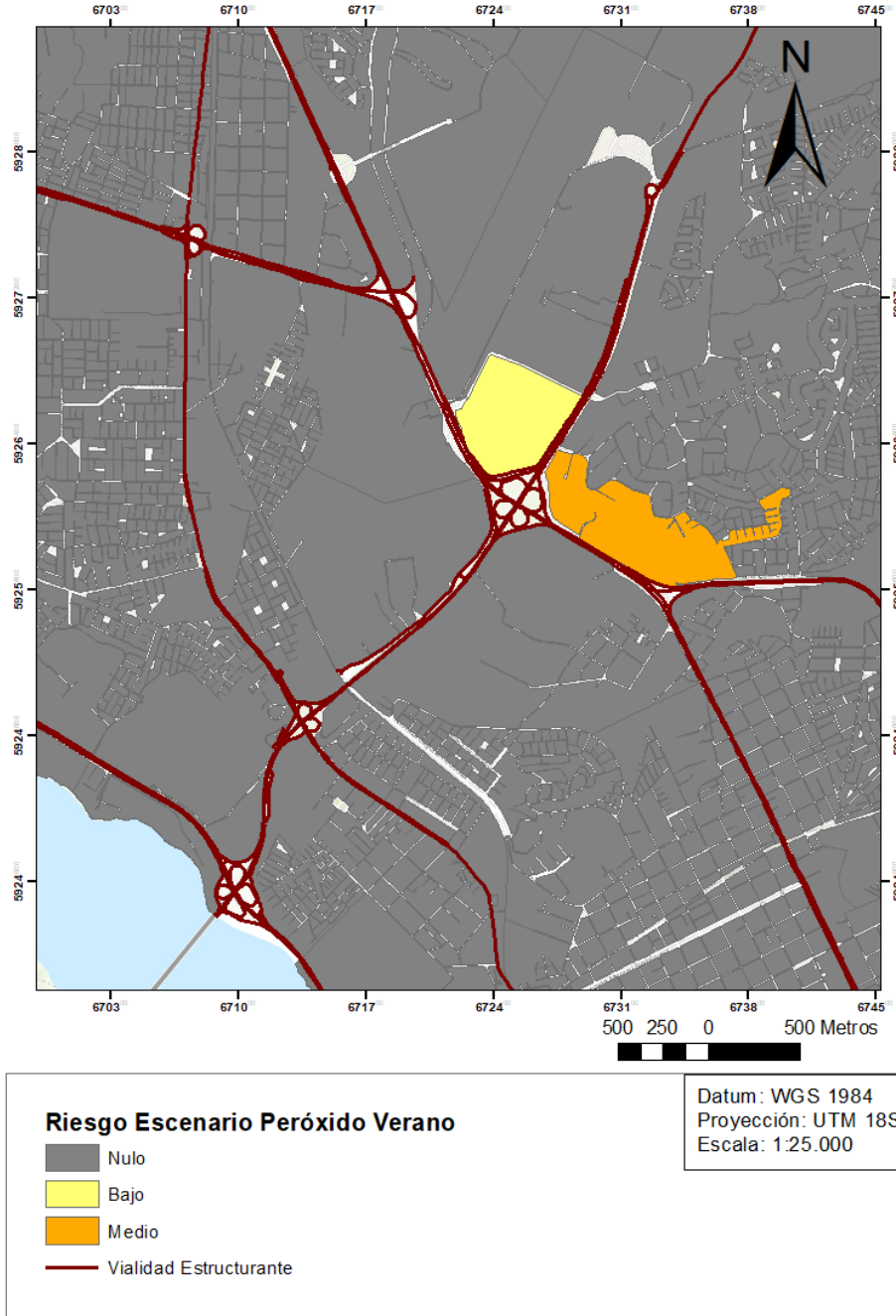


Figura 4. 39 Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de peróxido de hidrógeno. Condición verano.



- Metanol

Bajo las condiciones meteorológicas y de transporte especificadas, ALOHA no puede graficar la zona de amenaza para un escenario de derrame volátil con Metanol en condiciones biestacionales. Por lo que no es posible realizar un análisis de riesgo químico para esta sustancia.

- Ácido Clorhídrico 32%

El transporte de ácido clorhídrico al 32% se verificó que está presente en las vías Jorge Alessandri y Paicaví, en consecuencia, un escenario de accidente grave con ácido clorhídrico al 32% debe representarse en los puntos críticos 3 y 4. El análisis de riesgo para esta sustancia contempla sobreponer el escenario seleccionado de derrame volátil de ácido clorhídrico 32% (Figura. 4.19 y 4.22) con el mapa de exposición acumulada (Figura 4.35). Para cada límite de preocupación (LOC) se considera el área de influencia como indican las líneas de confianza de dirección del viento, de esta forma, el riesgo se calcula para todas las unidades urbanas que entrarían en contacto con el escenario.

La figura 4.40 muestra el riesgo químico por unidad urbana ante un escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico al 32% en condiciones invierno. Un accidente grave de ácido afecta potencialmente a 25 unidades urbanas, estas se distribuyen territorialmente; 12 (48%) en Concepción y 13 (52%) en Hualpén. De las 25 manzanas afectadas; 17 (68%) obtienen un valor de riesgo [bajo], 5 (20%) obtienen un valor de riesgo [medio] y 3 (12%) obtienen un valor de riesgo [alto].

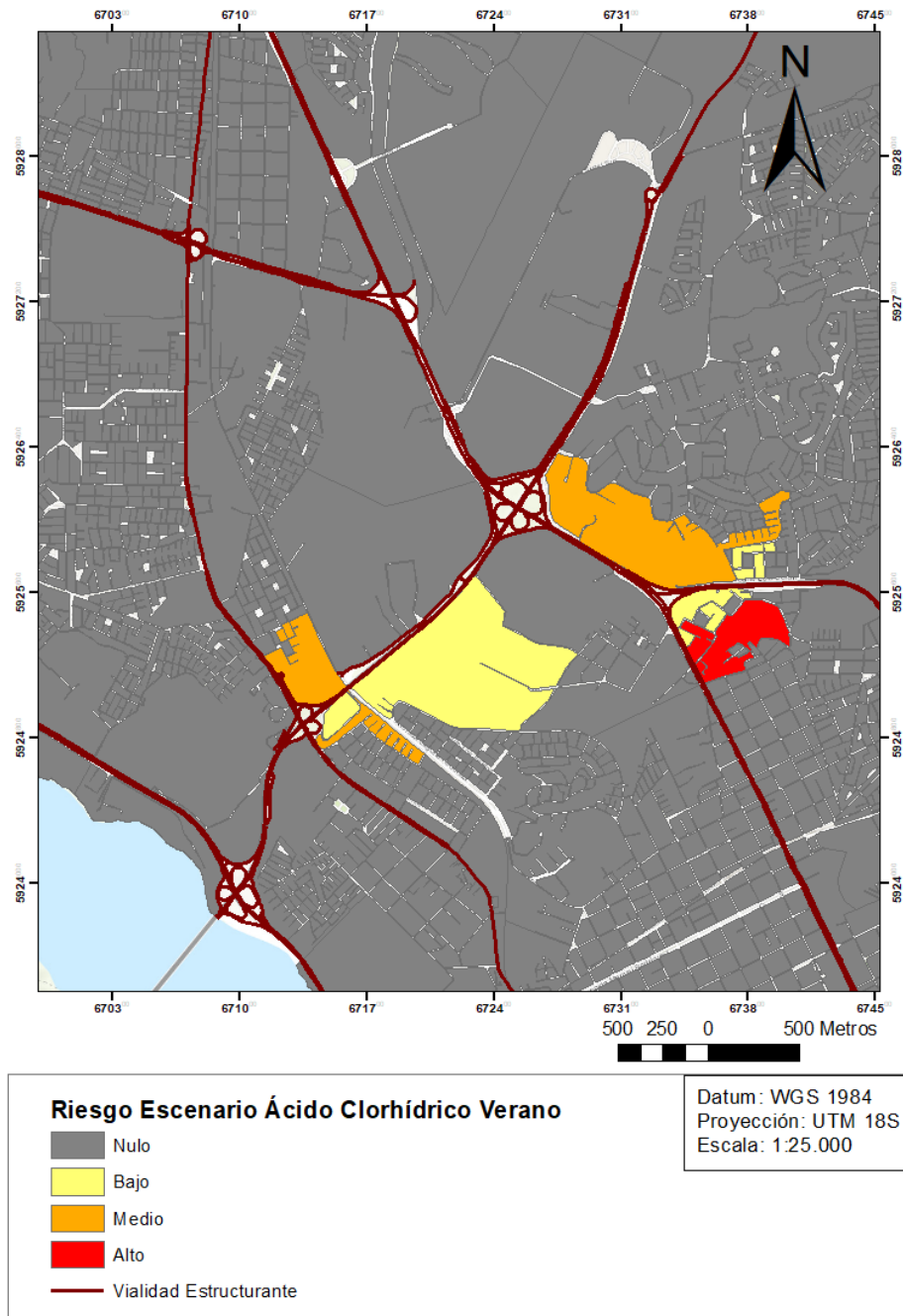


Figura 4. 40 Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico 32%. Condición invierno.

Un análisis de infraestructura crítica en condiciones de invierno identifica que ante el escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico 32%; afectaría a 3 establecimientos educacionales, 1 establecimiento JUNJI, 1 establecimiento SNSS de atención primaria, 1 establecimiento SNSS de atención secundaria y 1 establecimiento de atención terciaria no pertenecientes al SNSS.

La figura 4.41 muestra la zona afectada y el riesgo químico por unidad urbana ante un escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico al 32% en condiciones verano. Un accidente grave de ácido afecta potencialmente a 32 unidades urbanas, estas se distribuyen territorialmente; 22 (68,8%) en la comuna de Concepción y 10 (31,2%) en la comuna de Hualpén. De las 32 manzanas afectadas; 25 (78,1%) obtienen un valor de riesgo [bajo], 5 (15,6%) obtienen un valor de riesgo [medio] y 2 (6,3%) obtienen un valor de riesgo [alto].

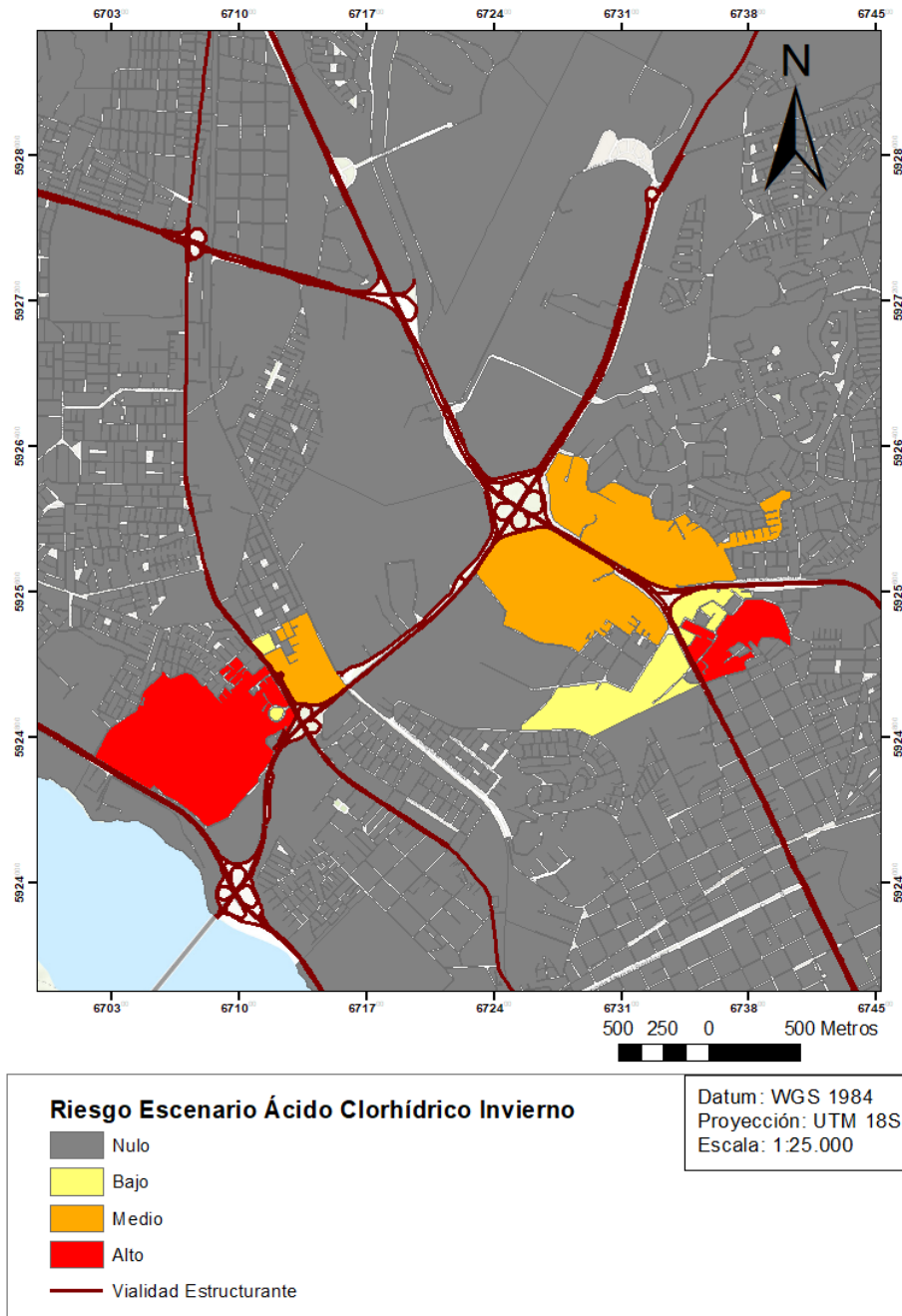


Figura 4. 41 Mapa de riesgo químico para escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico 32%. Condición verano.



Un análisis de infraestructura crítica en condiciones de verano identifica que ante el escenario de derrame volátil de ácido clorhídrico 32%; afectaría a 1 establecimiento educacional, 1 establecimiento JUNJI, 1 establecimiento SNSS de atención primaria y 1 establecimiento de atención terciaria no pertenecientes al SNSS.

- Gas Cloro

El transporte de gas cloro se verificó que está presente en la vía Paicaví siguiendo la ruta hacia General Bonilla, en consecuencia, un escenario de accidente grave con gas cloro debe representarse en el punto crítico 3. El análisis de riesgo para esta sustancia contempla sobreponer los escenarios seleccionados de gas pesado de gas cloro para las condiciones invierno/verano (Figura. 4.27 y 4.30) con el mapa de exposición acumulada (Figura 4.35). Para cada límite de preocupación (LOC) se considera el área de influencia como indican las líneas de confianza de dirección del viento, de esta forma, el riesgo se calcula para todas las unidades urbanas que entrarían en contacto con cada escenario.

La figura 4.42 La figura muestra los valores de riesgo químico por unidad urbana dentro de la intercomuna para un accidente grave con gas cloro en condiciones de invierno. El escenario gas pesado cloro se ajustó al punto crítico 3 descrito en la tabla 4.3. Un accidente grave de gas pesado cloro en condiciones de invierno afectaría potencialmente a 1.460 unidades urbanas, estas se distribuyen territorialmente; 176 (12,1%) en Concepción, 735 (50,3%) en Talcahuano y 549 (37,6%) en Hualpén. De las 1.460 manzanas afectadas; 1237 (84,8%) obtienen un valor de riesgo [Bajo], 153 (10,5%) obtienen un valor de riesgo [Medio] y 66 (4,5%) obtienen un valor de riesgo [Alto].

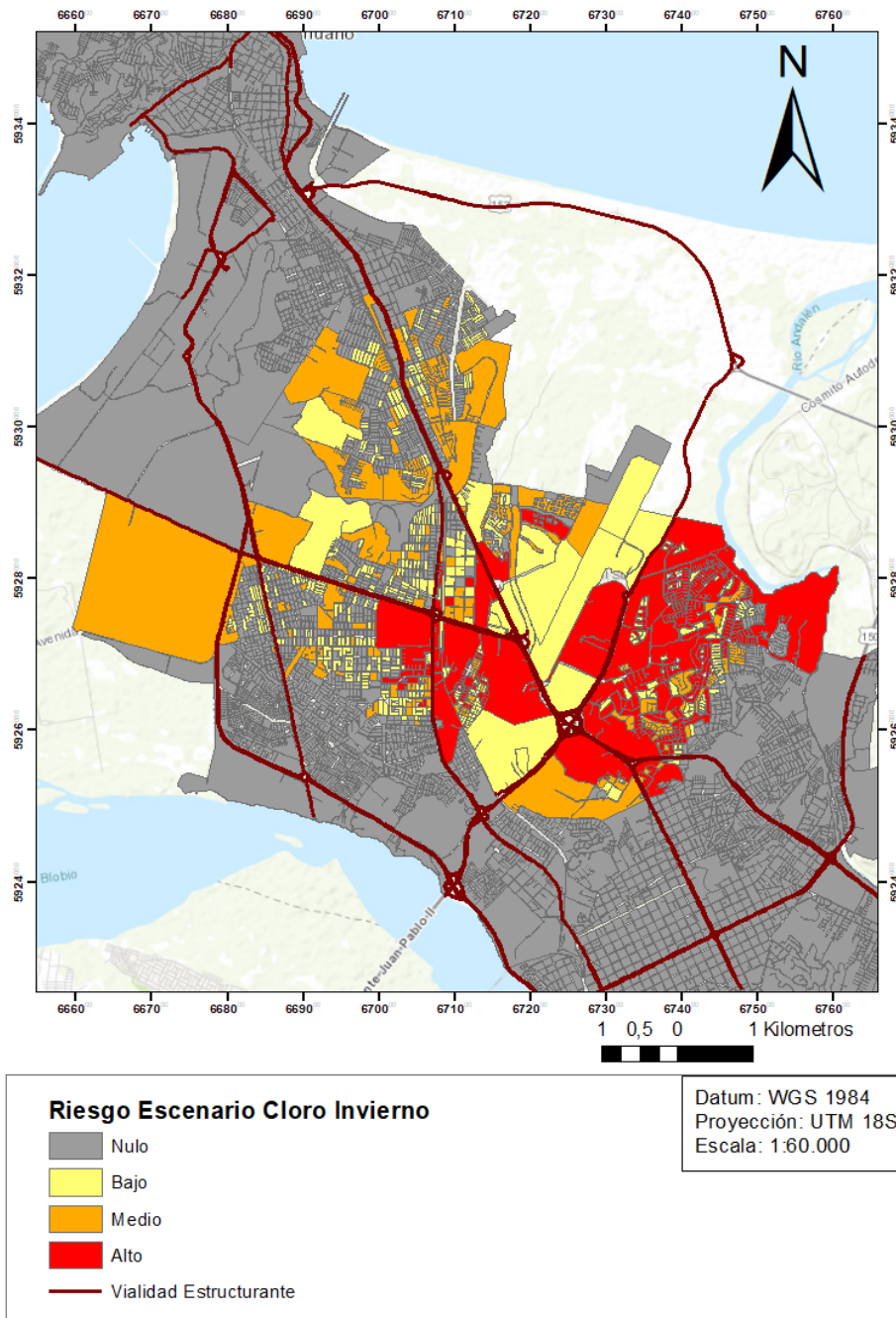


Figura 4. 42 Mapa de riesgo químico para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición invierno.

Un análisis de infraestructura crítica dentro de la zona de amenaza indica que el escenario potencialmente afectaría; 55 establecimientos educacionales, 9 estaciones de servicio, 12 establecimientos JUNJI, 6 compañías de bomberos, 1 unidad de PDI, 2 cuarteles de carabineros, 1 infraestructura portuaria, 8



establecimientos SNSS de atención primaria, y 2 establecimientos de atención terciaria no pertenecientes al SNSS.

La figura 4.43 muestra los valores de riesgo químico por unidad urbana dentro de la intercomuna para un accidente grave con gas cloro en condiciones de verano. El escenario gas pesado cloro se ajustó al punto crítico 3 descrito en la tabla 4.3. Un accidente grave de gas pesado cloro en condiciones de verano afectaría potencialmente a 352 unidades urbanas, estas se distribuyen territorialmente; 322 (91,5%) en Concepción y 30 (8,5%) en Talcahuano. De las 352 manzanas afectadas; 167 (47,5%) obtienen un valor de riesgo [Bajo], 99 (28,1%) obtienen un valor de riesgo [Medio] y 86 (24,4%) obtienen un valor de riesgo [Alto].

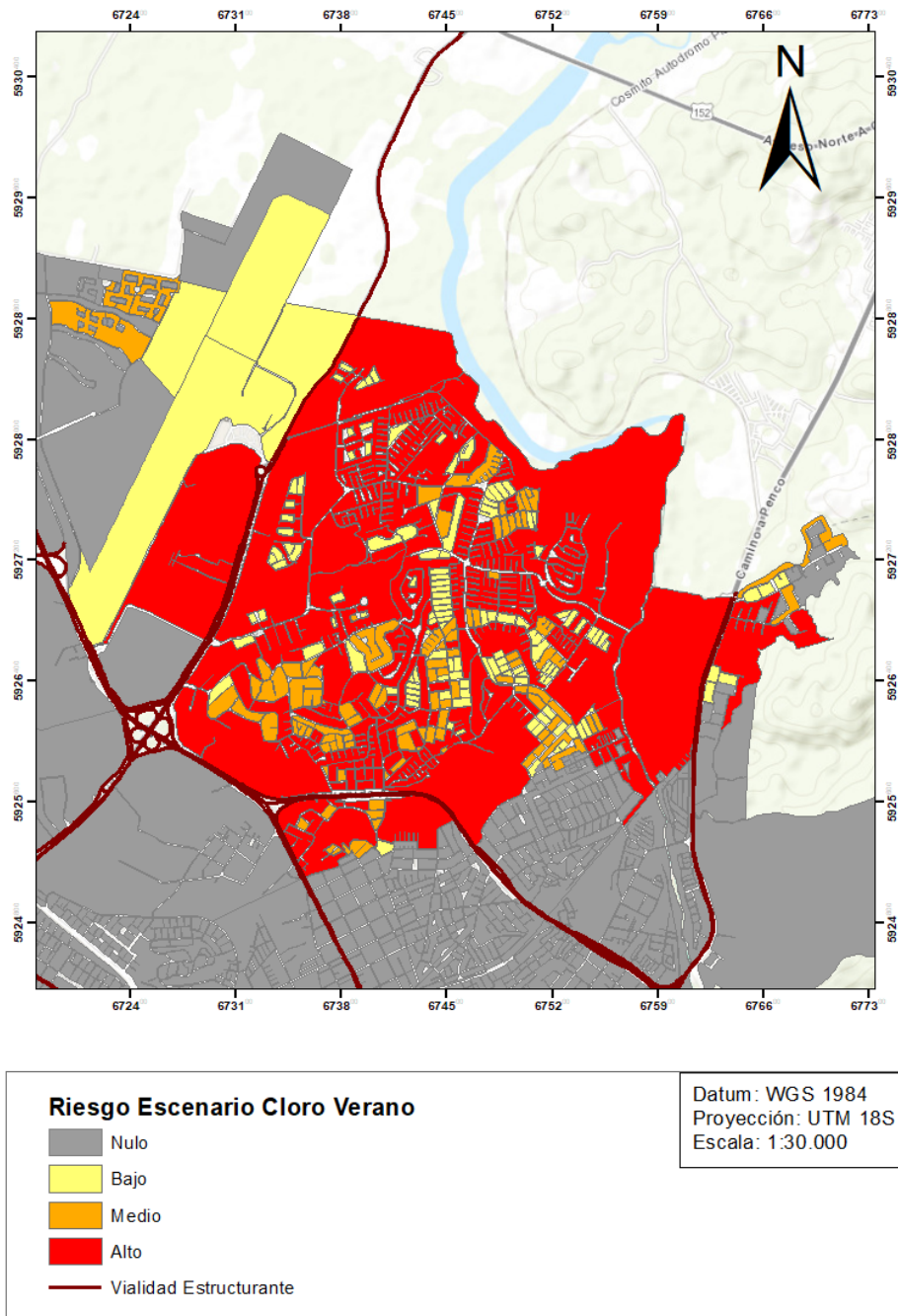


Figura 4. 43 Mapa de riesgo químico para escenario de dispersión de gas pesado cloro. Condición verano.

Un análisis de infraestructura crítica dentro de la zona de amenaza indica que el escenario potencialmente afectaría; 7 establecimientos educacionales, 3 estaciones de servicio, 2 establecimientos JUNJI, 1 unidad de PDI, 1 cuartel de carabineros, 2 establecimientos SNSS de atención primaria, y 1 establecimiento de atención terciaria no perteneciente al SNSS.



5. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones del presente estudio siguiendo la analogía y los lineamientos de los objetivos planteados, la metodología presentada, y los resultados obtenidos como indican los capítulos 2, 3 y 4 respectivamente.

Las zonas de alta accidentabilidad están determinadas por el registro histórico georreferenciado disponible. Puesto que el 99% de los accidentes registrados ocurrieron en zonas urbanas de la intercomuna, el presente estudio concluye que es requerida una mayor información sobre el registro de accidentes en zonas rurales del área de estudio, de esta forma determinaría posibles puntos críticos adicionales y aledaños a unidades ambientales u otras comunidades dentro del sistema territorial. A partir de la información disponible, la comuna con mayor incidencia de accidentes es la comuna de Concepción, siguiéndole la comuna de Talcahuano y Hualpén de forma descendente, esto se refleja en los puntos críticos identificados donde 3 están ubicados en la comuna de Concepción mientras que las comunas de Talcahuano y Hualpén tienen cada uno un punto crítico respectivamente.

En relación al peligro asociado a escenarios de accidentes graves con las sustancias identificadas, la base de datos ALOHA no permitió realizar un análisis de peligro para las sustancias de óxido de calcio, soda caustica, formalina, trementina y gasolinas de diferentes octanajes. El presente estudio concluye que, si se requiere profundizar el análisis para las sustancias no modeladas, este debe ser realizado a través de otro software que lo permita. De los escenarios calculados, los modelos ALOHA no consideran la pendiente del terreno, esto reduciría la confiabilidad de algunos de los escenarios calculados. Es así, como los derrames volátiles tendrían un factor de escurrimiento a través de la pendiente y por consecuencia, la superficie que volatiliza el gas hacia la atmosfera se vería afectada, reduciendo la confiabilidad del modelo en la medida que se aleje de la fuga. Por otro lado, el escenario de gas pesado cloro representa físicamente una nube tipo neblina, la cual se vería seriamente afectada ante los obstáculos que ejerzan las pendientes del terreno. De esta forma, la confiabilidad del modelo se reduce en la medida que se aleja de la fuente, por lo que el nivel de preocupación 3 (letal) tendría la mayor confiabilidad en las condiciones biestacionales. En el caso del BLEVE de propano, la energía térmica no estaría afectada significativamente por la pendiente del terreno, por lo que representaría el escenario más plausible.



Unos de los factores determinantes para el análisis de exposición es la infraestructura crítica, la cual se caracteriza principalmente por la presencia de establecimientos educacionales, estaciones de servicio y establecimientos de salud (SNSS) de atención primaria. En función del análisis de exposición de población e infraestructura crítica intercomunal, Talcahuano es la comuna menos expuesta considerando los factores de exposición. Si bien la comuna posee una población mayor a Hualpén, esta está distribuida proporcionalmente en una cantidad mayor de unidades urbanas. Por otro lado, Hualpén es la comuna medianamente expuesta, debido a sus características de comuna residencial con menor presencia de unidades urbanas y carencia de infraestructura crítica dentro de la intercomuna. Mientras que Concepción es la comuna con mayor exposición acumulada, debido a su alta urbanización, el mayor acceso a servicios asociados con infraestructura crítica, esto conlleva a una mayor residencial y poblacional.

Finalmente, el análisis de riesgo químico se concluye un contraste entre los valores de exposición acumulada de cada una de las unidades urbanas, con los niveles de preocupación para cada uno de los escenarios de accidentes graves de sustancias peligrosas identificadas. El escenario que representa un mayor riesgo químico, es la liberación de gas pesado cloro en condiciones de invierno, ya que abarca al menos un cuarto de las unidades urbanas totales del estudio, siendo esta considerada la más riesgosa. Cabe mencionar que el escenario de gas cloro en condiciones de verano, la pluma del modelo traspasa los límites del área de estudio hasta la comuna de Penco, por lo que se necesitaría extender el área de estudio para un análisis más riguroso.

En caso de BLEVE de propano, este escenario es el segundo de mayor riesgo, puesto que, a diferencia de los escenarios de cloro, el transporte de propano ocurre en toda la vialidad estructurante intercomunal, por lo que los modelos superpuestos se utilizaron en los cinco puntos críticos designados. Este escenario de gran amenaza podría afectar principalmente porciones significativas de la comuna de Concepción.

Respecto al escenario de ácido clorhídrico (32%), la volatilización de la sustancia es considerablemente lenta, por lo que el vertido persistiría en el área de accidente por un tiempo considerable, dando cabida a las unidades de emergencia el tiempo necesario para tomar acciones. Cabe destacar que la volatilización de las sustancias no alcanzaría niveles de preocupación letales para la población. Debido a la función de probabilidad de accidentes, la afectación podría abarcar las comunas de Hualpén y Concepción.

En cuanto al peróxido de hidrógeno, este representaría el escenario de menor riesgo químico, debido a la zona de amenaza que abarcaría unas pocas decenas de metros en un nivel de preocupación leve. Al igual que el ácido clorhídrico, la volatilización de la sustancia es considerablemente lenta, permitiendo el manejo del



vertido a los equipos de emergencia de manera oportuna. Esto afectaría principalmente vías troncales para las comunas de Talcahuano y Hualpén.

Por último, no se pudo realizar un análisis de riesgo para el escenario de metanol. Esto se debió a ciertas condiciones como de transporte, meteorológicas y de fuga que hicieron que los cálculos ALOHA no permitieran graficar los modelos de la pluma de dispersión en condiciones de invierno y verano. Pese que no se pudo calcular, este representaría físicamente un vertido líquido con características volátiles, que podría afectar localmente las vías de transporte tipo troncal y expresa. Cabe señalar que este supuesto escenario no generaría mayor riesgo para las unidades urbanas ni población colindante.

Finalmente, y a modo de reflexión, se considera importante y necesario mejorar la regulación del transporte de sustancias peligrosas, el cual actualmente no existen las normativas locales ni nacionales suficientes que condicione este tipo de rutas.

Se debe trabajar en conjunto con los gobiernos locales y organizaciones sociales en la planificación territorial, para reducir la exposición de la población e infraestructura a posibles escenarios de accidentes graves con sustancias peligrosas. Adicionalmente, las empresas deben tener una mayor responsabilidad para transparentar sus respectivas declaraciones de sustancias y rutas utilizadas, y con ello, un mejor acceso a la información para una ciudadanía informada.

De esta forma, se le otorga relevancia a la planificación territorial de las zonas residenciales respecto de los servicios industriales, reduciendo de esta forma los conflictos socioambientales.



6. Bibliografía

- American Institute of Chemical Engineers, Inc. (2008). *Guidelines for Chemical transportation safety, security and risk management*. Hoboken, NJ.: John Wiley & Sons, Inc.
- Barilla, D., Leonardi, G., & Puglisi, A. (2009). Risk Assessment for Hazardous Materials Transportation. *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 3(46), 2295-2309.
- CAMPORT. (Julio de 2020). *camara maritima y portuaria de Chile A.G.* Obtenido de www.camport.cl: <http://www.camport.cl/estadisticas/>
- Casal, J., & Vilchez, J. (2010). El Riesgo Químico y el Territorio. *Revista Catalana de Seguretat Pública*, 123-147.
- Comisión Europea. (4 de Julio de 2012). *EUR-Lex*. Obtenido de Legislación Europea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1587769120388&uri=CELEX:32012L0018>
- DGAC Chile. (2020). www.dgac.gob.cl. Obtenido de <https://climatologia.meteochile.gob.cl>: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/ficha-de-estacion/360019>
- ENAP. (2019). *Reporte Sostenibilidad 2019 ENAP*. Santiago.
- EPA. (2017). *Software ALOHA*. Obtenido de www.epa.gov: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
- Friedman, M., & Friedman, R. (1980). ¿Quién protege al consumidor? En *Free to Choose* (págs. 213-218). Nueva York: HBJ.
- Gomez, D. (1993). *Ordenación del Territorio, una aproximación desde el Medio Físico*. Madrid: Geominerg.
- Gómez, M. (2009). *Estudio experimental y modelización de dardos de fuego*. Barcelona.
- González, P., Vega, M., & Zaror, C. (2011). Life Cycle Inventory of Pine and Eucalyptus Cellulose Production in Chile: Effect on Process Modifications. *Towards Life Cycle Sustainability Management*, 259-266.



GORE Biobío. (2003). *Plan Regulador Metropolitano de Concepción*. Santiago: BCN.

Huang, X., Wang, X., Pei, J., Xu, M., Huang, X., & Luo, Y. (2018). Risk assessment of the areas along the highway due to hazardous materials transportation accidents. *Natural Hazards*, 1181-1202.

IDE. (2019). *Infraestructura de Datos Geoespaciales Chile*. Obtenido de www.ide.cl: <http://www.ide.cl/index.php/informacion-territorial/descargar-informacion-territorial>

IDE Chile. (2019). *www.ide.cl*. Obtenido de <http://www.ide.cl/index.php/informacion-territorial/descargar-informacion-territorial>

INE. (2019). *Instituto Nacional de Estadística Chile*. Obtenido de www.ine.cl: <https://geoine-ine-chile.opendata.arcgis.com/>

INE. (Agosto de 2020). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de www.ine.cl: <https://regiones.ine.cl/biobio/estadisticas>

INN. (2004). *NCh N°382/04: Sustancias Peligrosas - Clasificación General*. Santiago de Chile.

INN. (2016). *Instituto Nacional de Normalización*. Obtenido de [INN.cl](http://www.inn.cl): <https://www.inn.cl/quienes-somos>

INSHT. (2017). *Herramientas para la gestión del riesgo químico: Métodos de evaluación cualitativa y modelos de estimación de la exposición*. Madrid: Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Jones, R., Lehr, W., Simeneck-Beatty, D., & Reynolds, M. R. (2013). *ALOHA: Aerial Locations Of Hazardous Atmospheres, Technical Documentation*. Seattle: NOS OR&R.

Kim, K. H., Shin, D., & Yoon, E. S. (2003). Risk Analysis Using Automatically Synthesized Robust Accident Scenarios and Consequence Assessment for Chemical Processes: Process Partition and Consequence Analysis Approach. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 992-999.

Lamey, A. (2015). Ecosystems as Spontaneous Orders. *Critical Review: A journal of Politics and Society*, 64-88.

León, J., & March, A. (2014). Urban morphology as a tool for supporting tsunami rapid resilience; a case study of Talcahuano, Chile. *Habitat International, Vol 43.*, 250-262.



- Martel, B. (2000). *Chemical Risk Analysis: a practical handbook*. Glasgow: Penton Press.
- Ministerio del Interior. (2006). *Orgánica Constitucional de Municipalidades*. Santiago: BCN.
- Ministerio Transporte Telecomunicaciones. (10 de Septiembre de 2019). *Sectra*. Obtenido de www.sectra.gob.cl: <http://www.sectra.gob.cl/index.htm>
- MINSAL. (2016). *Manual de métodos de análisis de riesgos y consecuencias*. Santiago.
- MTT. (1995). *DTO N°298/95: REGLAMENTA TRANSPORTE DE CARGAS PELIGROSAS POR CALLES Y CAMINOS*. Santiago de Chile: Biblioteca del congreso nacional.
- Municipalidad Concepción. (2015). *Plan Regulador Comunal de Concepción*. Concepción.
- Municipalidad Hualpen. (2018). *Sintesis del Anteproyecto: Plan Regulador Comunal Hualpen*. Hualpen.
- Municipalidad Hualpen. (8 de marzo de 2022). www.hualpenciudad.cl. Obtenido de <http://www.hualpenciudad.cl/ante-proyecto-modificado-de-plan-regulador-comunal-de-hualpen/>
- Municipalidad Talcahuano. (2016). *Plan Regulador Comunal Talcahuano*. Talcahuano.
- PACYT Biobio. (2019). www.pacyt.cl. Obtenido de PACYT: https://www.pacyt.cl/sw-uploads/2019/08/ESTUDIO_01_DIAGNOSTICO-COMPETITIVIDAD.pdf
- Peter Fisk Associates Ltd. (2014). *Chemical Risk Assesment: a manual for REACH*. Chichester, West Sussex, UK.: John Wiley & Sons Ltd.
- Pinyol, J. S., & Samani, P. A. (2010). Riesgo y Territorio ¿Una cuestión Pendiente? *Revista Catalana de Seguridad Pública*, 13-34.
- Puttock, J., Colendrander, G., & Blackmore, D. (1982). Maplin Sands Experiments 1980: Dispersion results from continuous releases of refrigerated liquid propane. En *Heavy Gas and Risk Assesment II* (págs. 147-161). Frankfurt: D. Reidel Publishing Company.



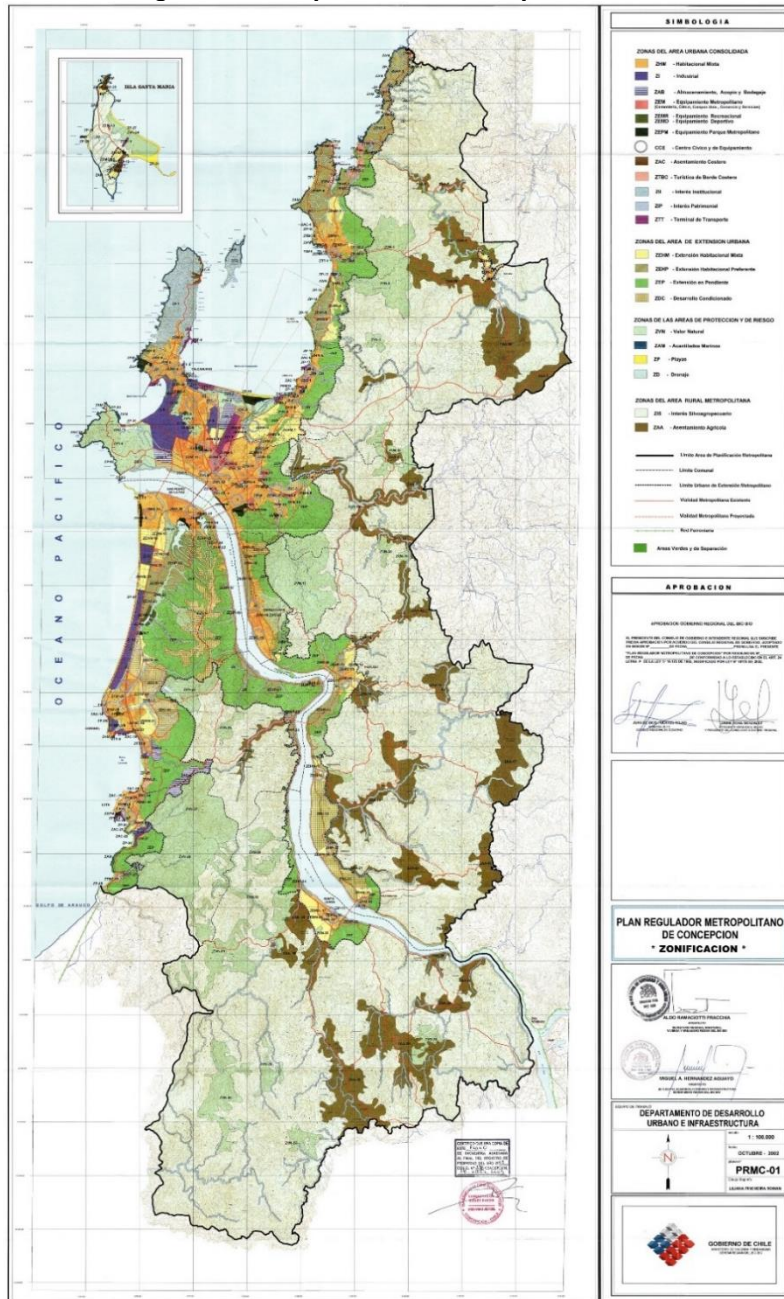
- Rojas, C. (Octubre de 2015). *Plataforma GESITRAN: Distribución Espacial de los accidentes de tránsito en el Gran Concepción*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/282819152_Plataforma_GESITRAN_Distribucion_Espacial_de_los_accidentes_de_transito_en_el_Gran_Concepcion
- Rojas, O., & Martínez, C. (2018). Vulnerabilidades y exposición frente a múltiples peligros en la comuna de San Pedro de la Paz. En O. Rojas, F. Pacheco, & O. Henríquez, *Atlas de riesgos naturales y antrópicos comuna San Pedro de la Paz* (págs. 145-157). Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- Rojas, O., Mardones, M., Rojas, C., Martínez, C., & Flores, L. (2017). *Urban growth and flood disasters in the coastal river basin of south-central Chile (1943-2011)*. Concepción.
- SEA. (2019). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. Obtenido de seia.sea.gob.cl: <https://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>
- SECTRA. (2011). *Análisis estratégico de la operación del transporte de carga en el Gran Concepción*. Concepción.
- U.S Department of Energy. (14 de Abril de 2022). *EMI SIG*. Obtenido de Protective Action Criteria (PAC): Chemicals with AEGLs, ERPGs, & TEELs: <https://edms3.energy.gov/PAC>
- U.S Department of Transportation. (2020). Guía de Respuesta en Caso de Emergencia. En U. DOT, *Emergency Response Guidebook* (págs. 375-384). Skyhorse.
- Vilchez, J. A., Sevilla, S., Montiel, H., & Casal, J. (1995). Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 87-96.
- Villafañe, D. (2013). *Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP)*. Barcelona.
- Ye, H., Meng, X., Yang, L., & Anand, S. (2014). Development of a Digital Accident Hotspot Map for ADAS Applications Using Geospatial Methods in GIS. *The Journal Navigation*, 353-369.

7. Anexos

A continuación, se adjuntan los anexos correspondientes al estudio.

I. Plan regulador Metropolitano del Gran Concepción

Plan Regulador Metropolitano de Concepción; Zonificación





Plan Regulador Metropolitano Concepción; Vialidad Estructurante





II. Declaraciones de Impacto Ambiental asociadas al transporte de carga.

A partir de la información obtenida en la plataforma SEIA, se obtiene la DIA asociada al proyecto “Ampliación Transporte Terrestre de Sustancias Químicas” de Inmobiliaria e Inversiones Polykarpo S.A.

Caracterización transporte de carga peligrosa adaptado de: DIA "Ampliación Terrestre de Sustancias Químicas, Polykarpo S.A".

REG. ORIGEN	PLANTA ORIGEN	REG. DESTINO	PLANTA DESTINO	SUSTANCIAS	N° VIAJES/AÑO	TON/N° VIAJES	TON/AÑO
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Paneles Arauco Trupan, Yungay	Resina Ureica,	2402	208	499616
VIII	Celco Nueva Aldea	VIII	Celco Arauco	Sales de sulfato sodio	777	57,5	44677,5
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Celco Nueva Aldea	Resina fenólica	567	56	31752
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Celco Arauco	Resina fenólica	389	56	21784
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Paneles Arauco Trupan, Yungay	Secuestrante (UREA)	560	24	13440
VIII	Solvay Peróxidos, Coronel	VIII	CMPC Celulosa S.A. Nacimiento	Peróxido	422	26	10972
VIII	Rebisa Planta Coronel	VIII	Masonite Cabrero, Cabrero	Resina fenólica	301	28	8428
VIII	Celco Nueva Aldea	VIII	Celco Arauco	Jabón de licor negro,	353	22	7766
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	Celco Arauco	sulfato de magnesio	249	28	6972
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Celco Arauco	Resina fenólica	229	28	6412



Facultad de Ciencias Ambientales

2021

VIII	Solvay Peróxidos, Coronel	VIII	Celco Nueva Aldea	Peróxido	241	26	6266
XIV	Celco Mariquina	VIII	Celco Arauco	Jabón de Licor negro	201	26	5226
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	Celco Nueva Aldea	bisulfito de sodio,	152	29	4408
VIII	Solvay Peróxidos, Coronel	VIII	Celco Arauco	Peróxido	142	26	3692
VIII	Celco Nueva Aldea	VIII	Celco Arauco	licor verde,	147	23	3381
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Rebisa, Coronel	Formalina	115	28	3220
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	Celco Nueva Aldea	sulfato de aluminio,	107	29	3103
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	Celco Nueva Aldea	sulfato de magnesio	96	29	2784
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	CMPC Nacimiento	Metanol	92	28	2576
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	CMPC Celulosa S.A. Nacimiento	sulfato de aluminio	86	29	2494
VIII	Celco Nueva Aldea	VIII	Oxiquim Planta Coronel	Agua Fenólica	119	14	1666
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Huachipato, Talcahuano	Soda caustica 32%	47	27	1269
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	CMPC Celulosa S.A., Laja	Sulfato de Aluminio	42	29	1218
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Huachipato, Talcahuano	Ácido Clorhídrico,	44	26	1144
VIII	Celco Nueva Aldea	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Trementina	49	21	1029
VIII	Industrias Maule, Coronel	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Alfa Canfeno Beta	43	23	989
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Inchalam, Talcahuano	Ácido Clorhídrico	37	26	962



Facultad de Ciencias Ambientales

2021

VIII	Georgia Pacific, San Pedro de la paz	VIII	Rebisa, Coronel	UFC	28	31	868
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	ENAP, Talcahuano	Soda cáustica 50%	31	28	868
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	CMPC Celulosa S.A., Laja	Metanol	30	28	840
VIII	Celco Arauco	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Trementina	41	20	820
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Celco Nueva Aldea	Soda caustica 50%	27	28	756
VIII	Inchalam, Talcahuano	VIII	OXY Planta Talcahuano	Ferroso	29	23	667
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Celco Nueva Aldea	Hipoclorito de Sodio	24	26	624
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Foster Wheeler, Hualpén	soda caustica 32%	29	20	580
VII	Celco Licantén	VIII	Celco, Arauco	Jabón de licor negro	26	22	572
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Celco Arauco	soda cáustica 50%	21	26	546
VIII	Diteco, Coronel	VIII	Celco Nueva Aldea	Policloruro de aluminio	21	25	525
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Hidronor Copiulemu	Ácido Clorhídrico	19	25	475
VII	Celco Licantén	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Trementina	20	23	460
VIII	Georgia Pacific, San Pedro de la paz	VIII	Rebisa, Coronel	Formalina	13	33	429
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	CMPC Celulosa S.A., Nacimiento	Soda caustica 50%	15	28	420
IX	CMPC Celulosa, Mininco	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Trementina	19	22	418
VIII	Fosfoquim, Talcahuano	VIII	Celco Arauco	Sulfhidrato de sodio	12	29	348



Facultad de Ciencias Ambientales

2021

VIII	Diteco, Coronel	VIII	ESSBIO Planta La Mochita, Concepción	Policloruro de aluminio	12	25	300
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Foster Wheeler, Hualpén	Ácido Clorhídrico,	23	13	299
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Orafti Chile S.A. Pemuco.	soda cáustica 50%	10	28	280
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	ENAP, Talcahuano	Ácido Clorhídrico	20	14	280
VIII	Diteco, Coronel	VIII	Celco Arauco	Policloruro de aluminio	11	25	275
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Celco Arauco	Hipoclorito de Sodio,	22	12	264
VIII	Solvay Peróxidos, Coronel	VIII	CMPC Celulosa S.A., Laja	Peróxido	10	25	250
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Pesquera Orizon, Coronel	Cloruro Férrico	9	24	216
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Georgia Pacific, Coronel	Soda caustica 50%	7	28	196
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	Orafti Chile S.A., Pemuco	Hidróxido de amonio	8	22	176
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Celco Arauco	soda cáustica 32%	6	27	162
VIII	CMPC Laja	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Trementina	7	23	161
VII	Celco Constitución	VIII	Harting Aromas S.A., Arauco	Trementina	6	22	132
VIII	Fosfoquim THNO	VIII	CMPC Celulosa S.A., Laja	Sulfhidrato de sodio	4	29	116
VIII	Oxiqum Planta Coronel	VIII	Celco Nueva Aldea	Metanol	4	28	112
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	Celco Arauco	Bisulfito de Sodio,	4	28	112
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Foster Wheeler, Hualpén	Hipoclorito de sodio,	22	5	110



Facultad de Ciencias Ambientales

2021

VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Maderas y Forestal Villafranca, Los Angeles	Resina Fenólica	4	25	100
IX	Quimetal Planta Mininco	VIII	CMPC Celulosa S.A. Nacimiento	Bisulfito de Sodio,	3	29	87
VI	Sibelco, Gultro	VIII	Celco Arauco	Cal Viva	3	28	84
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Tulsa, Lota	Resina Fenólica	3	28	84
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	CMPC Celulosa S.A., Nacimiento	soda caustica 32%	3	27	81
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Pesquera Orizon, Coronel	Cloruro Férrico	3	24	72
VIII	Oxiquim Planta Coronel	VIII	Iansagro, Los Angeles	Formalina	6	11	66
VI	Sibelco, Gultro	VIII	Celco Nueva Aldea	Cal Viva	2	28	56
V	Vopak, San Antonio	VIII	OXY Planta Talcahuano	Soda caustica 50%	2	27	54
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	CMPC Celulosa S.A. Laja	Soda caustica 50%	2	27	54
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Pesquera Coronel, Coronel	Cloruro Férrico	2	27	54
IX	Eagon, Lautaro	VIII	Oxiquim Planta Coronel	Agua Fenólica	6	9	54
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	CMPC Plywood, Mininco	Soda caustica 50%	3	15	45
VIII	OXY Planta Talcahuano	VIII	Orafti Chile S.A. Pemuco.	Hipoclorito de Sodio,	2	9	18
VIII	Rebisa Planta Coronel	VIII	Lam. Los Angeles, San Carlos Purén	Resina fenólica	1	14	14
XIV	INFODEMA, Valdivia	VIII	Oxiquim Planta Coronel	Agua Fenólica	1	6	6



Facultad de Ciencias Ambientales

2021

VIII	Puerto San Vicente	VIII	Petroquim, Hualpén	Peróxido	2	1	2
VIII	Puerto Coronel	VIII	Petroquim, Hualpén	Peróxido	1	1	1

Rutas de Transporte Polykarpo S.A.

Inventario de Camiones e Isotankes en DIA "Ampliación del Transporte de Sustancias Peligrosas" Polykarpo S.A.

COD.	N°	TIPO	PATENTE	AÑO	MARCA	MODELO
TK-01	177	Semirremolque	231591-8	1996	Isotank	S/I
TK-02	178	Semirremolque	231621-5	1996	Isotank	S/I
TK-03	179	Semirremolque	231599-1	1996	Isotank	S/I
TK-04	180	Semirremolque	231649-4	1996	Isotank	S/I
TK-05	181	Semirremolque	TCVU-231892-0	1998	Isotank	S/I
TK-06	182	Semirremolque	TCVU-231875-0	1998	Isotank	S/I
I-1	77	Semirremolque	JA 1262	1996	Random	SR TQ IQ 03 27
I-2	78	Semirremolque	JA 2517	1996	Random	SP TQ 0Q 03 27
I-3	79	Semirremolque	JA 2511	1998	Random	SR TQ IQ 02 24
I-4	80	Semirremolque	JA 2513	1998	Random	SR TQ IQ 02 24
I-6	82	Semirremolque	JA 2496	2001	Random	SR TQ IQ 03 27
I-7	83	Semirremolque	JA 1938	2002	Random	TANQUE
I-8	84	Semirremolque	JA 1928	2004	Random	SR TQ IQ 03 27
I-9	85	Semirremolque	JC 6642	2005	Random	SR TQ IQ 03 27
I-10	86	Semirremolque	JE 7255	2006	Random	SR TQ IQ 03 27
I-11	87	Semirremolque	JE 7256	2006	Random	SR TQ IQ 03 27
I-13	89	Semirremolque	JJ 1267	2006	Random	SR TQ IQ 03 27
I-14	90	Semirremolque	JG 3145	2007	Random	SR TQ IQ 03 27
I-20	95	Semirremolque	JG 3196	2008	REY	HR
I-21	96	Semirremolque	JG 3198	2008	REY	HR
I-22	97	Semirremolque	JG 3214	2008	REY	HR



I-23	98	Semirremolque	JK 4978	2010	Random	SR-TQ-IQ-03-24
I-24	99	Semirremolque	JK 4979	2010	Random	SR-TQ-IQ-03-36
I-25	100	Semirremolque	JK 7226	2010	Random	SR-TQ-IQ-03-27
I-26	101	Semirremolque	JK 7232	2010	Random	SR-TQ-IQ-03-27
I-27	102	Semirremolque	JK 8207	2010	Random	SR-TQ-IQ-03-27
I-30	105	Semirremolque	JK 8341	2010	Random	SR-TQ-IQ-03-36
I-31	106	Semirremolque	JL 1428	2011	Random	SR TQ IQ 03 25
I-38	113	Semirremolque	JL6868	2011	Random	SR TQ IQ 03 25
I-44	119	Semirremolque	JN 8321	2014	Random	SR TQ IQ 03 25
I-51	126	Semirremolque	JP 3878	2015	Random	RESS42250115
I-52	127	Semirremolque	JP 3879	2015	Random	RESS43250115
C-5	132	Semirremolque	JG 3185	2008	Random	SR PT CS 03 30
C-8	135	Semirremolque	JF 3191	2010	Random	SR PT CS 03 30
C-11	137	Semirremolque	JG 3249	2010	Random	SR BS CO 03 32
C-14	140	Semirremolque	JL 1426	2011	Random	SR BS CO 03 32
C-15	141	Semirremolque	JL 1427	2011	Random	SR BS CO 03 32
C-19	145	Semirremolque	JN 8055	2015	TREMAC	Drop Deck Isotank
C-20	146	Semirremolque	JN 1984	2012	RANDON	SR BS CO 03 32
C-21	147	Semirremolque	JN 1989	2012	RANDON	SR BS CO 03 32
C-22	148	Semirremolque	JN 1985	2012	RANDON	SR BS CO 03 32
C-23	149	Semirremolque	JN 1987	2012	RANDON	SR BS CO 03 32
C-25	151	Semirremolque	JN 1994	2012	RANDON	SR BS CO 03 32
R-2	152	Semirremolque	JA 1932	1998	Echevarría	CILINDRICO
R-3	153	Semirremolque	JA 2493	2001	Echevarría	N/R
R-4	154	Semirremolque	JA 2512	2003	Echevarría	ESTANQUE
R-11	161	Semirremolque	JL 5665	2011	Random	SR-TQ-PQ-03-24
R-12	162	Semirremolque	JL 7201	2012	Random	SR-TQ-PQ-03-24
R-13	163	Semirremolque	JL 7202	2012	Random	SR-TQ-PQ-03-24
R-14	164	Semirremolque	JN 1949	2012	Random	SR-TQ-PQ-03-24
R-15	165	Semirremolque	JN 28 70	2012	Random	SR-TQ-PQ-03-24



Facultad de Ciencias Ambientales

2021

R-16	166	Semirremolque	GR DL 19	2015	Ressco	RESS48240115
ALUM 1	167	Semirremolque	JL 4600	2012	Heil	SR
ALUM 2	168	Semirremolque	JL 4601	2012	Heil	SR
T-04	176	Semirremolque	JH 9415	1996	Polar	ARJH



A partir de la información obtenida en la plataforma SEIA. Se obtiene la DIA asociada a Planta Elaboradora de Peróxido de Hidrógeno EKA Chile S.A, ubicada en la comuna de Talcahuano, la cual en su descripción de proyecto indica “La capacidad de producción será de 30.000 ton/año de peróxido de hidrógeno puro, equivalente a 42.857 ton/año de peróxido de hidrógeno en solución al 70%. Además, se prevé que 1714 vehículos/año despachen productos”.

Carga	Origen	Destino	Viajes/Mes
2 Etil Atraquinona	RM	Planta EKA	24
Acido Fosforico IBC	San Pedro de la Paz	Planta EKA	24
Amoniaco (Botella)	Avenida Gran Bretaña	Planta EKA	24
Oxido de aluminio agotado y otros residuos	Planta EKA	Hidronor Copiolemu	24
Oxido de aluminio	RM	Planta EKA	24
Producto HP	Planta EKA	Constitución	48
Producto HP	Planta EKA	Licancel UKP	24
Producto HP	Planta EKA	Nueva Aldea BKP	72
Producto HP	Planta EKA	Planta Arauco EKP + BKP	168
Producto HP	Planta EKA	Valdivia EKP	24
Shellsol	RM	Planta EKA	24
Soda IBC	Oxy Chile Talcahuano	Planta EKA	0
Tetrabutyl Urea	RM	Planta EKA	24
Tri- Octil Fosfato	RM	Planta EKA	24
total			528

Inventario camiones, carga y volumen de sustancias, EKA Chile S.A.

CARGA	ORIGEN	DESTINO	VIAJES/MES
2 ETIL ATRAQUINONA	RM	Planta EKA	24
ACIDO FOSFORICO IBC	San Pedro de la Paz	Planta EKA	24
AMONIACO (BOTELLA)	Avenida Gran Bretaña	Planta EKA	24



OXIDO DE ALUMINIO AGOTADO Y OTROS RESIDUOS	Planta EKA	Hidronor Copiolemu	24
OXIDO DE ALUMINIO	RM	Planta EKA	24
PRODUCTO HP	Planta EKA	Constitución	48
PRODUCTO HP	Planta EKA	Licancel UKP	24
PRODUCTO HP	Planta EKA	Nueva Aldea BKP	72
PRODUCTO HP	Planta EKA	Planta Arauco EKP + BKP	168
PRODUCTO HP	Planta EKA	Valdivia EKP	24
SHELLSOL	RM	Planta EKA	24
SODA IBC	Oxy Chile Talcahuano	Planta EKA	0
TETRABUTIL UREA	RM	Planta EKA	24
TRI- OCTIL FOSFATO	RM	Planta EKA	24
TOTAL			528

ACTIVIDAD	TIPO DE VEHÍCULO	CANTIDAD PROYECTADA (VEHÍCULOS/ AÑO)	CANTIDAD PROYECTADA PEAK (VEHÍCULOS/DÍA)
ABASTECIMIENTO DE INSUMOS	Camión Cisterna	115	2
DESPACHO DE PRODUCTOS	Camión Cisterna	1714	6
DESPACHO DE RESIDUOS	Camión Cisterna	24	2
TOTAL		1853	10

III. Despliegue de información de software ALOHA.

Fig. 3 Base de datos químicos ALOHA 5.4.7.

Chemical Information

View: Pure Chemicals
 Solutions

ACETAL
ACETALDEHYDE
ACETIC ACID, GLACIAL
ACETIC ANHYDRIDE
ACETONE
ACETONE CYANOHYDRIN
ACETONITRILE
ACETOPHENONE
ACETYL BROMIDE
ACETYL CHLORIDE
ACETYLENE
ACETYLENE TETRABROMIDE
ACROLEIN

Select
Cancel
Add
Modify
Delete
Help

Fig. 4 Opciones de despliegue atmosférico.

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text [e.g. ESE]

Measurement Height above ground is:
 OR enter value : feet
 meters

Ground Roughness is :
 Open Country OR Input Roughness [Z₀]:
 Urban or Forest
 Open Water

Select Cloud Cover :
 OR enter value :
[0 - 10]
complete cover partly cloudy clear

OK Cancel

Fig. 5 Opciones de despliegue atmosférico (2).

Atmospheric Options 2

Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present, Height is : feet meters

Select Humidity :




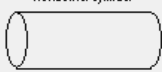

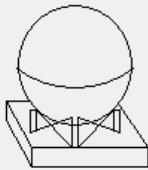
   OR enter value : %
(0 - 100)

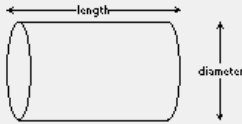
Fig. 6 Condiciones de almacenamiento.

Tank Size and Orientation

Select tank type and orientation:

Enter two of three values:



diameter feet meters

length

volume liters cu meters



Fig. 7 Estado de la sustancia durante el transporte.

Chemical State and Temperature

Enter state of the chemical: Help

Tank contains liquid

Tank contains gas only

Unknown

Enter the temperature within the tank: Help

Chemical stored at ambient temperature

Chemical stored at degrees F C

OK Cancel

Fig. 8 Volumen de la sustancia transportada.

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: pounds

tons(2,000 lbs)

kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

gallons

cubic feet

liters

cubic meters

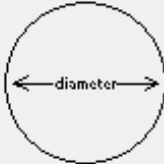
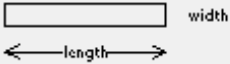
% full by volume

OK Cancel Help

Fig. 9 Características de la fuga.

Area and Type of Leak

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting

Circular opening Rectangular opening

Opening length: inches
 feet

Opening width: centimeters
 meters

Is leak through a hole or short pipe/valve?

Hole Short pipe/valve



Fig. 10 Selección de escenario

Hazard To Analyze

Scenario:
Flammable chemical escaping from tank.
Chemical is NOT on fire.

Choose Hazard to Analyze:

Toxic Area of Vapor Cloud

Flammable Area of Vapor Cloud

Blast Area of Vapor Cloud Explosion

OK Cancel Help

Fig. 11 Escenario Nube Tóxica; Determinación de Niveles de Preocupación (LOC).

Toxic Level of Concern

Select Toxic Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: AEGL-3 (60 min): 56 ppm

Orange Threat Zone
LOC: AEGL-2 (60 min): 14 ppm

Yellow Threat Zone
LOC: AEGL-1 (60 min): 0.9 ppm

Show wind direction confidence lines:

only for longest threat zone

for each threat zone

OK Cancel Help



Fig. 12 Escenario de Incendio; Determinación de Niveles de Preocupación (LOC).

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 42000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets

Orange Threat Zone
LOC: [none]

Yellow Threat Zone
LOC: 7000 ppm = 10% LEL

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help



Fig. 13 Escenario de Explosión; Parámetros de Ignición.

Vapor Cloud Explosion Parameters

Time of vapor cloud ignition: Help

- unknown (show composite threat zone from all possible ignition times)
- known, ignition time is :

Type of vapor cloud ignition: Help

- ignited by spark or flame
- ignited by detonation

Level of congestion : Help
(in the flammable part of the vapor cloud)

- congested, difficult to walk through (e.g. pipe rack, dense forest)
- uncongested, easy to walk through (e.g. residential neighborhood)

OK Cancel



IV.

A continuación, se especifican el método de cálculo utilizado por el *software* ALOHA para los distintos escenarios. La información presentada está disponible en el manual técnico de usuario del *software*.

Para el cálculo de concentración de la sustancia se utilizó el Modelo de Dispersión Gaussiano de Palazzi (Jones, Lehr, Simeneck-Beatty, & Reynolds, 2013), especificado en la **Ecuación 1**.

$$C(x, y, z, t) = \begin{cases} \frac{\mathbb{G}}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - Ut}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) \right] & \text{si } t \leq t_r \\ \frac{\mathbb{G}}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x - U(t - t_r)}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - Ut}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) \right] & \text{si } t_r < t < \infty \end{cases} \quad (1)$$

Donde:

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: Son los parámetros de dispersión en los ejes x, y, z respectivamente.

t_r : Duración de la fuga.

U : Velocidad del viento.

\mathbb{G} : Es la Función de Dispersión de Gauss

$$\mathbb{G}(x, y, z, t) = \left(\frac{Q(t)}{U} \right) g_y(x, y) g_z(x, z) \quad (2)$$

$Q(t)$: Tasa de emisión de la sustancia en el tiempo.

$$g_y(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y(x)}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y(x)} \right)^2 \right]$$

$$g_z(x, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z(x)}} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z - h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z + h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] \right\}$$

h_s : Altura a la que se encuentra la fuga.



Se calculó la radiación térmica proveniente de bolas de fuego y BLEVE a partir de modelos empíricos de llama sólida (Jones, Lehr, Simeneck-Beatty, & Reynolds, 2013), como indica la **Ecuación 3**.

$$q = E * \mathcal{F} * \tau \quad (3)$$

Donde:

q : Flujo de radiación térmica sobre una superficie vertical [Wm^{-2}].

E : Flujo de energía por radiación térmica en la superficie geométrica de la bola de fuego [Wm^{-2}].

\mathcal{F} : El factor de forma geométrica.

τ : Corresponde a la transmisividad atmosférica que aporta a la radiación térmica del incidente.

El flujo de energía a partir de la radiación térmica (**Ecuación 4**) se calculó a partir de un valor de emisividad de 350 [kWm^{-2}] para combustibles fósiles ajustado a la de la sustancia evaluada (Jones, Lehr, Simeneck-Beatty, & Reynolds, 2013).

$$E = 350.000 \left(\frac{\Delta H_c}{\Delta H_{c \text{ Propano}}} \right) \quad (4)$$

Donde:

ΔH_c : Entalpia de la sustancia evaluada [Jkg^{-1}].

$\Delta H_{c \text{ Propano}}$: Entalpia de Propano [Jkg^{-1}].



El factor de forma geométrica determina la función del tamaño de la bola de fuego, y la distancia entre un receptor y la bola de fuego. Dependiendo de la cantidad de combustible aportada a la combustión, el tamaño de la bola de fuego se verá afectado. De esta forma la cantidad de combustible que escapa al momento de la ignición está determinado por la presión interna del tanque y la temperatura en el instante de ruptura (T) la cual es obtenida a través de la Ecuación de Clausius-Clayperon, como lo indica la **Ecuación 5**.

$$T = \left[\left(\frac{1}{T_B} \right) - \left(\frac{R_c}{\Delta H_v} \right) \ln \left(\frac{P}{P^0} \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

Donde:

T_B : Temperatura normal de ebullición.

R_c : Constante de los gases ($8,3144 \text{ [} JK^{-1}mol^{-1} \text{]}$).

ΔH_v : Entalpia de vaporización [$Jmol^{-1}$].

P^0 : Presión Estándar ($101.000 \text{ [} Pa \text{]}$).

P Presión del tanque durante ruptura.

A partir de esta temperatura (T), la fracción del líquido que escapa (f) se determina como un proceso isoentálpico mediante la **Ecuación 6**.

$$f = \frac{C_p(T - T_b)}{\Delta H_v} \quad (6)$$

Donde:

C_p : Capacidad de calor específico a presión constante [$Jmol^{-1}K^{-1}$]

T : Temperatura de la sustancia durante falla del tanque [K].

T_b : Temperatura de ebullición en condiciones ambientales [K].

ΔH_v : Entalpia de vaporización [$Jmol^{-1}$]



La fracción obtenida estima la masa de la sustancia combustionada. Lo que permite determinar un diámetro de la bola de fuego, como indica la **Ecuación 7**.

$$F = \frac{x \left(D_{max}/2 \right)^2}{\left(x^2 + \left(D_{max}/2 \right)^2 \right)^{3/2}} \quad \text{Para } x > \left(D_{max}/2 \right) \quad (7)$$

Donde:

x : Distancia entre el receptor y un punto a nivel del suelo directamente bajo el centro de la bola de fuego. [m]

D_{max} : Diámetro de la bola de fuego; $\left(5,8 * masa^{1/3} [m] \right)$

La transmisividad atmosférica (τ) se calculó mediante las fórmulas presentadas por Jones *et al.* Las cuales desestiman los efectos atenuantes de la neblina, humo y la lluvia sobre la reflexión superficial de la radiación solar. El modelo solo considera el vapor de agua, para lo cual es requerida presión parcial del agua en la atmosfera. Como indican las **Ecuaciones 8 y 9**.

$$P_w = 99,89 \frac{R_H}{100} \exp \left(21,66 - \frac{5431,3}{T_a} \right) \quad (8)$$

Donde:

P_w : Presión parcial del agua en la atmosfera.

R_H : Humedad relativa.

T_a : Temperatura del aire.

Finalmente

$$\tau = 1,389 - 0,135 \log_{10}(P_w x) \quad (9)$$

