Estimación y modelación de gases de efecto invernadero del relleno sanitario la cortada del municipio de Pamplona

Andrea Carolina Rivera Jaimes

Director

Ph.D. Juan Carlos Rojas Vargas

Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVI, QUIMICA Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PAMPLONA

2024

Estimación y modelación de gases de efecto invernadero del relleno sanitario la cortada del municipio de Pamplona

Andrea Carolina Rivera Jaimes

1094278103

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero Ambiental

Director

Ph.D. Juan Carlos Rojas Vargas

Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVI, QUIMICA Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PAMPLONA

2024

Dedicatoria

Ha sido un camino lleno de esfuerzos, sacrificios, alegrías y aprendizajes, cerrada esta etapa quiero agradecer a Dios por su amor conmigo por nunca dejarme sola. Dedico este trabajo de grado culminado con mucha alegría y amor a mi madre Gloria Jaimes por su cariño, apoyo incondicional, por ser voz de aliento en los momentos difíciles, pero por ser también quien celebraba cada uno de mis logros gratitud infinita mami, a mi esposo Daniel Buitrago mi compañero de vida quien siempre ha estado ahí para mi por ser quien creyó en mi sueño y por nunca soltar mi mano aun cuando pensaba desfallecer y recordarme siempre mis capacidades para lograr este sueño, por su sacrificio y amor incondicional.

A Valery Daniela y María Paz mis bebes que siempre han sido el motor que impulsaba a continuar por ellas y para ellas cada uno de mis logros, por ser quienes iluminan mi camino y lo llenan de amor con su ternura.

A mis hermanos Miguel rivera y Paula rivera por ser parte de este proceso en donde nunca falto su amor, sus palabras de motivación y alegría porque, sé que también comparten la felicidad de que culminara este sueño.

A mis Abuelas Jesusa Ramon y Antonia Cañas por siempre recordarme llevar a Dios en mi corazón por su amor y hacer de mí una persona con valores y responsabilidad gracias por acompañarme.

A mi sobrino Juan Andrés que llego a mi vida para irradiar paz, ternura y ser fuente de motivación, a mis Familiares y Amigos que siempre me brindaron apoyo y consejo para poder continuar.

Agradecimientos

Sobre todas las cosas quiero agradecer a Dios por ser mi fortaleza y guía, por concederme salud, y darme las capacidades necesarias para alcanzar las metas.

Durante esta etapa conocemos muchas personas que se convierten en apoyo y aliento y nos impulsan con sus conocimientos y experiencias mil gracias por contribuir a que pudiera cumplir este sueño.

A mi querido director de trabajo de grado ***Juan Carlos Rojas Vargas,*** *quiero expresarle mi profundo agradecimiento, por su confianza depositada en mí, por su apoyo y el conocimiento transmitido lo que fue fundamental para culminar con éxito esta etapa.*

A mis profesores por su sabiduría y conocimiento que compartieron a lo largo de mi carrera académica.

A mi amiga Glayda Hernandez quien estuvo para mí siempre celebrando mis alegrías y apoyándome en los que pensé que no podía, llenándome siempre con su buena energía y amor infinitas gracias por ser tan buena amiga.

Pdta

Andrea Carolina Rivera Jaimes

Resumen

Actualmente en el relleno sanitario regional La Cortada se están disponiendo los residuos sólidos de Pamplona, Cacota, Chitaga, Cucutilla, Labateca, Mutiscua, Vetas, Silos, Toledo, Tona, Surata y Charta.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un diagnóstico de la situación actual del relleno sanitario La Cortada del municipio de Pamplona- Norte de Santander con respecto a las emisiones del total de gases, dióxido de carbono (CO^2), el metano (CH^4) y compuestos orgánico diferentes a metano (NMOC), los cuales generan impactos negativos a nivel local y regional relacionados con la contaminación atmosférica y el aumento calentamiento global y al cambio climático.

Se realizó una búsqueda y recopilación de información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),Predicción de los recursos energéticos mundiales (NASA POWER) y de la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P a en cuanto a la producción de residuos sólidos, proyección de población y el comportamiento de variables meteorológicas. Toda esta información fue utilizada para la realización del modelado de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) haciendo uso del modelo de la EPA LandGem.

Teniendo como resultado las proyecciones de población del municipio de pamplona y los demás municipios vinculados al relleno sanitario, el modelo de Holdridge, las emisiones del total de gases, metano, dióxido de carbono emitidas por LamGEM, la rosa de los vientos modeladas en WRPLOT bien Freeware y la pluma de dispersión de contaminantes modelados en ArcGIS.

***Palabras clave*:** Relleno Sanitario, LandGem, GEI, Diagnostico, monitoreo.

Abstrac

Currently, the solid waste of Pamplona, Cacota, Chitaga, Cucutilla, Labateca, Mutiscua, Vetas, Silos, Toledo, Tona, Surata and Charta are being disposed of in the La Cortada regional landfill.

This work aims to carry out a diagnosis of the current situation of the La Cortada sanitary landfill in the municipality of Pamplona- Norte de Santander regarding the emissions of total gases, carbon dioxide (CO2), methane (CH4) and non-methane organic compounds (NMOC), which generate negative impacts at local and regional levels related to air pollution and the increase in global warming and climate change.

A search and compilation of information was carried out from the National Administrative Department of Statistics (Dane), the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM), the World Energy Resources Prediction (NASA POWER) and the public services company EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. regarding solid waste production, population projection and the behavior of meteorological variables. All this information was used to carry out the modeling of greenhouse gas (GHG) emissions using the EPA LandGem model.

Having as a result the population projections of the municipality of Pamplona and the other municipalities linked to the landfill, the Holdridge model, the emissions of total gases, methane, carbon dioxide emitted by LamGEM, the wind roses modeled in WRPLOT Freeware and the plume of dispersion of pollutants modeled in ArcGIS.

Keywords: Sanitary Landfill, LandGem, GHG, Diagnosis, Monitoring.

Introducción

Actualmente el lugar en dónde se realiza la disposición de los residuos sólidos urbanos se realiza en el relleno sanitario, estos en su proceso de descomposición principalmente la materia orgánica, genera gases de efecto invernadero (GEI), los principales gases emitidos son el metano y el dióxido de carbono, si hablamos del metano es el 25% más potente que el CO^2 y esto al ser emitido contribuye grandemente al cambio climático mundial. (Rivera , Suarez , & Suarez, 2016)

Por eso es muy importante que se realice un control y monitoreo de las emisiones de los rellenos sanitarios para poder mitigar el cambio climático y su afectación a la atmósfera, para esto el modelamiento de (GEI) nos permite estimar las emisiones en función las condiciones del relleno, el software LandGEM es una herramienta que permite esto y el objeto de este trabajo es evaluar las emisiones del relleno sanitario regional la cortada ubicado en la ciudad de Pamplona, Colombia, utilizando datos de las condiciones del relleno como temperatura, la humedad y la composición de los residuos.

los resultados nos permitieron el análisis de la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por el relleno regional la cortada del municipio de Pamplona, norte de Santander.

Contenido

Resumen.....5

Abstrac.....6

Introducción.....7

Capítulo I.....19

1. Objetivos.....19

1.1 Objetivo general.....19

1.2 Objetivos específicos.....19

Capitulo II.....20

2. Marco referencial.....20

2.1 Marco contextual.....20

2.2 Antecedentes.....21

2.2.1 Antecedentes Internacionales.....21

2.2.2 Antecedentes nacionales.....23

2.2.3 Antecedentes Regionales.....24

2.3 Marco teórico.....25

2.4 Marco conceptual.....28

2.5 Marco legal.....31

Capitulo III.....33

3. Metodología.....33

3.1 Fase 1. Recopilación de información 34

3.1.1 Recolección de datos de entidades y plataformas oficiales. 34

3.2 Fase 2. Estimación de determinantes en la elaboración del modelado. 34

3.2.1 Cálculo de población per cápita. 34

3.3 Fase 3. Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero. 35

3.3.1 Modelación con LandGEM. 35

3.4 Fase 4. Representación geoespacial de la pluma de contaminación por GEI....36

3.4.1 Representación geoespacial de contaminación por GEI mediante el uso 36

3.5 Fase 5. Comparación de los resultados y posibilidades del modelo diseñado...37

3.5.1 Recopilación información sobre los modelos. 37

3.5.2 Evaluación de las posibilidades. 37

Capitulo IV.....38

4. Resultados y discusión. 38

4.1 Recopilación de información. 38

4.2 Estimación de determinantes en la elaboración del modelado. Cálculo de población per cápita. 45

4.3 Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero- Modelación con LandGEM. 54

4.4 Representación geoespacial de contaminación por GEI mediante el uso de ArcGIS. 66

4.5 Comparación de los resultados y posibilidades del modelo diseñado. 85

4.5.1 Recopilación de información sobre GasSim y TNO, y características de cada modelo. 86

4.5.2 planteamiento de estrategias 89

5. Conclusiones.....90

6. Recomendaciones. 92

Referencias.....93

Anexos. ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Índice de figuras

Figura 2:Esquema General de las Fases de desarrollo de la investigación. Fuente: Rivera (2023). 33

Figura 3: Tendencia media máxima anual, Fuente**:** Rivera (2023). 38

Figura 4: Temperatura mínima media anual., Fuente: Rivera (2023). 39

Figura 5: Temperatura media anual**,** Fuente**:** Rivera (2023).....40

Figura 6: Humedad media relativa anual, Fuente**:** Rivera (2023).....40

Figura 7: Pirámide de Holdridge. Fuente**:** Ruiz, Soto, 2014 editado Rivera (2023).....43

Figura 8: Diagrama de Proyección de población Pamplona. Fuente: Rivera (2023). 48

Figura 9: Diagrama de Proyección de población Chitaga. Fuente: Rivera (2023).....48

Figura 10: Diagrama de Proyección de población Labateca. Fuente**:** Rivera (2023).....49

Figura 11: Diagrama de Proyección de población Silos. Fuente: Rivera (2023). 49

Figura 12: Diagrama de Proyección de población Tona. Fuente: Rivera (2023).....50

Figura 13: Diagrama de Proyección de población Charta. Fuente: Rivera (2023).....50

Figura 14: Diagrama de Proyección de población Cacota. Fuente: Rivera (2023). 51

Figura 15: Diagrama de Proyección de población Cucutilla. Fuente: Rivera (2023).....51

Figura 16: Diagrama de Proyección de población Mutiscua. **Fuente:** Rivera (2023). 52

Figura 17: Diagrama de Proyección de población Vetas. Fuente**:** Rivera (2023).....52

Figura 18: Diagrama de Proyección de población Toledo. Fuente: Rivera (2023).....53

Figura 19: Diagrama de Proyección de población Surata. Fuente**:** Rivera (2023).....53

Figura 20: Grafica Total de gas en el vertedero. Fuente**:** Rivera (2023). 62

Figura 21: Grafica Metano Fuente: Rivera (2023). 62

Figura 22: Grafica Dióxido de carbono. Fuente**:** Rivera (2023). 63

Figura 23:Grafica NMOC. Fuente**:** Rivera (2023). 63

Figura 24 Rosa del viento celda 1. Fuente**:** Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware. 68

Figura 25 Frecuencia del viento en la celda antigua. Fuente**:** Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware. 69

Figura 26 Rosa del viento celda actual. Fuente: Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware. 70

Figura 27 Frecuencia del viento en la celda actual. Fuente**:** Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware. 71

Figura 28 Dispersión de metano celda 1. Fuente: Rivera (2023) 69

Figura 29 Dispersión de Dióxido de carbono celda 1. Fuente: Rivera (2023) 70

Figura 30 Dispersión de total de gases celda 1. Fuente: Rivera (2023) 71

Figura 31 Dispersión de total de NMOC 1. Fuente: Rivera (2023) 72

Figura 32 Dispersión de Dióxido de carbono celda 2 Fuente**:** Rivera (2023) 73

Figura 33 Dispersión de total de gases celda 2. Fuente: Rivera (2023) 74

Figura 34 Dispersión de total de NMOC 2. Fuente**:** Rivera (2023) 75

Figura 35 Dispersión de metano celda 2 Fuente: Rivera (2023) 76

Figura 36 Dispersión de total de NMOC total al año 2023. Fuente: Rivera (2023) 77

Figura 37 Dispersión del metano total al año 2023. Fuente: Rivera (2023) 78

Figura 38 Dispersión de total de gases totales al año 2023. Fuente: Rivera (2023) 79

Figura 39 Dispersión de Dióxido de carbono total al año 2023 **.** Fuente**:** Rivera (2023) 80

Figura 40 Dispersión del metano total proyectada al año 2028. Fuente: Rivera (2023) 81

Figura 41 Dispersión de total proyectada de NMOC total al año 2028. Fuente: Rivera (2023) 82

Figura 42 Dispersión de total de gases totales proyectados al año 2028. Fuente: Rivera (2023) 83

Figura 43 Dispersión de Dióxido de carbono total proyectados al año 2028 . Fuente: Rivera (2023) 84

Figura 44: Producción de biogás del vertedero de Al-Ghabawi utilizando modelos FOD hasta el año 2100. Fuente: Abu-Qdais , Al-Ghazawi , & Awawdeh , 2022. 87

Figura 45: Comparación del resultado obtenido en los modelos Fuente: Colomer, Garcia, Altabella , Robles, & Aranda (2016) 88

Índice de tablas

Tabla 1 Normograma.....31

Tabla 2 Promedio de temperatura anual.....41

Tabla 3 Modelo de HOLDRIDGE.....42

Tabla 4 Cantidad de residuos sólidos en la celda 1.....43

Tabla 5 Total de residuos sólidos dispuestos por celda.....45

Tabla 6 Censos DANE municipios. 46

Tabla 7 Población total.....47

Tabla 8 Calculo de la producción per capital de residuos sólidos. 55

Tabla 9 Toneladas de residuos sólidos dispuestos en el relleno por cada año 56

Tabla 10 Resultados de total de gases en la celda 1, metano, dióxido de carbono y NMOC. 57

Tabla 11 Resultados de total de gases en la celda 2, metano, dióxido de carbono y NMOC. 58

Tabla 12 Resultados de total de gases en la celda 3, metano, dióxido de carbono y NMOC. 59

Tabla 13 Resultados de total de gases en el vertedero, metano, dióxido de carbono y NMOC. .60

Planteamiento del problema

El relleno sanitario regional La Cortada de Pamplona es responsable de la emisión de gases de efecto invernadero, como lo son el dióxido de carbono (CO^2) y el metano (CH^4), que resultan ser componentes que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático, generando impactos negativos a nivel local y regional. Las emisiones de GEI provenientes de dicho relleno agravan el problema de la variabilidad climática ya que su aumento en concentración sobre la atmósfera puede tener efectos perjudiciales, como el aumento de la temperatura media del planeta y cambios en los patrones climáticos.

Colombia ha experimentado la mayor cantidad de desastres recurrentes causados por fenómenos naturales, lo que sugiere que los fenómenos hidrometeorológicos pueden aumentar su intensidad y frecuencia, alterando el patrón actual de amenazas y generando un mayor número de desastres, si no se toman medidas preventivas para prevenir sus posibles consecuencias. (POLÍTICA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2017)

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC La liberación de sustancias contaminantes al aire, tanto de origen natural como humano, tiene un impacto significativo en la salud de las personas, la degradación de materiales y el equilibrio de los ecosistemas. (Ministerio para la Transición Ecológica, 2022)

Por otra parte, estas emisiones pueden afectar la salud de las personas que viven cerca del relleno debido a que el metano y otros contaminantes liberados durante la descomposición de los residuos sólidos producen problemas respiratorios y cardiovasculares en la población local generando el aumento de enfermedades transmitidas por vectores y eventos climáticos extremos. Además de ello, el gas metano al ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo, por lo que, si

se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión (Quintero, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, estas problemáticas surgen debido a que este sitio de disposición de residuos no cuenta con un sistema de captura de gases o campañas de monitoreo para su adecuado manejo y tratamiento (Peñaloza Moreno, 2021). Actualmente la empresa encargada no ha desarrollado suficientes estudios con respecto a la contaminación atmosférica que genera este lugar e inclusive, se conoce que no existe un estudio permanente y la supervisión periódica del comportamiento ambiental (gases) del relleno sanitario de la ciudad (Villamizar Villamizar, 2016).

Justificación

La estimación y monitoreo de gases de efecto invernadero mediante el modelo LANDGEM en el relleno sanitario regional La Cortada en Pamplona-Norte de Santander, tiene gran importancia debido a la necesidad de cuantificar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la región ya que, este lugar es una fuente importante de estos contaminantes y su monitoreo permitirá evaluar la efectividad de las medidas implementadas para reducir estas emisiones.

El Relleno Sanitario Regional La Cortada, no solo recibe los residuos sólidos de Pamplona, sino también de una amplia región que abarca municipios como Chitagá, Cácota, Cucutilla, Labateca, Mutiscua, Vetas, Silos, Toledo, Tona, Surata y Charta. Esta situación, si bien facilita la gestión de residuos para estas poblaciones, genera una serie de desafíos ambientales y sociales que requieren atención urgente La llegada de residuos de diversos municipios sobrecarga el Relleno Sanitario La Cortada, acortando su vida útil y elevando el riesgo de colapso. Esto, sin mencionar el impacto ambiental generado por la descomposición de la materia orgánica: olores nauseabundos, proliferación de vectores, contaminación del suelo y de las aguas y la descomposición de los residuos en el relleno sanitario produce emisiones, agravando el cambio climático en la región y en el planeta.

Además, se conoce que el cambio climático es un problema global que afecta a todos los países y regiones, y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es fundamental para mitigar sus efectos negativos y proteger la salud pública. De tal modo, el uso de tecnologías y prácticas más sostenibles en el manejo de los residuos puede contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Dicho seguimiento contribuiría con el cumplimiento de las obligaciones legales y normativas relacionadas con el control y reducción de emisiones. Por otra parte, puede proporcionar información clave para la toma de decisiones en la gestión del relleno sanitario ya que los datos obtenidos pueden ser útiles para identificar oportunidades de mejora como el aprovechamiento de gases y el diseño de estrategias de mitigación más efectivas. Finalmente, esta investigación puede contribuir a promover la sostenibilidad y la gestión responsable de los residuos ya que, al tener información precisa sobre las emisiones de gases, se pueden efectuar acciones y prácticas que reduzcan el impacto ambiental.

Capítulo I

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el relleno sanitario La Cortada en la ciudad de Pamplona, ubicada en el departamento de Norte de Santander, Colombia, utilizando el modelo LANDGEM.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una recopilación de información existente a partir de entidades y plataformas oficiales en cuanto a la producción de residuos sólidos, proyección de población y el comportamiento de variables meteorológicas.
- Calcular con la información obtenida los valores necesarios para la realización del modelado mediante el uso de datos obtenidos de plataformas oficiales y de la empresa encargada.
- Proyectar y modelar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el relleno sanitario.
- Analizar los datos recopilados para evaluar las emisiones de gases contaminantes en Landgem, identificando patrones y tendencias
- Comparar los resultados obtenidos del modelado realizado con aquellos encontrados mediante referentes para proponer directrices que impulsen la aplicación efectiva del modelo en cuestión.

Capitulo II

2. Marco referencial

2.1 Marco contextual

El Relleno Sanitario Regional "La Cortada" se encuentra en el municipio de Pamplona, Norte de Santander, en la vereda Chichira. Está ubicado al lado noreste de la carretera Pamplona-Chitaga, en el kilómetro 5. Sus coordenadas son: Norte entre 1.307.000 y 1.308.000, y Este entre 1.159.000 y 1.160.000 (sistema de coordenadas MAGNA-SIRAS). Se encuentra a una altitud promedio de 2.375 metros sobre el nivel del mar (Duarte et al., 2020).

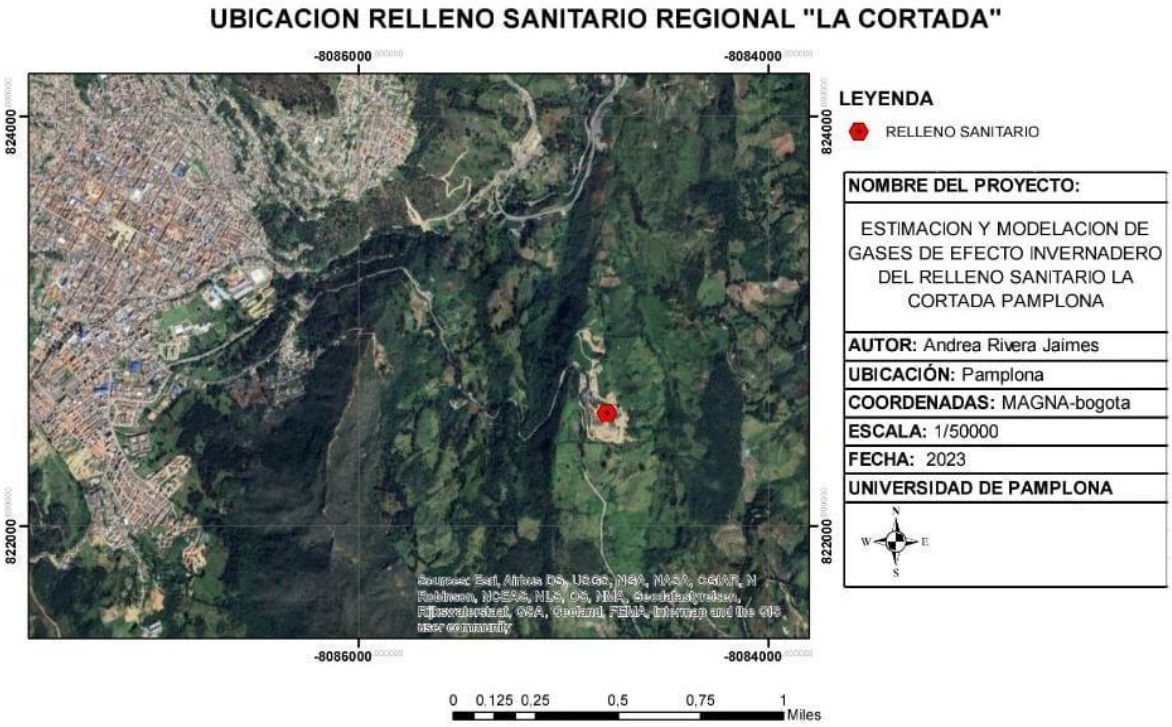


figura 1 *Ubicación del Relleno Sanitario Regional "La Cortada". La imagen representa la ubicación de la zona estudio. Adaptado de Pamplona, Norte de Santander [Imagen satelital], CNES/Airbus, 2023.* Fuente: Modificado de ArcGIS, Rivera (2023).

2.2 Antecedentes

2.2.1 Antecedentes Internacionales

Torri (2017) define que el relleno sanitario es un lugar específico para depositar la basura de forma segura, controlada y permanente. Estas infraestructuras están diseñadas para no poner en riesgo la salud de las personas, la seguridad pública ni el medio ambiente, ni durante su funcionamiento ni después de su cierre. En otras palabras, un relleno sanitario es una tecnología que concentra la basura en un espacio pequeño, la cual es compactada para reducir su tamaño y la cubre con capas de tierra de manera constante.

Según Camargo y Vélez (2009) indican que los rellenos sanitarios actuales liberan contaminantes al aire, como material biológico, gases y otros productos de la descomposición de la materia orgánica. Estas instalaciones se convierten en importantes fuentes de gases de efecto invernadero, especialmente metano (CH4) y dióxido de carbono (CO2), provenientes del biogás generado por la descomposición de la materia orgánica. El biogás también contiene trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV).

En algunos países, se ha medido el impacto del manejo de residuos sólidos en las emisiones de metano (CH4) a nivel nacional. Los resultados muestran que Alemania es el país con la mayor contribución, con un 40% del total de emisiones de CH4. Le siguen Estados Unidos con un 28%, Japón y México con un 25% cada uno. Es importante destacar que estos valores son significativamente más altos que los de países en desarrollo como Chile y Argentina, que se encuentran alrededor del 14%. Esto indica que, en las naciones desarrolladas, las emisiones de CH4 por el manejo de residuos sólidos tienen un impacto considerable en el total de emisiones de este gas. (Solórzano, 2003)

Arriaza y Álvaro (2016), reportan que en Chile se generaron 16,9 millones de toneladas de residuos en 2013, de los cuales 6,5 millones correspondían a residuos sólidos urbanos (RSU). La Región Metropolitana concentra la mayor cantidad de RSU, con 2,8 millones de toneladas en 2009, lo que representa el 43% del total nacional. En cuanto a la composición de los residuos municipales, la materia orgánica es la principal componente con un 48%, seguida por los plásticos (11%), papel y cartón (10%), vidrio (7%), voluminosos (7%), metales (3%) y telas (3%).

Tansel e Inanloo (2019) utilizaron herramientas como LandGem para crear un modelo que permite determinar las áreas afectadas por el olor de los rellenos sanitarios activos y cerrados. El modelo toma en cuenta el tipo de suelo y las condiciones atmosféricas. Para ello, se calcularon las emisiones de olores en tres rellenos sanitarios con diferentes condiciones atmosféricas utilizaron el software LandGEM.

Tran et al. (2020) en un estudio realizado en Vietnam, advierten que la contaminación atmosférica generada por los rellenos sanitarios puede ser perjudicial para la salud humana y afectar negativamente el bienestar social. Además, la dispersión de olores en áreas aledañas a estos sitios genera quejas por parte de la población, aumentando la tensión social. En este contexto, el estudio se centró en la medición de las emisiones de olores de un relleno sanitario en las áreas circundantes, utilizando una combinación de técnicas de medición de la concentración de olores.

2.2.2 Antecedentes nacionales

A nivel nacional, Estrada Céspedes (2005) investigó la viabilidad de aprovechar los gases de efecto invernadero del relleno sanitario del Meta para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Para estimar la producción de biogás (línea base), se utilizaron dos modelos: el de Tchobanoglous y el Landfill Gas Emissions Model (LandGem) de la EPA. Se seleccionaron los datos del modelo Tchobanoglous y se contempló una disponibilidad de biogás para aprovechamiento del 50%, 60% y 70%.

Aristizábal et al. (2015) compararon las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en rellenos sanitarios y en el proceso de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos urbanos en Colombia. Dicho estudio se llevó a cabo en la ciudad de Manizales y utilizó modelos teóricos para calcular las emisiones diarias de metano y dióxido de carbono. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las técnicas de cálculo, especialmente para la evaluación de la digestión anaerobia debido al carácter general de los factores de emisión utilizados.

Según Calvo y Castañeda-Gómez (2021) en las estimaciones de emisiones de metano (CH4), dióxido de carbono (CO2) y compuestos orgánicos diferentes al metano (NMOC) en el relleno sanitario Doña Juana de Bogotá, Colombia, para los años de clausura 2022, 2040 y 2070. Utilizaron el software LandGEM y se basaron en la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno. Los resultados mostraron que las emisiones de CO2 y NMOC son considerables, lo que indica la necesidad de complementar la disposición de residuos sólidos con tratamientos óptimos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.2.3 Antecedentes Regionales

A nivel regional existen distintas investigaciones sobre los gases que producen los rellenos sanitarios de la región Norte de Santander como el realizado por Chávez (2019), el cual evaluó las condiciones operativas del relleno sanitario del Parque de Tecnología Ambiental Guayabal de Cúcuta. Su objetivo era identificar recomendaciones técnicas para maximizar la actividad metanogénica y aumentar la eficiencia en los proyectos de captura y aprovechamiento del biogás.

Según Villamizar (2016) encontró metano en el ambiente laboral del relleno sanitario de Pamplona, pero no alcanzó el límite explosivo inferior (LEL) del 5%. Sin embargo, se encontró un valor del 4,2% en una de las chimeneas, lo que requiere seguimiento para evitar futuros problemas. Esta medición se realizó solo una vez y el valor puede variar diariamente dependiendo de la materia orgánica y el tiempo de descomposición.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas ideales para gestionar grandes cantidades de información espacial de diversas fuentes. Permiten administrar y simular fácilmente las restricciones técnicas, sociales, económicas y ambientales que se presentan en proyectos o estudios. Muchos de estos datos tienen una referencia espacial, y los SIG son capaces de capturar, almacenar y manejar esta información. Además, pueden realizar análisis de optimización y sensibilidad, y comunicar los resultados de los modelos de forma clara y sencilla (Sierra, 2023).

Balde y Vega García (2020) estudiaron la importancia de los incendios forestales como emisores de gases de efecto invernadero (GEI) en Cataluña. Compararon las emisiones de los incendios con otras fuentes de GEI en los inventarios nacionales. Para ello, superpusieron la cartografía de los incendios entre 2006 y 2015 con la información de las clases de vegetación de

Siose. Luego, sumaron la biomasa total de cada píxel dentro de cada clase de vegetación e incendio, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Moreno Mústieles (2014) evaluó el impacto del Cambio Climático en la Seguridad Alimentaria en Etiopía. Utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) llamado ArcGIS para analizar visualmente los datos. El estudio cruzó variables cartografiadas para identificar los factores que definen el contexto etíope y las posibles consecuencias del cambio ambiental. Estos factores incluyen la precipitación, la temperatura, la evapotranspiración, la cobertura vegetal y la densidad de población. Los resultados mostraron que el Cambio Climático podría tener un impacto negativo en la Seguridad Alimentaria en Etiopía. Se recomienda implementar medidas de adaptación para mitigar estos impactos.

En un estudio realizado por García Pedreros (2021) utilizó herramientas de análisis espacial, como las que ofrece ArcGIS, para estudiar las variables que influyen en el desequilibrio de la radiación terrestre en el centro de Colombia. Su objetivo era mejorar la resolución espacial de los datos sin afectar sus propiedades radiométricas. El estudio encontró que las técnicas de interpolación de ArcGIS son útiles para mejorar la resolución espacial de los datos. En el 81% de las escenas interpoladas, las desviaciones del modelo fueron mínimas. Además, el 82% de las comparaciones mostraron niveles de error en la precisión del modelo bajos o moderados.

2.3 Marco teórico

El cambio climático es una modificación a largo plazo en los patrones climáticos de la Tierra, principalmente causada por la actividad humana. La quema de combustibles fósiles, la deforestación y la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera son algunos ejemplos de estas actividades.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) lo define como "una alteración en el estado del clima que se identifica por un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente de decenios o más".

El IPCC, en su informe de 2023, resalta que la reducción del consumo, o mitigación de la demanda, puede ser una herramienta poderosa para combatir el cambio climático. Se estima que esta estrategia podría disminuir las emisiones globales de gases de efecto invernadero entre un 40% y un 70% para el año 2050.En otras palabras, si reducimos nuestro consumo de energía y recursos, como la electricidad, el agua, los alimentos y los bienes materiales, podemos contribuir significativamente a la lucha contra el calentamiento global.

Los gases de efecto invernadero actúan como una capa que envuelve el planeta y retiene el calor del sol. Esto provoca un aumento en las temperaturas a nivel global. Ballesteros (2022), explica que el cambio climático es un problema complejo que tiene graves consecuencias para el planeta. Entre estas consecuencias se encuentran el aumento del nivel del mar, la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos, la pérdida de biodiversidad y la escasez de agua.

El cambio climático es un tema complejo que va más allá de una simple relación causa-efecto. Si bien la reducción del ozono estratosférico no es la causa principal del calentamiento global, existe una percepción generalizada de que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son el único factor responsable del aumento de la temperatura mundial. Esta percepción errónea, resaltada por Jori (2009), puede llevar a una visión simplista del problema y dificultar la búsqueda de soluciones efectivas. Es importante comprender la complejidad del cambio climático y considerar todos los factores que lo influyen, tanto naturales como antropogénicos

Según Ballesteros & Aristizábal (2007), los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como creados por el ser humano. Estos gases absorben y emiten radiación infrarroja, atrapando el calor en la atmósfera y regulando la temperatura del planeta. Estos GEI naturales incluyen el vapor de agua (H2O), el dióxido de carbono (CO2), el óxido nitroso (N2O), el metano (CH4) y el ozono (O3). Los GEI creados por el ser humano son los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo.

El planeta ha experimentado un aumento en su temperatura durante los últimos 50 años. Este fenómeno se debe principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO2), a causa de las actividades humanas. El Banco Mundial advierte que, si no se toman medidas, la temperatura global podría aumentar hasta 5 °C por encima de los niveles preindustriales. Sin embargo, si se implementan acciones adecuadas y oportunas, este aumento podría limitarse a 2 °C, lo que sería un escenario más favorable para el planeta (Hernández, 2021).

Pinzón Uribe (2020) lo define los rellenos sanitarios son sitios donde se depositan residuos sólidos. Estos lugares son altamente dinámicos en la producción de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente metano (CH4). A partir del quinto año de funcionamiento y durante toda su vida útil, los rellenos sanitarios liberan GEI. El metano es uno de los principales gases que se produce en estos sitios, y se estima que representa el 13% de las emisiones totales de GEI a nivel mundial. La generación de metano en un relleno sanitario no se detiene después de su clausura. Se estima que este proceso continúa durante un período de 50 años después del cierre del relleno, lo que representa una fuente de contaminación ambiental significativa.

Según Torrado & Ortiz (2020), se producen diariamente 26.000 toneladas de desperdicios en los centros urbanos del país. Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla son las ciudades que más residuos generan, con un 20%, 10%, 8% y 6% del total, respectivamente. Para el manejo de estos residuos, se está implementando el uso de rellenos sanitarios con principios de ingeniería. Estos rellenos buscan confinar la basura cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen.

El trabajo de Torrado & Ortiz (2020) también menciona que la empresa EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. genera una gran contaminación ambiental en el área cercana al Relleno Sanitario de Pamplona. Debido a esto, es necesario que la empresa implemente estrategias efectivas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el CO2 equivalente.

Existen diferentes métodos para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los rellenos sanitarios. Una de las herramientas más utilizadas es LandGEM, desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). LandGEM se basa en una ecuación que calcula la tasa de descomposición de los residuos y la cantidad de metano que se generará en un período de tiempo específico (generalmente un año). La herramienta funciona como una hoja de cálculo de Excel que puede ser adaptada a diferentes condiciones, como el tipo de residuos, el clima y la edad del relleno sanitario. (Padilla et al., 2022).

2.4 Marco conceptual

Cambio climático: es una transformación sin precedentes en la historia de la humanidad que afecta la temperatura y otras variables del clima. Esta transformación se está acelerando a un

ritmo nunca antes visto y es producto de las actividades humanas. Afecta a todo el planeta y sus consecuencias pueden ser devastadoras tanto para el medio ambiente como para las personas. La principal causa del cambio climático es la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) por parte de las actividades humanas. Estos combustibles liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera, atrapando el calor y provocando un aumento de la temperatura global (Greenpeace, s. f.).

Gases de efecto invernadero (GEI) son sustancias presentes en la atmósfera terrestre que atrapan el calor del sol. Estos gases actúan como una manta, reteniendo el calor y provocando un aumento de la temperatura global. Los GEI se emiten de forma natural y por la actividad humana. Algunas fuentes naturales de GEI son los volcanes, la descomposición de materia orgánica y la respiración de los seres vivos. Las actividades humanas que emiten GEI incluyen la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), la deforestación y la agricultura. (Fundación Aquae, 2022).

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones en el clima a lo largo del tiempo y en diferentes lugares. Estas fluctuaciones pueden ser en la temperatura, las precipitaciones, la presión atmosférica, entre otras variables climáticas. La variabilidad climática puede tener un impacto significativo en el planeta. Por ejemplo, las sequías, las inundaciones y los huracanes son eventos climáticos extremos que pueden ser causados por la variabilidad climática (IDEAM, 2016).

Relleno sanitario: es un espacio especialmente diseñado para la disposición final de residuos sólidos. Se construye y opera siguiendo técnicas de ingeniería para minimizar riesgos a la salud pública y al medio ambiente. En un relleno sanitario, los residuos se depositan en un

área específica y se compactan para reducir su volumen. Luego, se cubren diariamente con tierra u otro material para evitar la descomposición y la generación de olores.

(Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos -UAESP-, s. f.).

Residuos sólidos: Los residuos sólidos son materiales que ya no se usan y que se desechan después de haber cumplido su vida útil. En general, por sí solos no tienen valor económico. Es importante gestionar los residuos sólidos de forma adecuada para evitar problemas ambientales y de salud pública. (Rivas Arias, s. f.) .

LandGem: LandGEM es una herramienta de cálculo que funciona en Microsoft Excel y que permite estimar la cantidad de metano (CH4) y compuestos orgánicos volátiles (BTX) que se liberan de un relleno sanitario. El modelo se basa en una ecuación matemática que describe la descomposición de la materia orgánica en los residuos sólidos. Esta ecuación toma en cuenta la cantidad de residuos, la velocidad de descomposición y otros factores para calcular la cantidad de gases que se generan. (Beatove et al., 2012).

Representación Geoespacial: es la forma de capturar información sobre características del planeta Tierra, tanto naturales como artificiales, utilizando su ubicación y otros detalles relevantes. Esta información puede ser sobre una cadena montañosa, el clima, una ciudad, o cualquier otro elemento que tenga una posición en el espacio. Los sistemas de información geoespacial (GIS) son herramientas que se utilizan para trabajar con esta información geoespacial. Los GIS permiten almacenar, analizar y visualizar datos espaciales, creando mapas y otras representaciones visuales. (IBM, n.d.).

2.5 Marco legal

La tabla numero 1 muestra las leyes, resoluciones y decretos que son de interés en el presente rebajo de grado:

Tabla 1
Normograma

Norma	Descripción
Constitución Política de Colombia	Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarla. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de vital importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA-y se dictan otras disposiciones
DECRETO 838 DE 2005	Modifica el decreto 1713 de 2002 que reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos
Conpes 3700 de 2011	Fomentar la formulación e implementación de las políticas, planes, programas, incentivos, proyectos metodologías en materia de cambio climático, lográndola inclusión de las variables climáticas como determinantes para el diseño y planificación de los proyectos de desarrollo, mediante la configuración de un esquema de articulación intersectorial. Este esquema deberá permear el actual modelo de desarrollo social y económico de manera transversal todos los niveles y en todas las instituciones. Adicionalmente, deberá permear los más altos niveles de toma de decisiones en cada uno de los sectores y comunidades

DECRETO 2981 DE 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Artículo 7°. Responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos. La responsabilidad por los impactos generados por las actividades del servicio público de aseo, incluido el aprovechamiento, recaerá en la persona prestadora a partir del momento en que deba efectuar la recolección, la cual deberá cumplir con las disposiciones del presente decreto y demás normatividad vigente.
Resolución 1447 de 2018	La presente Resolución tiene por objeto reglamentar el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional, en lo relacionado con el Sistema de Contabilidad de Reducción y Remoción de Emisiones de gases de efecto invernadero y el Registro Nacional de Reducción de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), el cual incluye el Registro Nacional de Programas y Proyectos de acciones para la Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal de Colombia (REDD+).
Ley 2169 De 2021	La presente ley tiene por objeto establecer metas y medidas mínimas para alcanzar el carbono neutralidad, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por la República de Colombia.

Fuente: Rivera (2023).

Capitulo III

3. Metodología

El presente trabajo busco crear un modelo en el cual estime la cantidad de gases de efecto invernadero sobre el relleno sanitario regional La Cortada de la ciudad de Pamplona-Norte de Santander. La metodología que se empleó en el desarrollo se distribuyó en cuatro fases, en las cuales la primera se fundamentó en la recopilación de información, la segunda en realizar un análisis de los factores que afectan la emisión de gases de efecto invernadero, la tercera como tal consistió en la estimar las emisiones de gases de efecto invernadero por medio de herramientas como lo es LandGem y la cuarta en hacer una comparación con modelos similares. Dicha metodología, se basará en un estudio previo hecho por Ambuludi-Paredes et al. (2021), en la ciudad de Tungurahua, Ecuador.

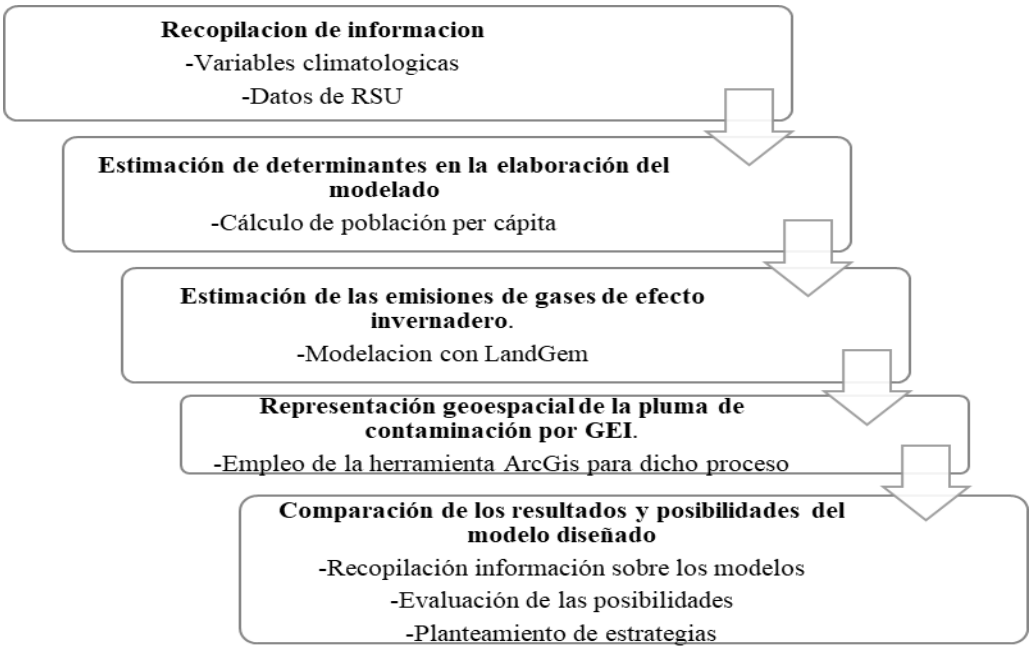


Figura 1:Esquema General de las Fases de desarrollo de la investigación. Fuente: Rivera (2023).

3.1 Fase 1. Recopilación de información

3.1.1 Recolección de datos de entidades y plataformas oficiales.

Se llevo a cabo la recopilo de la información de algunas variables climatológicas que intervienen en la producción de GEI en la zona de estudio, se analizaran algunos datos como la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario regional La Cortada, la producción per cápita, el porcentaje de residuos sólidos que se obtuvieron de bases de datos, reportes y estadísticas específicas. En el caso de la variable meteorológica clima se descargaron del Instituto De Hidrología Meteorología Y Estudios Ambientales (IDEAM). Mientras los datos de los residuos sólidos urbanos RSU (información de la composición y la cantidad de los residuos sólidos generados), se obtuvieron de datos proporcionados directamente por EMPOPAMPLONA, empresa actualmente encargada de la administración del relleno sanitario de La Cortada de Pamplona-Norte de Santander. Estos fueron complementados por las estadísticas nacionales como DANE. Además de esto se utilizó el modelo de Holdridge para identificar el tipo de zona de vida.

3.2 Fase 2. Estimación de determinantes en la elaboración del modelado.

3.2.1 Cálculo de población per cápita.

Para el cálculo de la producción per cápita y la proyección de la población se emplearon datos relacionados con el relleno sanitario regional La Cortada entregados por la empresa EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. y los datos demográficos se recopilarán en función de la tasa de crecimiento anual de la población, por lo que para el estudio se debe considerar la generación de residuos hasta ese periodo.Para calcular la producción per cápita (PPC) de residuos se utilizó la ecuación 1.

$$PPC=W/P \quad (1)$$

Donde:

PPC: Producción per cápita de residuos sólidos, kg/hab*día.

W: Kilogramo de residuos sólidos generados en un día.

P: Los habitantes que generaron esos residuos sólidos en un día.

3.3 Fase 3. Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

3.3.1 Modelación con LandGEM.

Este modelo de la EPA (Protección de Estados Unidos) se basa en una hoja de cálculo Excel que se ajusta a las condiciones del área de estudio. El alcance y capacidad del relleno sanitario, la cantidad anual de residuos recibidos, la constante de la tasa de generación de metano (k) y potencial de generación de metano (Lo), y los años totales de operación del relleno sanitario son las entradas para el cálculo en el modelo LandGEM.

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} k * Lo \left(\frac{Mi}{10}\right) * e^{-kTij} \quad (3)$$

Donde:

Q: es la generación anual del gas en el año del cálculo (m3 / año),

i: es el paso de un año en continuidad.

j: Este es un 0,1 años de tiempo incremento.

n: es el (año del cálculo) (año inicial de aceptación de residuos)

k: es la constante generación del gas (año 1)

L 0: Potencial de generación de gas (m3 / t).

Mi: es la cantidad de residuos recibidos en el año i (t)

Tij: es la edad de la sección j de cantidad de residuos Mi aceptado en el año i

El modelo LandGem se adaptó a las condiciones climáticas de la zona de estudio y las variables El índice de generación de gas (k), el índice de generación potencial de gas (L 0) y la cantidad de residuos orgánicos presentes en el sitio de estudio se centran en las condiciones del relleno sanitario, el nivel de precipitación y las condiciones ambientales.

3.4 Fase 4. Representación geoespacial de la pluma de contaminación por GEI.

3.4.1 Representación geoespacial de contaminación por GEI mediante el uso de ArcGIS.

De acuerdo con Climate Technology Centre and Network (2016), para hacer una representación geoespacial de la pluma de contaminación por gases de efecto invernadero en ArcGIS, se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Obtener datos de emisiones de gases de efecto invernadero: Es importante contar con datos de emisiones de gases de efecto invernadero en la zona de interés. Estos se pueden obtener de diversas fuentes, como inventarios de emisiones, mediciones en estaciones de monitoreo o modelos de simulación entre otros.

2. Crear una capa de puntos: Se deben crear puntos que representen las fuentes de emisiones de gases. Cada punto debe tener como atributos la cantidad y tipo de gas emitido.

3. Utilizar el modelo de dispersión de contaminantes: En ArcGIS existe un modelo de dispersión de contaminantes que permite simular la dispersión de los gases emitidos por las fuentes. Este modelo requiere de parámetros como la dirección y velocidad del viento, temperatura, entre otros.

4. Crear una capa de polígono: A partir de los resultados del modelo de dispersión se pueden crear polígonos que representen la pluma de contaminación. Estos polígonos deben estar basados en los límites de concentraciones de gases específicos.

5. Visualizar los resultados: Finalmente, se pueden visualizar los resultados en un mapa que muestre la ubicación de las fuentes de emisiones y la pluma de contaminación.

3.5 Fase 5. Comparación de los resultados y posibilidades del modelo diseñado.

3.5.1 Recopilación información sobre los modelos.

Se Obtuvo información detallada sobre modelos similares, como por ejemplo documentación técnica, estudios de caso, publicaciones científicas o cualquier otro recurso que proporcione detalles sobre los resultados y las posibilidades de cada modelo.

3.5.2 Evaluación de las posibilidades.

Se Comparo las capacidades y características de cada modelo en relación con los criterios establecidos. Esto implica examinar las funcionalidades específicas de cada modelo, su flexibilidad para adaptarse a diferentes necesidades y su potencial para abordar problemas futuros.

Capitulo IV

4. Resultados y discusión.

4.1 Recopilación de información.

Se descargaron las variables de humedad relativa media anual, temperatura media mínima anual, temperatura media máxima anual y precipitación media anual, durante los años de 2004 hasta el 2023 en la estación meteorológica ISER PAMPLONA (16015020). Para hallar el clima de pamplona se utilizó la pirámide y el modelo de HOLDRIDGE, el cual nos sirvió para identificar el tipo de zona de vida, basado en las variables cuantitativas y los factores ambientales que afectan el desarrollo del ecosistema. (Derguy, y otros, 2016). Los datos relacionados a residuos sólidos se obtuvieron directamente del archivo de EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.

Según la proyección de población del DANE para el año 2023 de Pamplona, norte de Santander, esta cuanta con 56,451 habitantes. (DANE, 2018)

Como se evidencia la tabla de datos y la línea de tendencia de cada uno de las variables climatológicas a estudiar de manera anual desde el año 2004 hasta el 2023.

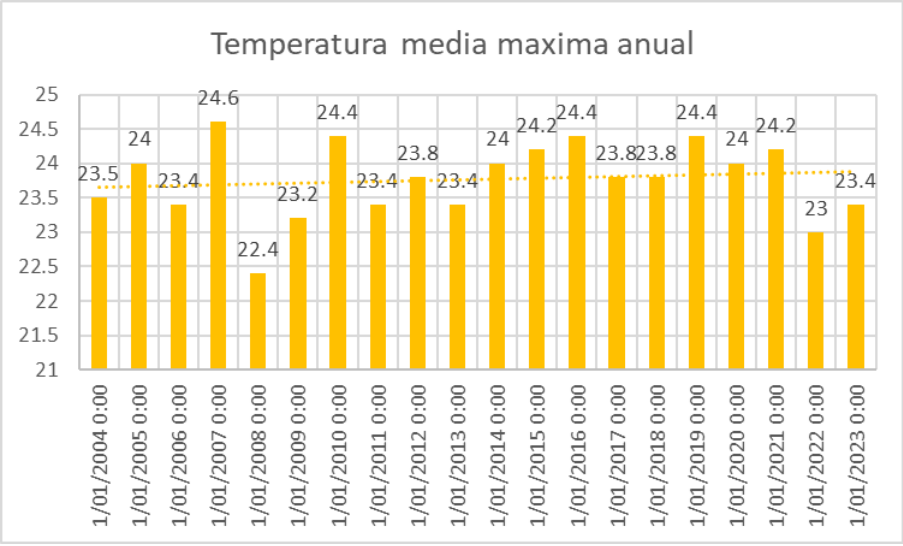


***Figura 2*:**Tendencia media máxima anual, Fuente**:** Rivera (2023).

Se puede observar que la temperatura media máxima mensual desde el 2004 hasta el 2023, la temperatura media máxima mensual se encuentra entre 23°C y 25°C.,se observa una tendencia general al aumento de la temperatura media máxima mensual y que para los años 2007, 2016 y 2019 fueron los años con mayor temperatura media máxima mensual.

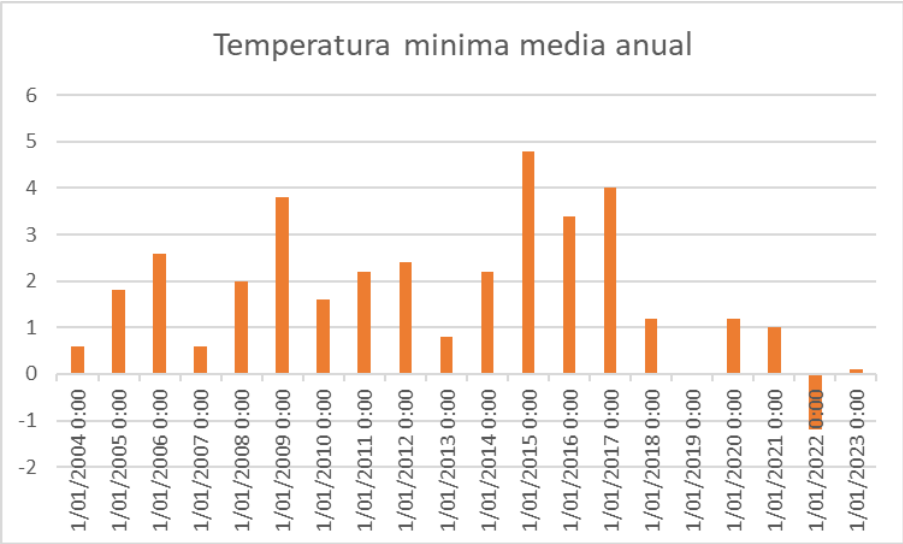


Figura 3:Temperatura mínima media anual., Fuente: Rivera (2023).

El gráfico muestra la temperatura media mínima mensual desde el 2004 hasta el 2023 la temperaturas media mínima mensual se encuentra entre 10°C y 13°C, e observa una tendencia general al aumento de la temperatura media mínima mensual y para Los años 2004, 2007 y 2019 fueron los años con mayor temperatura media mínima mensual.

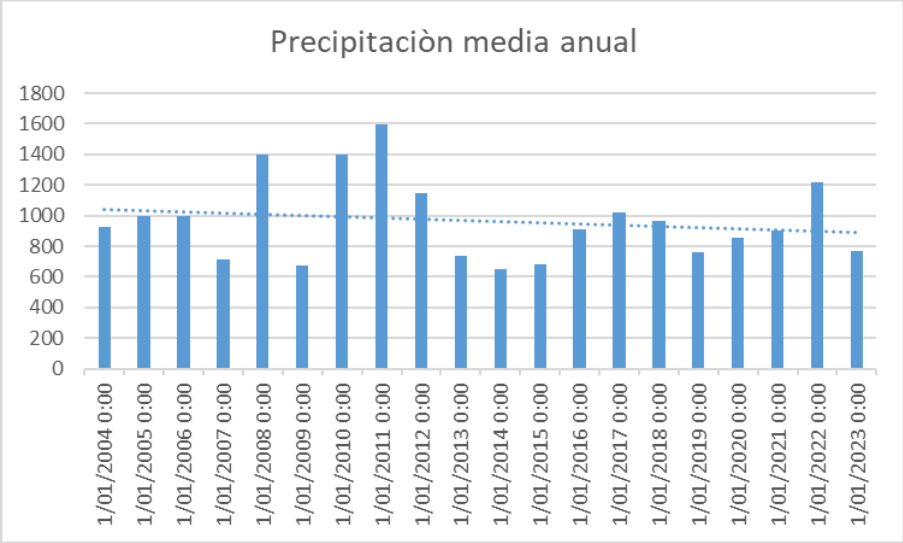


Figura 4:Temperatura media anual**,** Fuente**:** Rivera (2023).

Se observa que la precipitación media anual del 2004 al 2023, la precipitación media anual se encuentra entre 1000 mm y 1600 mm, se observa una tendencia general al aumento de la precipitación media anual, los años 2008, 2010 y 2011 fueron los años con mayor precipitación media anual.

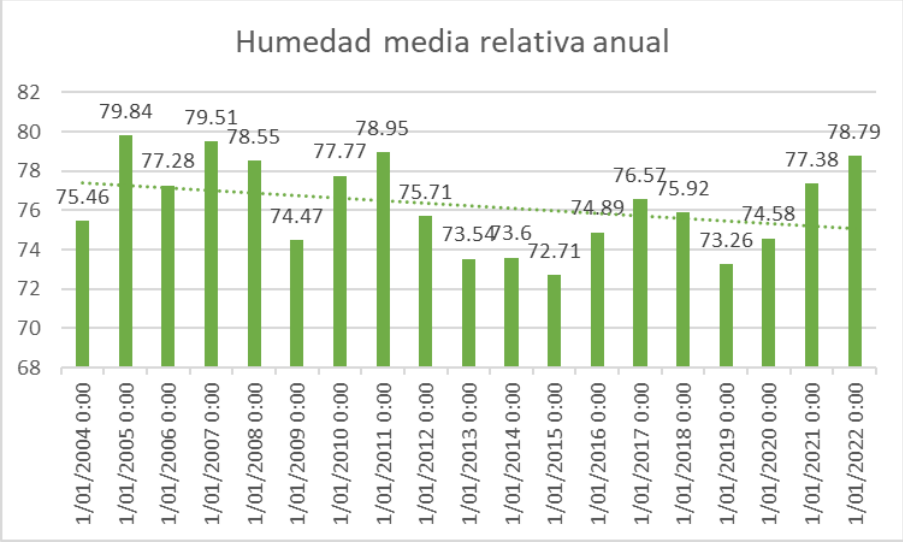


Figura 5: Humedad media relativa anual, *Fuente***:** Rivera (2023).

muestra la humedad media relativa anual desde el año 2004 hasta el 2023, la humedad media relativa anual se encuentra entre 70% y 80%, se observa una tendencia general al aumento de la humedad media relativa anual, los años 2005, 2007 y 2011 fueron los años con mayor humedad media relativa anual.

Tabla 2
Promedio de temperatura anual

TMINA	TMAXA	PROMEDIO	PRECIPITACION
6	23,5	14,75	928,9
13	24	18,5	998,5
6,4	23,4	14,9	995,2
6	24,6	15,3	713,2
12	22,4	17,2	1399
9,8	23,2	16,5	670,4
7	24,4	15,7	1394,4
8,9	23,4	16,15	1592,2
8,8	23,8	16,3	1146,8
9,2	23,4	16,3	736,6
9,7	24	16,85	647,3
8,8	24,2	16,5	678,4
9,8	24,4	17,1	906,1
8,6	23,8	16,2	1021,3
7,4	23,8	15,6	967,6
9,1	24,4	16,75	761,4
7,5	24	15,75	856,3
8,1	24,2	16,15	903,1
7,9	23	15,45	1217,5
7,8	23,4	15,6	771,3
		Promedio	965.275

Fuente: Rivera (2023).

Tabla 3
Modelo de HOLDRIDGE

Año	TMA	BBA	Evo transpiración potencial (mm)	Relación EVO/PPA
2004	12.05	12.05	710.1065	0.764459576
2005	12.9	12.9	760.197	0.761339009
2006	13	13	766.09	0.769784968
2007	12.6	12.6	742.518	1.041107684
2008	12.2	12.2	718.946	0.513899929
2009	13.5	13.5	795.555	1.186687053
2010	13	13	766.09	0.549404762
2011	12.8	12.8	754.304	0.473749529
2012	13.1	13.1	771.983	0.673162714
2013	12.1	12.1	713.053	0.968032854
2014	13.1	13.1	771.983	1.192620114
2015	14.5	14.5	854.485	1.259559257
2016	13.9	13.9	819.127	0.904013906
2017	13.9	13.9	819.127	0.802043474
2018	12.5	12.5	736.625	0.761290823
2019	13.35	13.35	786.7155	1.033248621
2020	12.6	12.6	742.518	0.867123672
2021	12.6	12.6	742.518	0.822188019
2022	10.9	10.9	642.337	0.527586858
2023	11.75	11.75	692.4275	0.897740827
		12.8175	Promedio	0.838452182

Fuente: Rivera (2023).

En las tablas 2 y 3 se muestran los datos de las variables de temperatura media anual y precipitación media anual con los cuales se halló la evapotranspiración potencial, para con esta hallar la relación de evapotranspiración potencial sobre precipitación media anual. Con el promedio de estas variables se pudo interceptar en la pirámide de Holdridge para así establecer el tipo de clima.

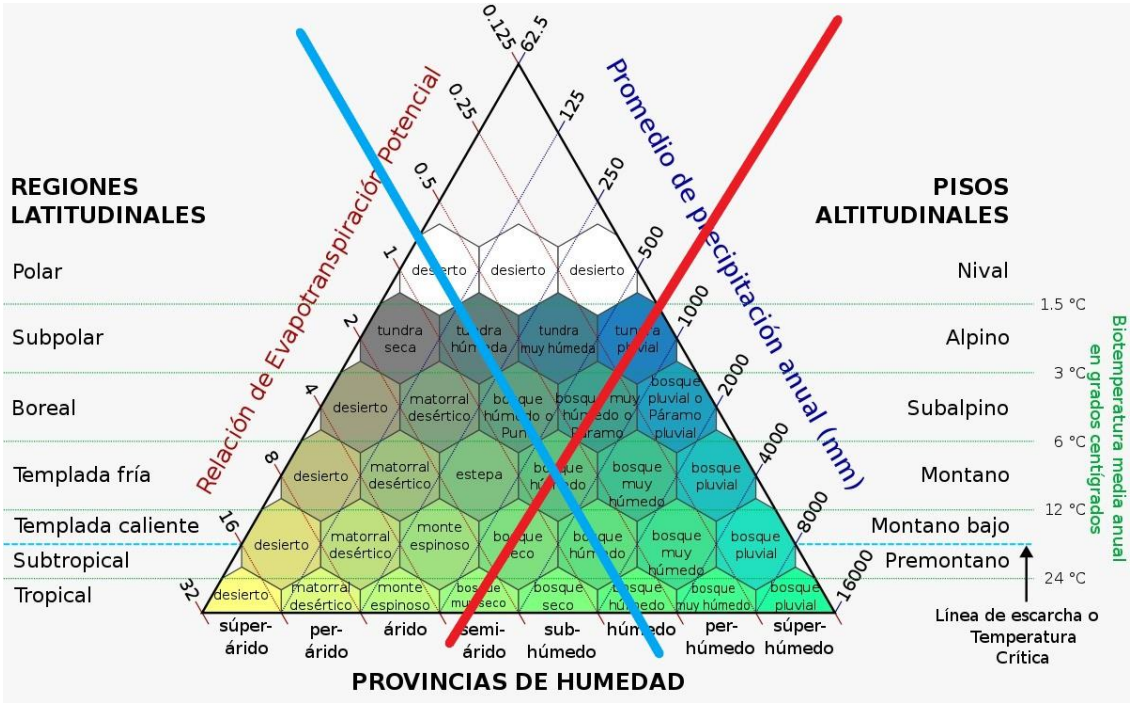


Figura 6: Pirámide de Holdridge. Fuente**:** Ruiz, Soto, 2014 editado Rivera (2023).

Gracias a todos estos valores se pudo obtener que Pamplona, Norte de Santander se encuentra dentro de la zona IV de la pirámide de Holdridge, que corresponde a los bosques húmedo – montano en una región latitudinal fría . Esta zona se caracteriza por temperaturas frescas a frías y precipitaciones abundantes. La vegetación es diversa, con árboles de hoja, arbustos y hierbas

Tabla 4

Cantidad de residuos sólidos en la celda 1

AÑOS	TON/AÑO
2005	11.007
2006	11.244
2007	11.487
2008	11.736
2009	11.991

2010	13.794
2011	13.344
2012	14.641
2013	14.506
2014	16.575
2015	17.083
2016	17.897
2017	19.199
2018	17.575
2019	19.631
2020	16.128
2021	17.556
2022	17.077
2023	19.269

Fuente: Rivera (2023).

En esta tabla 4 se puede observar el valor de los residuos dispuestos en el relleno año a año para celda 1 Se depositaron un total de 71.259 toneladas, Recibió RSU durante 6 años, entre 2005 y 2010 y esta celda ha cumplido su vida útil y ya no está operativa, también se puede observar el valor de los residuos dispuestos en el relleno año a año para celda 2 Ha recibido RSU durante 10 años, desde 2011 hasta 2020, se han depositado un total de 166579 toneladas de RSU, esta celda está llegando al final de su vida útil y se espera que se cierre en 2028

Tabla 5
Total de residuos sólidos dispuestos por celda

CELDAS	AÑOS DE SERVICIO	CANTIDAD DE RSU DISPUESTO
1	2005-2010	71259
2	2011-2020	166579
3	2020-2023	53902

Fuente: Rivera (2023).

La tabla 5 muestra el total de residuos sólidos urbanos (RSU) dispuestos en cada celda del relleno sanitario, la información se presenta para tres celdas y un período de 23 años, desde 2005 hasta 2028 y la cantidad de RSU dispuesto en cada celda se expresa en toneladas.

4.2 Estimación de determinantes en la elaboración del modelado. Cálculo de población per cápita.

El cálculo de la población per cápita para la disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario regional La Cortada se realiza considerando la población de la cabecera municipal, ya que es a esta a la que se le presta el servicio de recolección. Adicionalmente, se toma en cuenta la cantidad de residuos que cada municipio dispone en el relleno. Por lo tanto, es necesario realizar un cálculo de la proyección de la población de cada municipio que deposita sus residuos en este lugar.

Tabla 6
Censos DANE municipios.

CENSOS PAMPLONA			CENSOS CACOTA		
Año	**Total**	**Cabecera**	**Año**	**Total**	**Cabecera**
1.993	45283	37829	**1.993**	3359	994
2.005	52903	48575	**2.005**	2513	724
2.018	50025	46013	**2.018**	2781	913
r2	0,50844966		r2	0,07298049	
CENSOS CHITAGA			**CENSOS CUCUTILLA**		
Año	**Total**	**Cabecera**	**Año**	**Total**	**Cabecera**
1.993	9488	2970	**1.993**	9102	1349
2.005	9618	3395	**2.005**	8318	1275
2.018	11564	4331	**2.018**	8095	1502
r2	0,96419166		r2	0,45962231	
CENSOS LABATECA			**CENSOS MUTISCUA**		
Año	**Total**	**Cabecera**	**Año**	**Total**	**Cabecera**
1.993	6016	1215	**1.993**	2740	488
2.005	5776	1291	**2.005**	4146	531
2.018	6268	1619	**2.018**	4163	796
r2	0,89950166		r2	0,73893778	
CENSOS VETAS			**CENSOS SILOS**		
Año	**Total**	**Cabecera**	**Año**	**Total**	**Cabecera**
1.993	2175	919	**1.993**	6011	834
2.005	1709	559	**2.005**	5367	935
2.018	2114	729	**2.018**	6162	871
r2	0,25781166		r2	0,11589376	
CENSOS TOLEDO			**CENSOS TONA**		
Año	**Total**	**Cabecera**	**Año**	**Total**	**Cabecera**
1.993	17266	4001	**1.993**	5581	410
2.005	15496	4234	**2.005**	6690	509
2.018	15440	5273	**2.018**	7201	570
r2	0,89644896		r2	0,9748184	
CENSOS SURATA			**CENSOS CHARTA**		
Año	**Total**	**Cabecera**	**Año**	**Total**	**Cabecera**
1.993	4403	652	**1.993**	3606	516
2.005	3662	672	**2.005**	3142	583
2.018	3196	689	**2.018**	2549	593
r2	0,99512641		r2	0,82849961	

Fuente: Rivera (2023).

En la tabla 6 se encuentran los censos de 1993, 2005 y 2018 de cada municipio según las estadísticas reportadas en la página oficial departamento administrativo nacional de estadísticas (DANE), esto con el fin de proyectar las poblaciones a futuro.

Tabla 7
Población total

AÑO	Población total PAMPLONA	Población total CACOTA	Población total CHITAGA	Población total CUCUTILLA	Población total LABATECA	Población total MUTISCUA	Población total VETAS	Población total SILOS	Población total TOLEDO	Población total Tona	Población total Surata	Población total Charta	TOTAL
2010	44.464	886	3.727	1.407	1.430	643	732	877	4.676	512	675	571	60.597
2011	44.573	890	3.783	1.417	1.448	657	732	876	4.733	517	677	573	60.875
2012	44.684	893	3.841	1.426	1.466	671	733	875	4.791	522	678	575	61.157
2013	44.796	897	3.899	1.436	1.485	686	734	874	4.850	528	679	577	61.441
2014	44.910	900	3.958	1.446	1.503	701	735	873	4.909	533	681	579	61.729
2015	45.025	904	4.017	1.456	1.522	717	736	872	4.969	539	682	581	62.020
2016	45.141	908	4.078	1.466	1.542	732	737	871	5.030	544	683	583	62.315
2017	45.258	912	4.139	1.476	1.561	748	738	870	5.091	550	685	585	62.612
2018	45.376	916	4.201	1.487	1.581	765	740	869	5.152	556	686	587	62.914
2019	45.496	920	4.263	1.497	1.600	781	741	868	5.215	561	687	589	63.219
2020	45.617	924	4.327	1.507	1.620	798	743	867	5.277	567	689	591	63.528
2021	45.739	929	4.391	1.518	1.641	816	744	866	5.341	573	690	593	63.840
2022	45.863	933	4.456	1.528	1.661	833	746	865	5.405	579	691	595	64.156
2023	45.988	938	4.522	1.539	1.682	852	748	864	5.470	585	692	597	64.476

Fuente: Rivera (2023).

En la tabla 7 se puede observar el análisis de los promedios de proyección de población de cada municipio , con la cual se realizó la suma para obtener proyección total para cada año

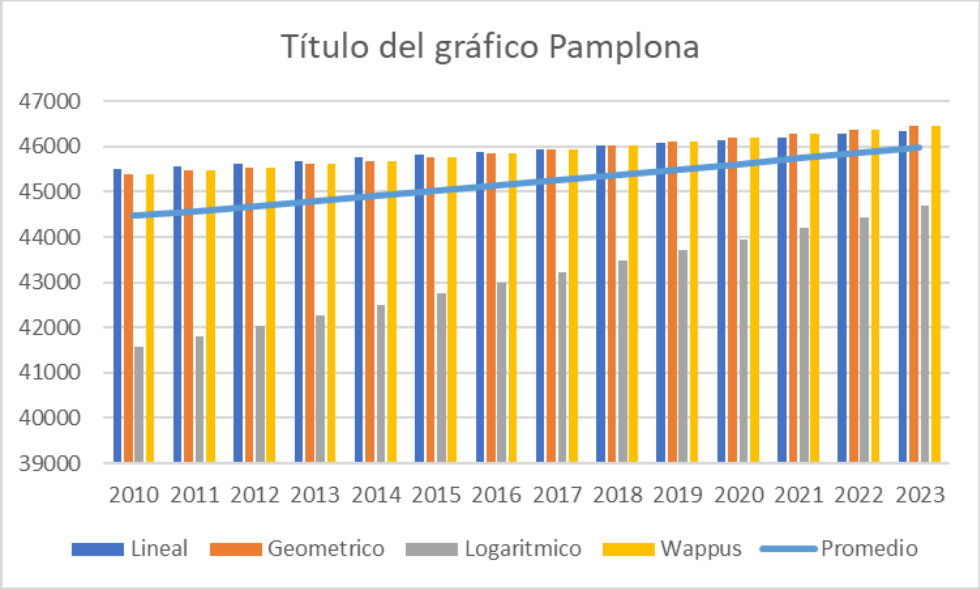


Figura 7: Diagrama de Proyección de población Pamplona. Fuente: Rivera (2023).

Se puede observar la proyección de población de Pamplona, Norte de Santander, Colombia desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

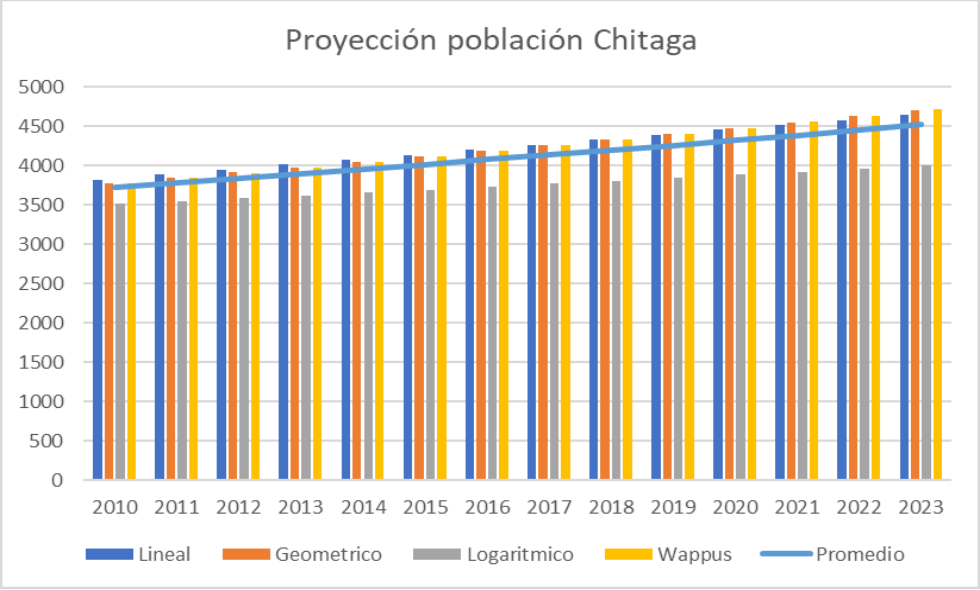


Figura 8: Diagrama de Proyección de población Chitaga. Fuente: Rivera (2023).

Se observa la proyección de población de Chitaga, Norte de Santander, Colombia desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

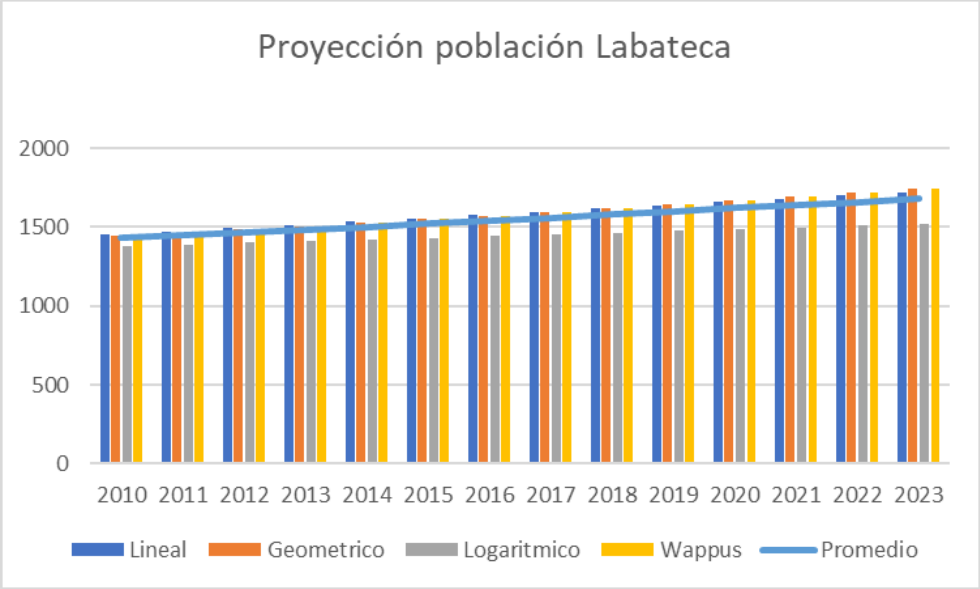


Figura 9**:** Diagrama de Proyección de población Labateca. Fuente**:** Rivera (2023)

Se muestra la proyección de población de Labateca, Norte de Santander, Colombia desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es constante con una leve ascendencia de población.

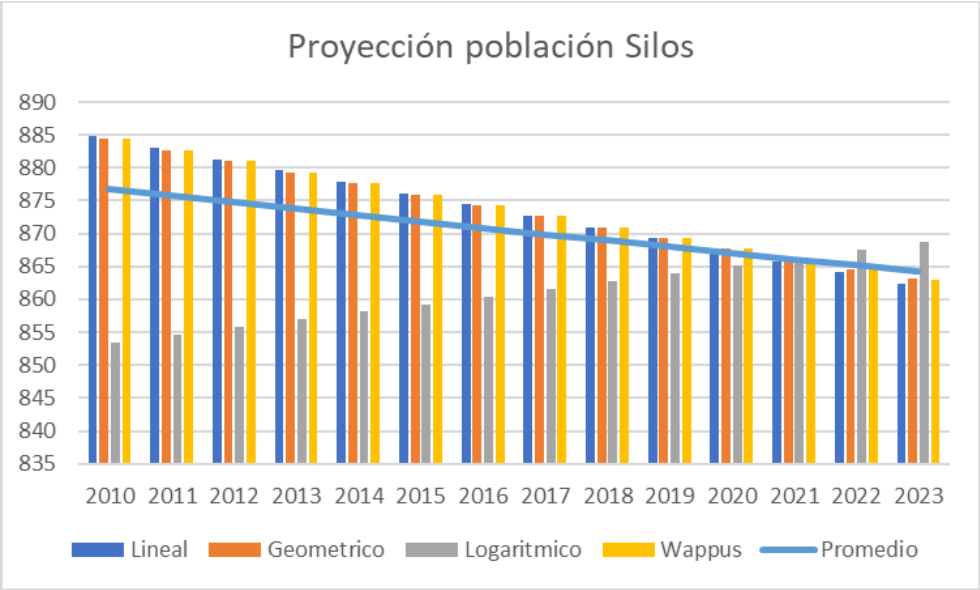


Figura 10: *Diagrama de Proyección de población Silos.* Fuente: Rivera (2023).

Se muestra la proyección de población de Silos, Norte de Santander, Colombia desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es descendente

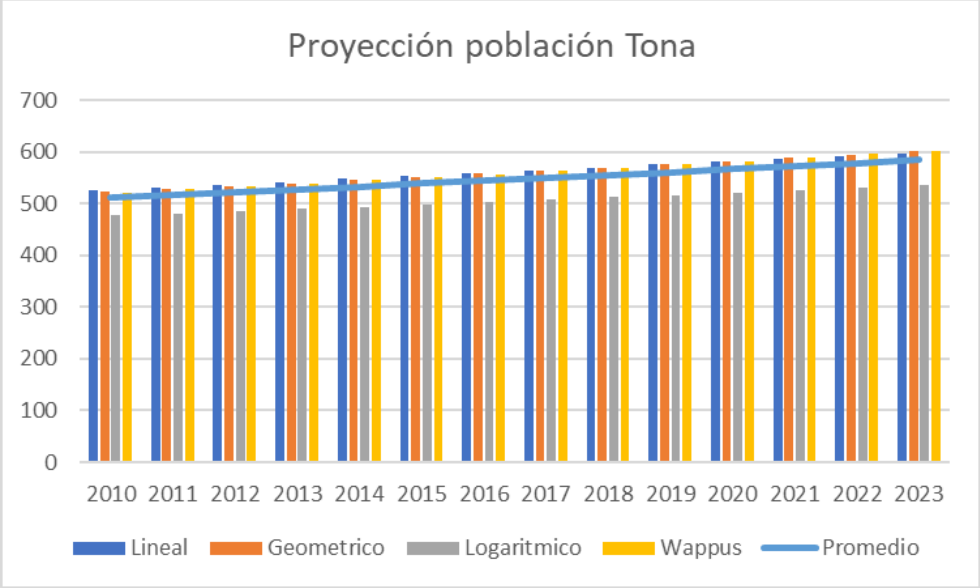


Figura 11: *Diagrama de Proyección de población Tona.* Fuente: Rivera (2023).

Se observa la proyección de población de Tona Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

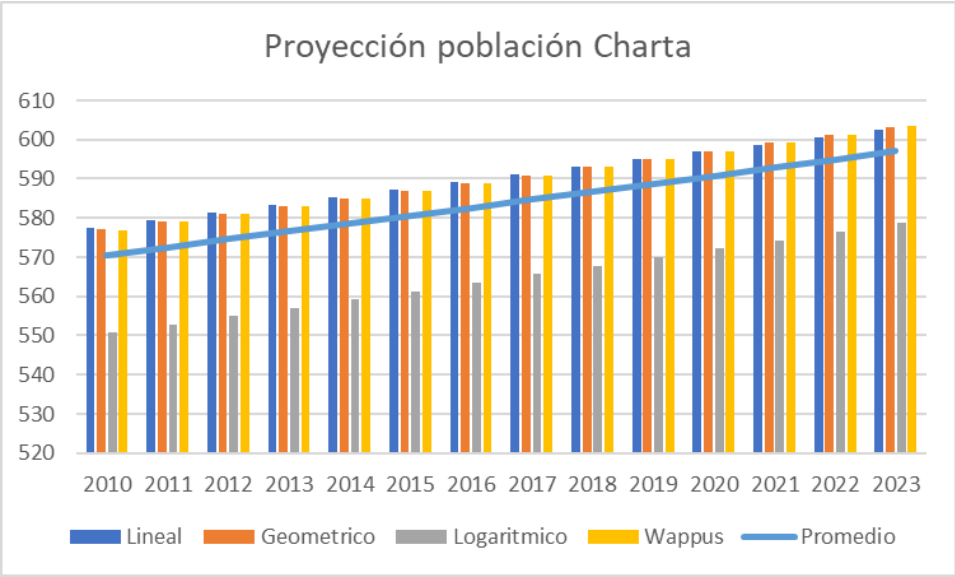


Figura 12: *Diagrama de Proyección de población Charta.* Fuente: Rivera (2023).

Se muestra la proyección de población de Charta Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

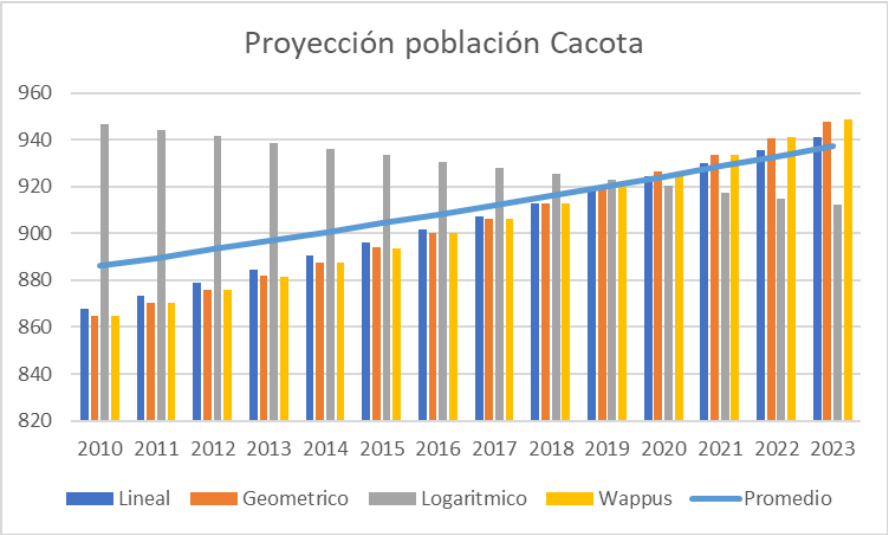


Figura 13: *Diagrama de Proyección de población Cacota.* Fuente: Rivera (2023).

Se muestra la proyección de población de Cacota, Norte de Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

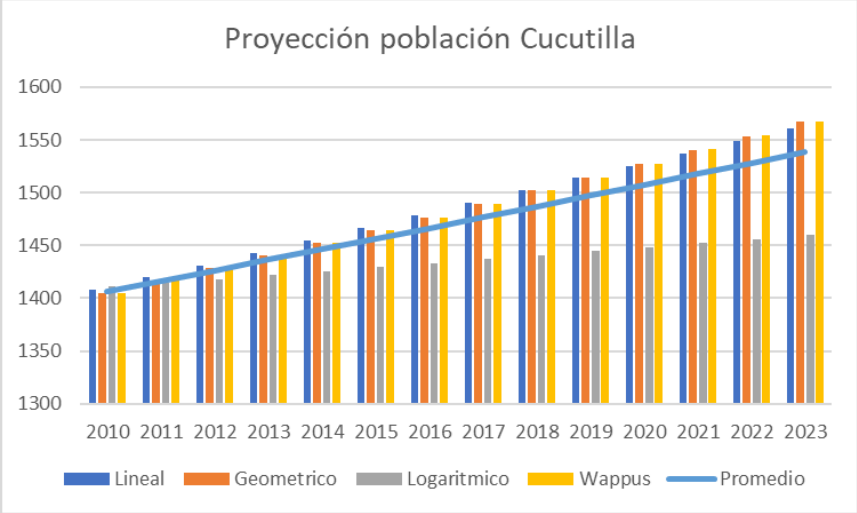


Figura 14: *Diagrama de Proyección de población Cucutilla.* Fuente: Rivera (2023).

Se puede observar la proyección de población de Cucutilla, Norte de Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

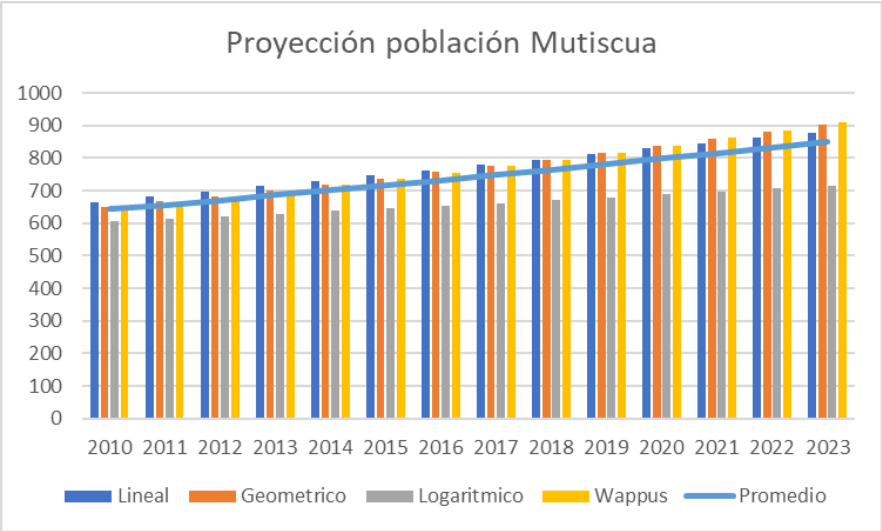


Figura 15: *Diagrama de Proyección de población Mutiscua.* **Fuente:** Rivera (2023).

Como se observa en esta proyección de población de Mutiscua, Norte de Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

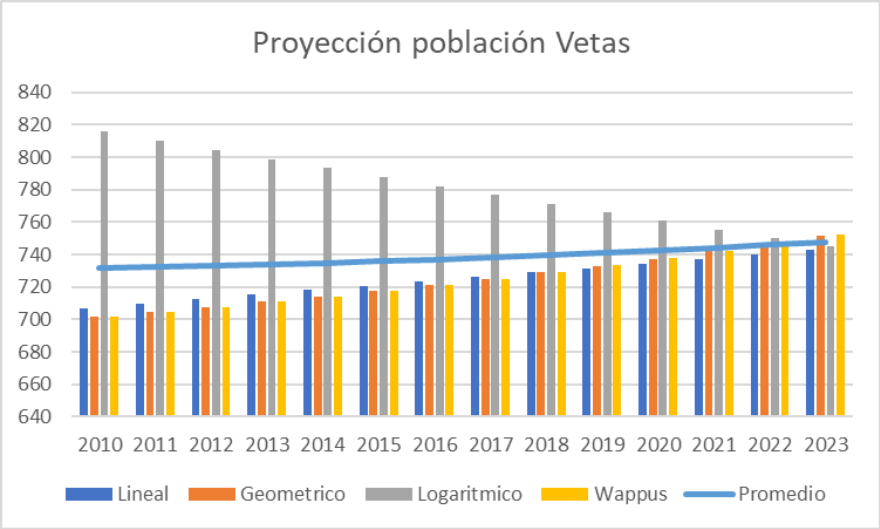


Figura 16: *Diagrama de Proyección de población Vetas.* Fuente**:** Rivera (2023).

Como se observa la proyección de población de Vetas Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es constante .

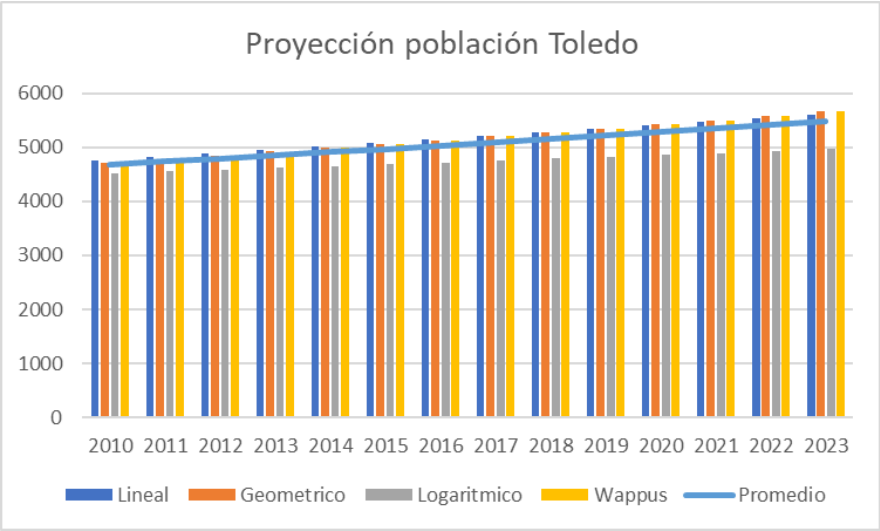


Figura 17: *Diagrama de Proyección de población Toledo.* Fuente: Rivera (2023).

se muestra en la proyección de población de Toledo, Norte de Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente.

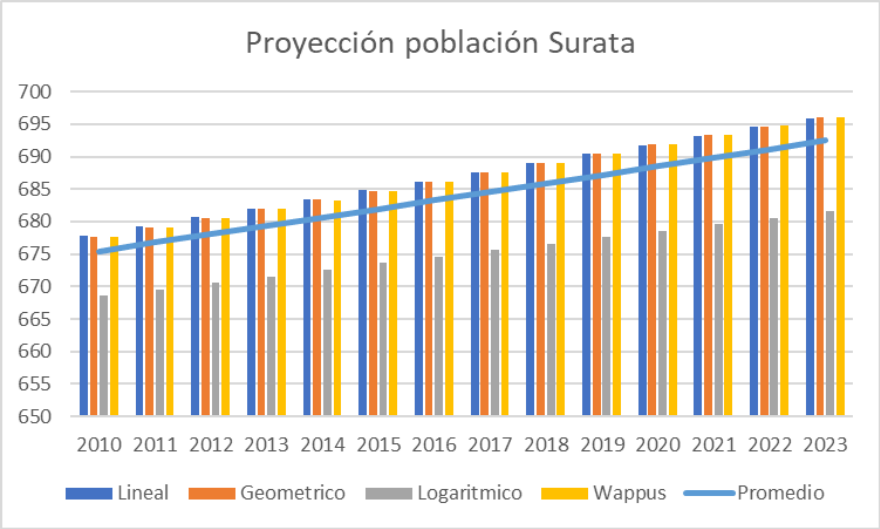


Figura 18: *Diagrama de Proyección de población Surata.* Fuente**:** Rivera (2023).

Como se muestra en la proyección de población de Surata Santander, desde 2010 hasta 2023. La tendencia general de la gráfica es ascendente

En general, las proyecciones de población de los municipios presentan un comportamiento ascendente, con la excepción del municipio de Silos, Norte de Santander.

La tabla 8 muestra las proyecciones de población para los municipios de Pamplona, Cúcuta, Labateca, Mutiscua, Toledo, Silos, Chitagá, Cácota, Vetas y Suratá en Norte de Santander, Colombia, los resultados obtenidos son encontrados a partir de proyecciones de información demográfica y censos realizados a cano uno de los municipios, cuyos valores pueden variar su tendencia dependiendo de factores tantto demográficos como socioeconómicos, Las proyecciones se dan para los años 2010 a 2023. La tabla muestra que la población total proyectada para los municipios aumento de 60.397 en 2010 a 64.476 en 2023. Este es un aumento del 6,7%. El municipio con la mayor población proyectada en 2023 es Pamplona, con 45.988 habitantes. El municipio con la menor población proyectada en 2023 es Suratá, con 397 habitantes.

4.3 Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero- Modelación con LandGEM.

Tabla 8

Calculo de la producción per capital de residuos sólidos.

Año	Población (Hab-año)	Toneladas	Ton-día	PPC
2010	60597,36398	13794	37,79178082	0,623653874
2011	60875,45164	13344	36,55890411	0,600552491
2012	61156,71575	14641,907	40,1148137	0,655934728
2013	61441,20641	14506,034	39,7425589	0,646838844
2014	61728,97524	16575,862	45,41332055	0,735688878
2015	62020,07546	17083,801	46,80493425	0,754673933
2016	62314,56199	17897,478	49,0341863	0,786881665
2017	62612,49152	19199,399	52,60109315	0,840105415
2018	62913,92262	17575	48,15068493	0,765342279
2019	63218,91582	19631	53,78356164	0,850751092
2020	63527,53373	16128	44,18630137	0,695545676
2021	63839,84118	17556	48,09863014	0,753426532
2022	64155,90529	17077	46,78630137	0,729259468
2023	64475,7957	19.269	52,79178082	0,81878448

Fuente: Rivera (2023).

Se puede observar que en la tabla 8 se tiene registro de la población total y las toneladas por día que se dispusieron en el relleno sanitario regional la cortada, la información de los datos de estas toneladas proviene de la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P la cual es la encargada del relleno sanitario regional la cortada, para el cálculo de la población per capital (PPC)se realizó mediante la formula anteriormente mencionada en metodología.

En esta tabla se encuentran los datos de las proyecciones de población, las toneladas, y el valor de la producción per capital de cada año.

Tabla 9

Toneladas de residuos sólidos dispuestos en el relleno por cada año

Año	Residuos Aceptados		Residuos en el lugar	
	(Ton/año)	**(Ton cortas/año)**	**(Ton/año)**	**(Ton cortas/año)**
2005	11007	12107,7	0	0
2006	11244	12368,4	11007	12107,7
2007	11487	12635,7	22251	24476,1
2008	11736	12909,6	33738	37111,8
2009	11991	13190,1	45474	50021,4
2010	13794	15173,4	57465	63211,5
2011	13344	14678,4	71259	78384,9
2012	14641	16105,1	84603	93063,3
2013	14506	15956,6	99244	109168,4
2014	16575	18232,5	113750	125125
2015	17083	18791,3	130325	143357,5
2016	17897	19686,7	147408	162148,8
2017	19199	21118,9	165305	181835,5
2018	17575	19332,5	184504	202954,4
2019	19631	21594,1	202079	222286,9
2020	16128	17740,8	221710	243881
2021	17556	19311,6	237838	261621,8
2022	16128	17740,8	255394	280933,4
2023	17556	19311,6	291.740	298674,2

Fuente: Rivera (2023).

La tabla 9 evidencia la cantidad de residuos aceptados y residuos en el lugar, desde 2005 hasta 2023, la primera representa la cantidad de residuos aceptados es la cantidad de residuos en el lugar que han sido aceptados para su tratamiento o disposición final.

Se puede observar que la cantidad de residuos aceptados se ha ido incrementando al transcurrir de los años, con un aumento considerable entre 2010 y 2011. Esto se debió a que se vincularon más municipios al relleno sanitario regional la cortada para disponer sus residuos sólidos , también influyo el aumento de la población, el crecimiento económico y el cambio en los hábitos de consumo.

En 2023, la cantidad de residuos aceptados alcanzó las 19311,6 toneladas, lo que representa un aumento del 62,7 % respecto a 2005, la diferencia entre la cantidad de residuos aceptados y la cantidad de residuos en el lugar representa la cantidad de residuos que aún no han sido aceptados para su tratamiento la cual se conoce como residuos no aprovechados. En 2023, la cantidad de residuos no aprovechados alcanzó las 19311,6 toneladas, lo que representa un 6,47 % de la cantidad total de residuos generados. Esta cifra es relativamente baja, lo que indica que la gestión de residuos en pamplona es relativamente eficiente.

Tabla 10

Resultados de total de gases en la celda 1, metano, dióxido de carbono y NMOC.

Año	Total, de gas en el vertedero	Metano	Dióxido de carbono	NMOC
	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)
2005	0	0.00	0.00	0.00
2006	1002018.04	550779.45	450637.74	600.85
2007	1521180.67	836147.68	684120.83	912.16
2008	1801110.62	990016.83	810013.77	1080.02
2009	1962787.35	1078885.71	882724.67	1176.97
2010	2066287.45	1135776.63	929271.79	1239.03
2011	2281819.5	1254248.18	1026203.05	1368.27
2012	2388849.56	1313079.41	1074337.70	1432.45
2013	2441999.1	1342294.13	1098240.65	1464.32
2014	2468392.39	1356801.73	1110110.51	1480.15
2015	2481498.9	1364005.99	1116004.90	1488.01
2016	2488007.4	1367583.52	1118931.97	1491.91
2017	2491239.43	1369360.07	1120385.51	1493.85
2018	2492844.41	1370242.28	1121107.32	1494.81
2019	2493641.42	1370680.37	1121465.76	1495.29
2020	2494037.2	1370897.92	1121643.75	1495.53
2021	2494233.73	1371005.95	1121732.14	1495.64
2022	2494331.34	1371059.60	1121776.04	1495.70
2023	2494379.8	1371086.24	1121797.83	1495.73
2024	2494403.87	1371099.47	1121808.66	1495.74
2025	2494415.82	1371106.04	1121814.03	1495.75
2026	2494421.76	1371109.30	1121816.70	1495.76
2027	2494424.71	1371110.92	1121818.03	1495.76
2028	2494426.18	1371111.73	1121818.69	1495.76

Fuente: Rivera (2023).

Como se puede evidenciar el total de gas en el vertedero en la celda 1 con proyección del año 2005 a 2028.

Se observan los valores reales de los gases totales , metano, dióxido de carbono y NMOC desde el año 2005 hasta el 2010, ya que para estos años se contó con los valores de residuos sólidos dispuestos en esta celda dados en la tabla 10 , la proyección de los gases desde el 2011 hasta el 2028 es la emisión que va a tener esta celda después de su cierre.

Los datos muestran que la cantidad total de gas en el vertedero ha aumentado de forma constante a lo largo de los años, pasando de 0 m^3/año en 2005 a 2066287.45 m^3/año en 2010, proyectado una emisión hasta el 2028 de 2494426.18 m^3/año. El metano, que es un gas de efecto invernadero muy potente, también ha aumentado de forma constante, pasando de 0 m^3/año en 2005 a 1135776,6 m^3/año en 2010 y una proyección de 1371111.73 m^3/año, lo que representa un 55 % del total de los gases en el año 2010 y al 2028.

Tabla 11

Resultados de total de gases en la celda 2, metano, dióxido de carbono y NMOC.

Año	Total, de gas en el vertedero	Metano	Dióxido de carbono	NMOC
	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)
2011	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	1214037.52	667720.64	546316.88	728.42
2013	1934911.81	1064201.49	870710.31	1160.95
2014	2280605.08	1254332.80	1026272.29	1368.36
2015	2640508.96	1452279.93	1188229.03	1584.31
2016	2865449.80	1575997.39	1289452.41	1719.27
2017	3051209.85	1678165.42	1373044.43	1830.73
2018	3261911.57	1794051.36	1467860.20	1957.15
2019	3218791.37	1770335.25	1448456.12	1931.27
2020	3384433.46	1861438.40	1522995.06	2030.66
2021	3147985.84	1731392.21	1416593.63	1888.79
2022	3030569.43	1666813.19	1363756.24	1818.34
2023	2972262.16	1634744.19	1337517.97	1783.36
2024	2943307.63	1618819.20	1324488.43	1765.98
2025	2928929.24	1610911.08	1318018.16	1757.36

2026	2921789.14	1606984.03	1314805.11	1753.07
2027	2918243.47	1605033.91	1313209.56	1750.95
2028	3168714,186	1742792,802	1312417.23	1749.89

Fuente: Rivera (2023).

Como podemos observar en la tabla encontramos el valor total de gas en el vertedero en la celda 2 del 2011 hasta el 2020 con proyección al año 2028.

En esta tabla muestran los valores reales de los gases totales, metano, dióxido de carbono y NMOC desde el año 2011 hasta el 2020, ya que para estos años se contó con los valores de residuos sólidos dispuestos en la celda 2 dados en la tabla 10, la proyección de los gases hasta el 2028 es la emisión que va a tener esta celda después de su cierre.

Los datos muestran que la cantidad total de gas en el vertedero ha aumentado de forma constante a lo largo de los años, pasando de 0 m^3/año en 2011 a 3384433.46 m^3/año en 2020, proyectado una emisión hasta el 2028 de 3168714,186 m^3/año. El metano, que es un gas de efecto invernadero muy potente, también ha aumentado de forma constante, pasando de 0 m^3/año en 2011 a 1861438.40 m^3/año en 2023 y una proyección de 1742792,802 m^3/año lo que representa un 54,99 % del total de los gases en el año 2020 y al 2028.

Tabla 12

Resultados de total de gases en la celda 3, metano, dióxido de carbono y NMOC.

Año	Total, de gas en el vertedero	Metano	Dióxido de carbono	NMOC
	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)
2021	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	1597245.41	878484.97	718760.43	958.35
2023	2346834.57	1290759.01	1056075.55	1408.10
2024	2918497.75	1605173.76	1313323.99	1751.10
2025	3202377.29	1761307.51	1441069.78	1921.43
2026	3343347.70	1838841.23	1504506.46	2006.01
2027	3413351.53	1877343.34	1536008.19	2048.01
2028	3448114.40	1896462.92	1551651.48	2068.87

Fuente: Rivera (2023).

En esta tabla muestran los valores reales de los gases totales, metano, dióxido de carbono y NMOC desde el año 2021 hasta el 2023, ya que para estos años se contó con los valores de residuos sólidos dispuestos en la celda 3 dados en la tabla 12, la proyección de los gases hasta el 2028 es la emisión que va a tener esta celda después de su cierre.

Los datos muestran que la cantidad total de gas en el vertedero ha aumentado de forma constante a lo largo de los años, pasando de 0 m^3/año en 2021 a 2346834.57 m^3/año en 2023, proyectado una emisión hasta el 2028 de 3448114.40 m^3/año. El metano, que es un gas de efecto invernadero muy potente, también ha aumentado de forma constante, pasando de 0 m^3/año en 2021 a 1290759.01 m^3/año en 2023 y una proyección de 1896462.92 m^3/año lo que representa un 52,99 % del total de los gases en el año 2023 y al 2028.

Tabla 13

Resultados de total de gases celda 3, metano, dióxido de carbono y NMOC.

AÑO	TOTAL, DE GAS EMITIDO POR EL RELLENO			
	Total, de gas en el vertedero	Metano	Dióxido de carbono	NMOC
	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)
2010	2066287.45	1135776.63	929271.79	1239.03
2020	3384433.46	1861438.40	1522995.06	2030.66
2023	2346834.57	1290759.01	1056075.55	1408.10
2023	7797555.48	4287974.04	3508342.4	4677.79
2028	5942540.58	3267574.65	3985887.4	5314.52

Fuente: Rivera (2023).

En la tabla 13 se evidencia el total de gas en el vertedero en la celda 3 con proyección del año 2010 a 2028.

Los datos de la tabla muestran que la cantidad total de gas en el vertedero se espera que sea 7797555.48 m3/Año para el año 2023 y se proyecta que al 2028 se encuentren 5942540.58 m3/Año emitidos en el relleno sanitario.

Estos datos sugieren que la producción de gas de vertedero es un problema creciente que podría tener un impacto significativo en el clima.

Estos datos sugieren que la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera está aumentando a un ritmo acelerado, lo que podría tener un impacto significativo en el clima. Las emisiones de gases de vertedero contribuyen al cambio climático, ya que el metano es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el dióxido de carbono. (Vargas, y otros, 2022)

Comparando los resultados de estos cuatro gases tenemos que para el total de gas la produccón de gas ha aumentado constantemente durante el período de estudio (2005-2023), con una tasa de crecimiento anual promedio (TCMA) del 7,4%. El metano, el principal componente del gas de vertedero, también ha experimentado un crecimiento constante, con una TCMA del 7,3%. El dióxido de carbono ha seguido una tendencia similar al metano, con una TCMA del 7,2%. y los compuestos orgánicos no metánicos (NMOC) han tenido un crecimiento ligeramente menor, con una TCMA del 6,9%.

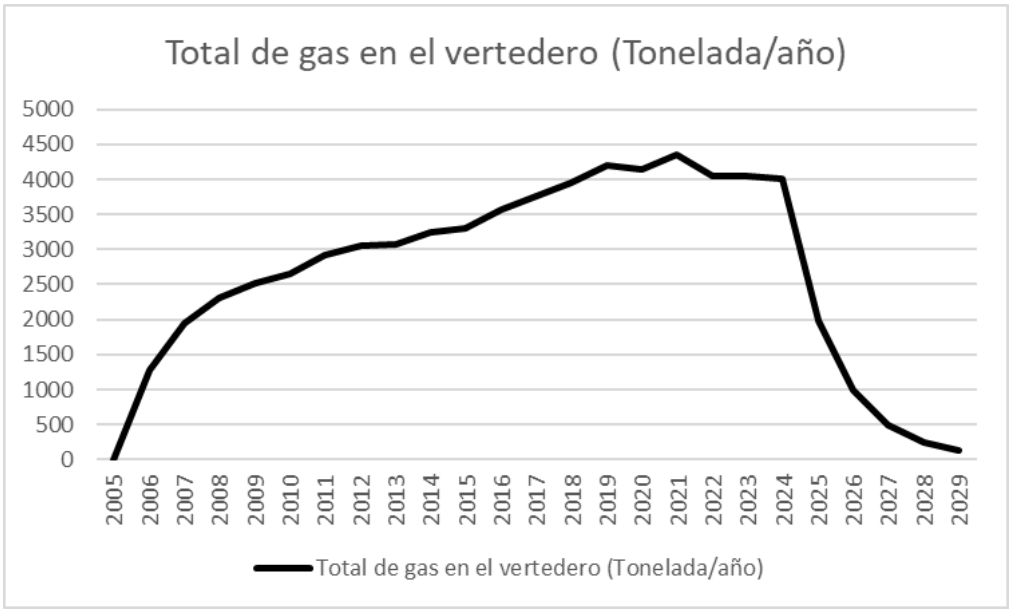


Figura 19: Grafica Total de gas en el vertedero. Fuente**:** Rivera (2023).

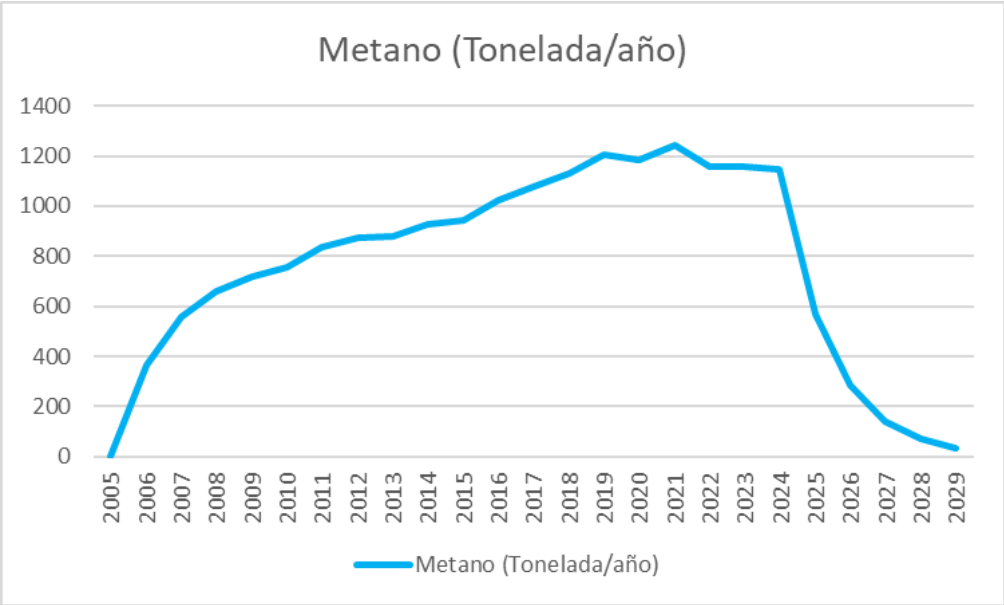


Figura 20: Grafica Metano Fuente: Rivera (2023).

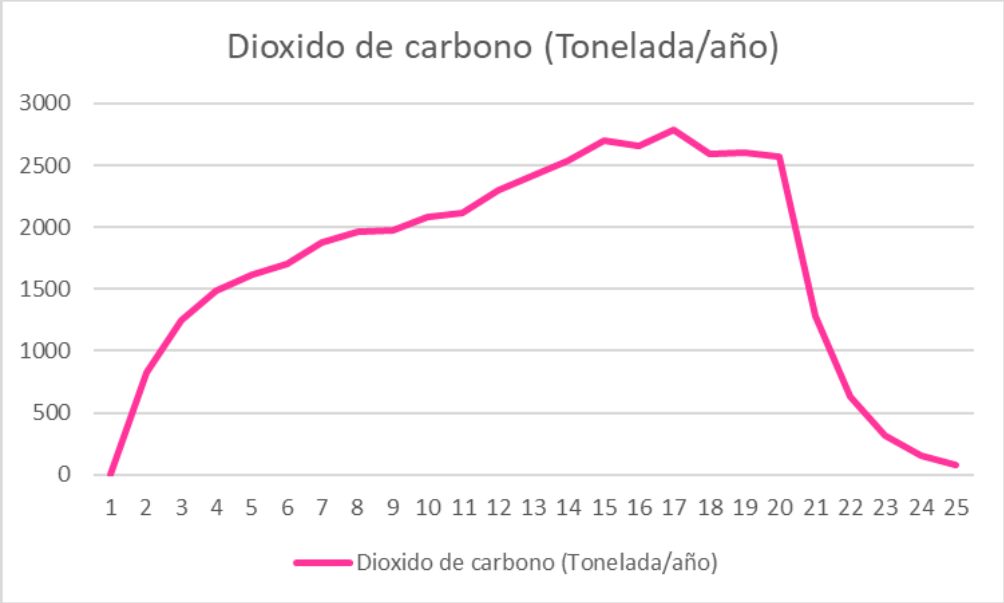


Figura 21: Grafica Dióxido de carbono. Fuente**:** Rivera (2023).

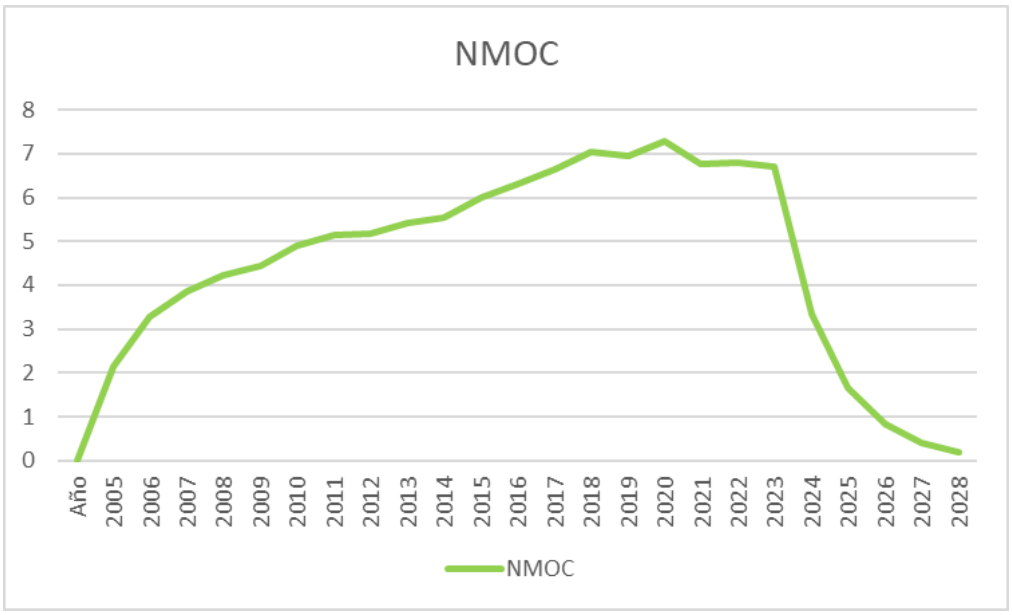


Figura 22:Grafica NMOC. Fuente**:** Rivera (2023).

Como se puede observar en las figuras 20, 21,22 y 23 muestran que las emisiones totales de gases de vertedero han aumentado de forma constante desde 2005, pasando de 1283,99 toneladas a 3894,36 toneladas en 2023, el dióxido de carbono es el principal componente de los gases de vertedero, representando alrededor del 64,24% de las emisiones totales. Las emisiones de metano representan alrededor del 28,61% de las emisiones totales, las emisiones de NMOC representan alrededor del 0,16% y 6,98 % de otros gases.

Tabla 14

Resultados de total de gases en el vertedero, metano, dióxido de carbono y NMOC.

GAS TOTAL Año a Año				
Año	**Total de gas en el vertedero**	**Metano en el vertedero**	**Dióxido de carbono Vertedero**	**NMOC en el Vertedero**
	(m3/Año)	**(m3/Año)**	**(m3/Año)**	**(m3/Año)**
2005	0	0	0	0
2006	1002018.04	550779.45	450638	600.85
2007	1521180.67	836147.68	684121	912.16
2008	1801110.62	990016.83	810014	1080.02
2009	1962787.35	1078885.71	882725	1176.97
2010	2066287.45	1135776.63	929272	1239.03

2011	2281819.5	1254248.18	1026203	1368.27
2012	3602887.08	1980800.05	1620655	2160.87
2013	4376910.91	2406495.62	1968951	2625.27
2014	4748997.47	2611134.53	2136383	2848.51
2015	5122007.86	2816285.92	2304234	3072.32
2016	5353457.2	2943580.91	2408384	3211.18
2017	5542449.28	3047525.49	2493430	3324.58
2018	5754755.98	3164293.64	2588968	3451.96
2019	5712432.79	3141015.62	2569922	3426.56
2020	5878470.66	3232336.32	2644639	3526.19
2021	5642219.57	3102398.16	2538326	3384.43
2022	7122146.18	4635118.2	3204293	4272.39
2023	7813476.53	5352665	3515391	4687.19
2024	8356209.25	5908416.42	3759621	5012.82
2025	8625722.35	6184394.41	3880902	5174.54
2026	8759558.6	6321441.03	3941128	5254.84
2027	8826019.71	6389496.36	3971036	5294.72
2028	5942540.58	4819226.13	3985887	5314.52

Fuente: Rivera (2023).

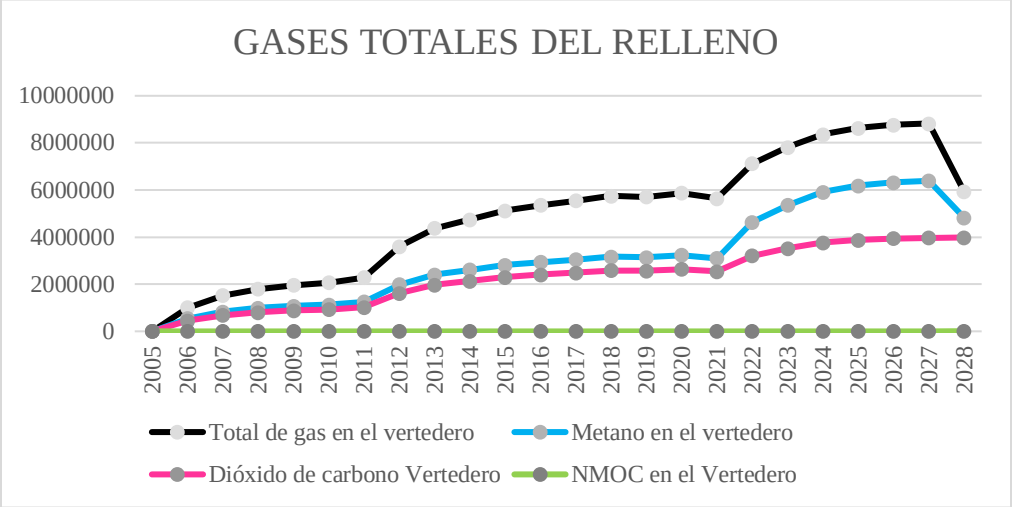


Figura 24: Grafica Gases totales del vertedero. Fuente**:** Rivera (2023).

Tabla15 ***14***

Resultados de Acumulación total de gases en el vertedero Año a año, metano, dióxido de carbono y NMOC..

Acomulacion de gases				
Año	**Total de gas en el vertedero**	**Metano en el vertedero**	**Dióxido de carbono Vertedero**	**NMOC en el Vertedero**

	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)	(m3/Año)
2005	0	0	0	0
2006	1002018	550779.45	450638	600.85
2007	2523199	1386927.13	1134759	1513.01
2008	4324309	2376943.96	1944772	2593.03
2009	6287097	3455829.67	2827497	3770
2010	8353384	4591606.3	3756769	5009.03
2011	10635204	5845854.48	4782972	6377.3
2012	14238091	7826654.53	6403626	8538.17
2013	18615002	10233150.15	8372577	11163.44
2014	23363999	12844284.68	10508960	14011.95
2015	28486007	15660570.6	12813194	17084.27
2016	33839464	18604151.51	15221579	20295.45
2017	39381913	21651677	17715008	23620.03
2018	45136669	24815970.64	20303976	27071.99
2019	50849102	27956986.26	22873898	30498.55
2020	56727573	31189322.58	25518537	34024.74
2021	62369792	34291720.74	28056862	37409.17
2022	69491939	38926838.94	31261155	41681.56
2023	77305415	44279503.94	34776546	46368.75
2024	85661624	50187920.36	38536168	51381.57
2025	94287347	56372314	42417070	56556.11
2026	103046905	62693755	46358198	61810.95
2027	111872925	69083252	50329234	67105.67
2028	117815466	73902478	54315121	72420.19

Fuente: Rivera (2023)

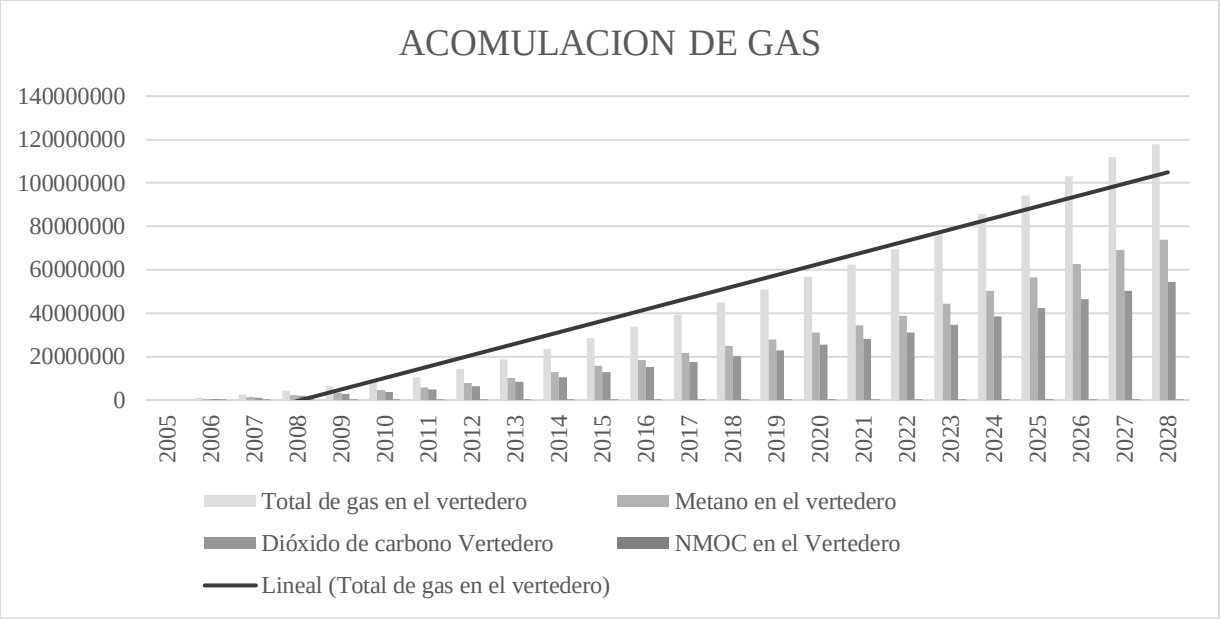


Figura 24: Grafica Gases Acomulados totales del vertedero. Fuente**:** Rivera (2023).

4.4 Representación geoespacial de contaminación por GEI mediante el uso de ArcGIS.

Para llevar a cabo la representación geoespacial de la contaminación por GEI fue necesario realizar la rosa de los vientos en el programa WRPLOT view Freeware por cada celda, para obtener la dirección y velocidad del viento para conocer la dispersión del contaminante.

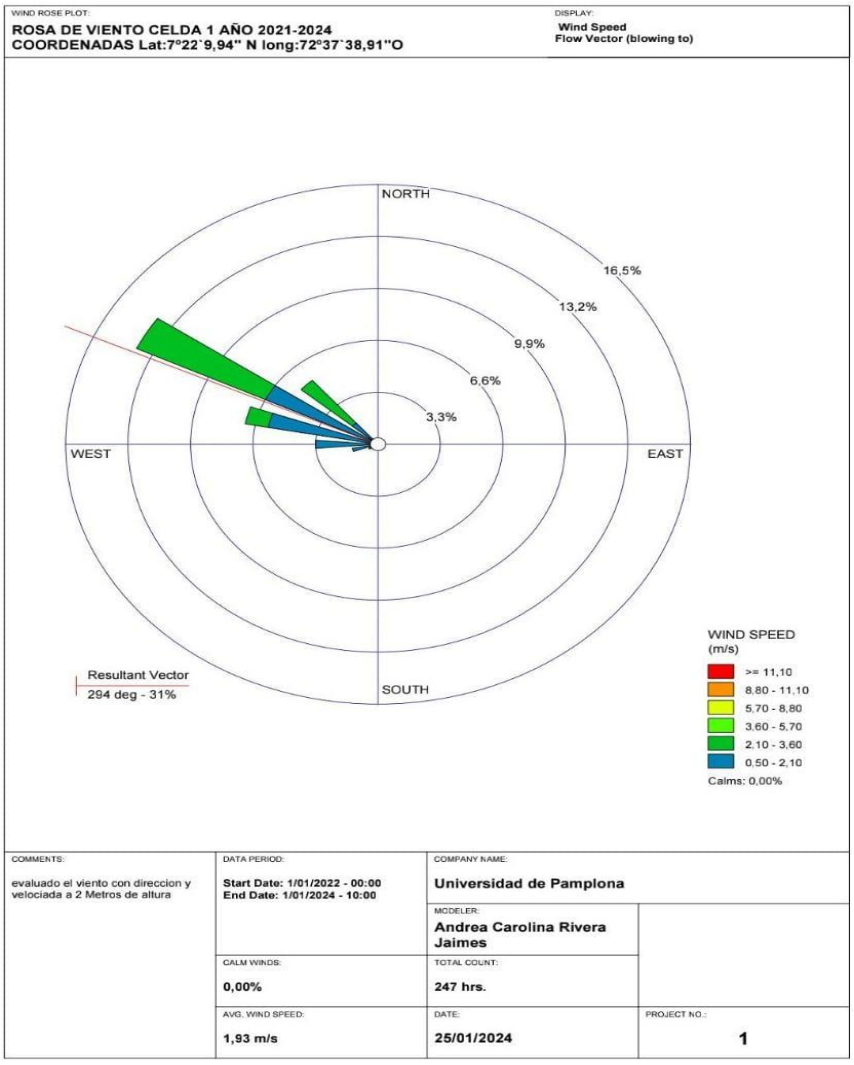


Figura 23 Rosa del viento celda 1. *Fuente***:** Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware.

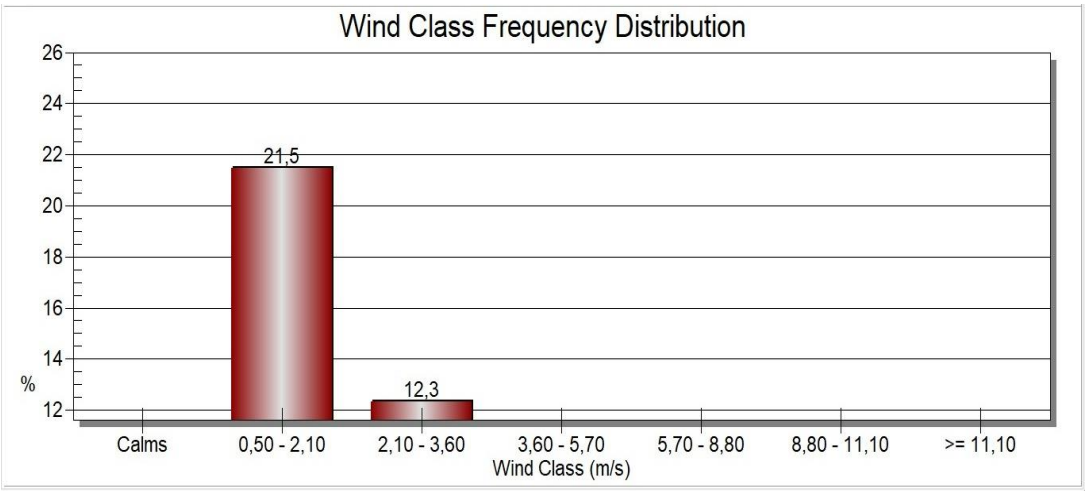


Figura 24 Frecuencia del viento en la celda antigua. Fuente*: Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware.*

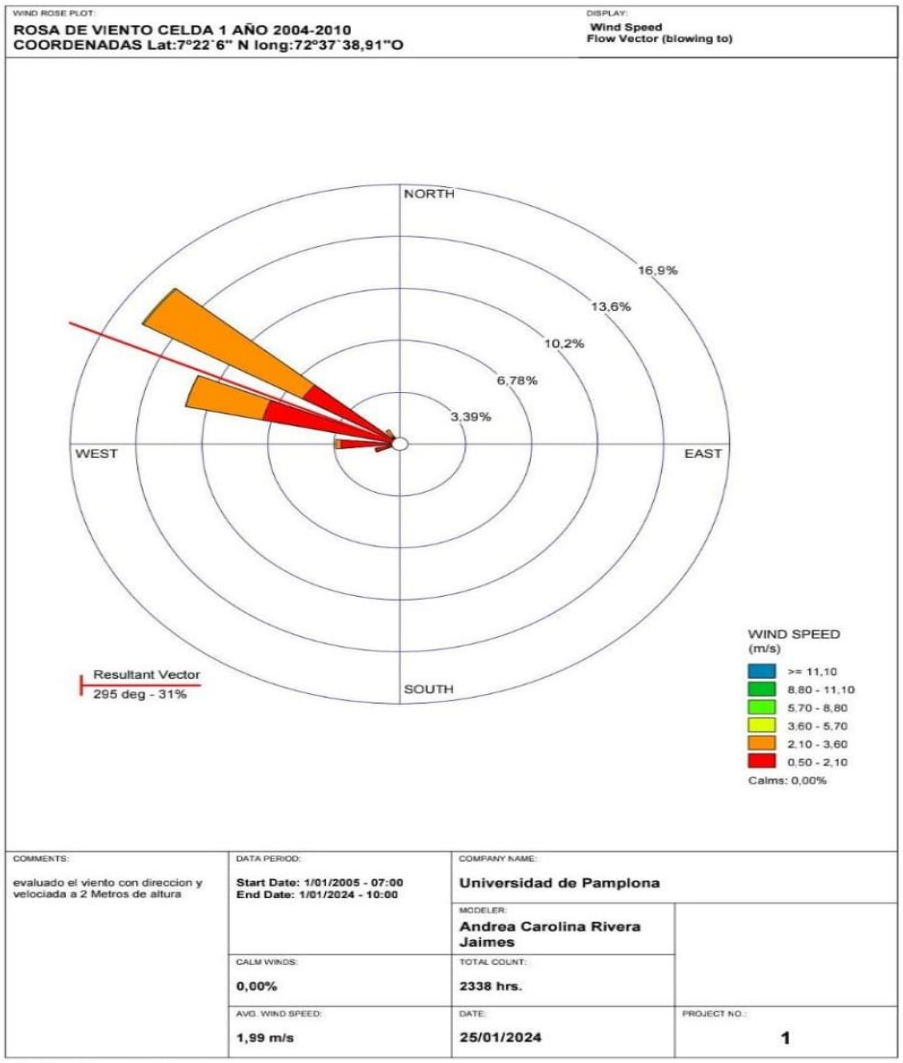


Figura 25 Rosa del viento celda 1. *Fuente***:** Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware.

se observa la rosa del viento en la celda 1 del relleno sanitario regional La Cortada y su respectivo porcentaje de predominancia esta en sentido noroeste, dicha celda funciono desde el 2005 hasta el 2010, con una predominancia de 19,3 % de vientos de 0,5 a 2,1 m/s lo que equivale a un valor de 2 en la escala de Beaufort, y un 14,31% de vientos entre 2,10 a 3,6 m/s lo que equivale a un valor de 3 en la escala de Beaufort, teniendo como resultado vientos denominados flojitos y flojos respectivamente. (Hita, 2016)

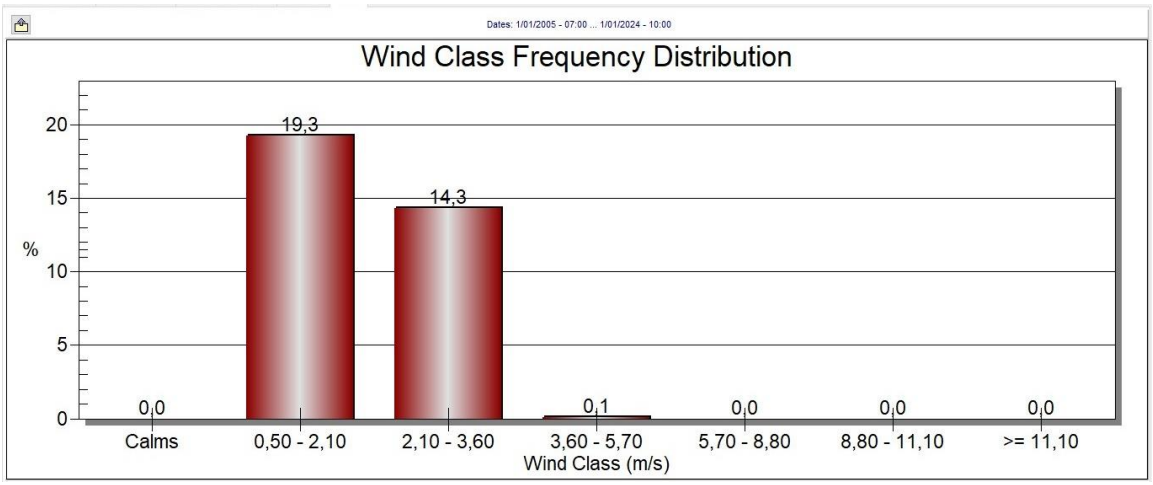
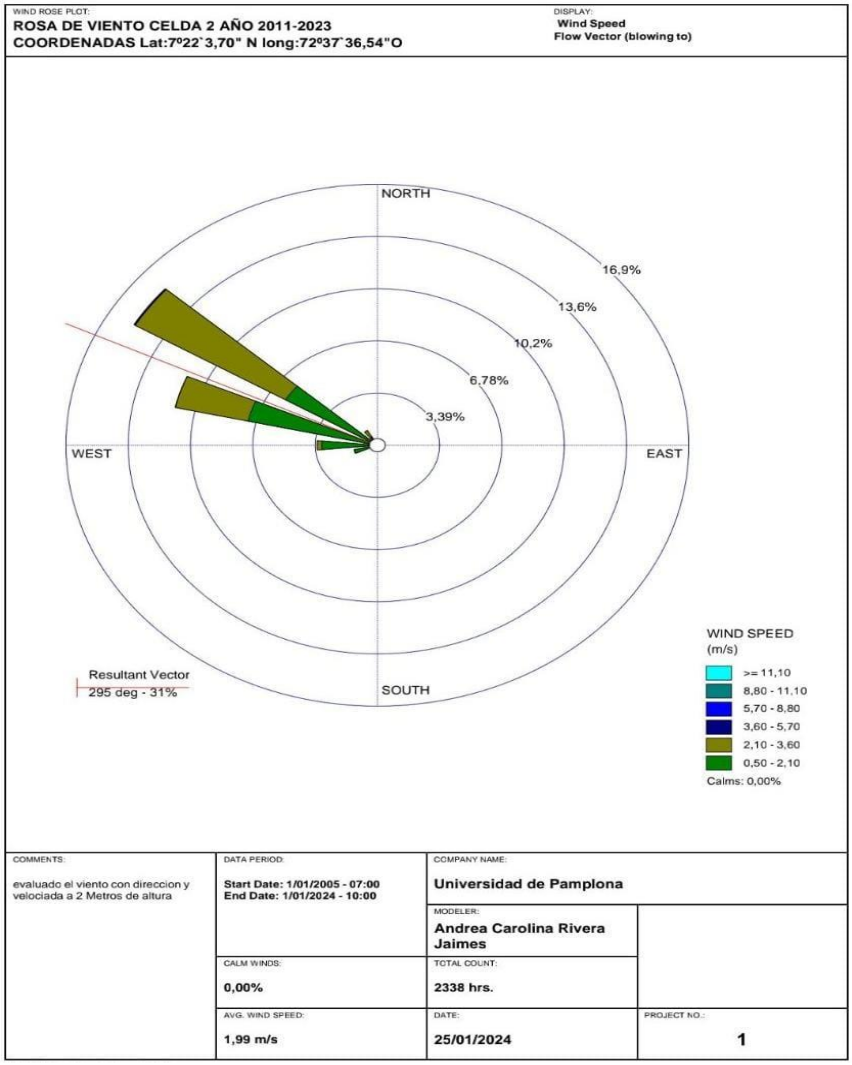


Figura 26 Frecuencia del viento en la celda antigua. Fuente***:*** *Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware.*

La mayoría de los vientos en el período de tiempo analizado tienen una velocidad entre 3,60 y 8,80 m/s. lo que nos indica que hay pocos vientos calmos o muy fuertes.



se observa la rosa del viento en la celda 2 del relleno sanitario regional La Cortada y su respectivo porcentaje de predominancia , dicha celda funciono desde el 2011 hasta el 2023, con una predominancia de 19,9 % de vientos de 0,5 a 2,1 m/s lo que equivale a un valor de 2 en la escala de Beaufort, y un 13,7% de vientos entre 2,10 a 3,6 m/s lo que equivale a un valor de 3 en la escala de Beaufort, teniendo como resultado vientos denominados flojitos y flojos respectivamente. (Hita, 2016)**Figura 27** Rosa del viento celda actual. Fuente: Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware.

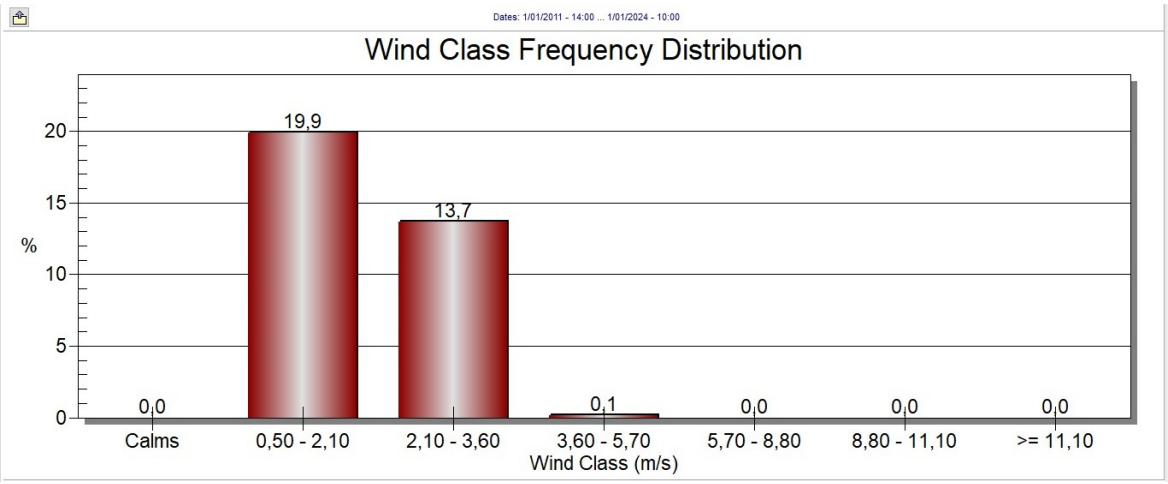


Figura 28 Frecuencia del viento en la celda actual. *Fuente***:** Rivera (2023) editado de WRPLOTview Freeware.

La mayoría de los vientos en el período de tiempo analizado tienen una velocidad entre **2 y 5m/s**.lo que nos indica hay pocos vientos muy calmos o muy fuertes. La clase de velocidad del viento más frecuente es la de **3-4 m/s** y esto equivale al (18%).









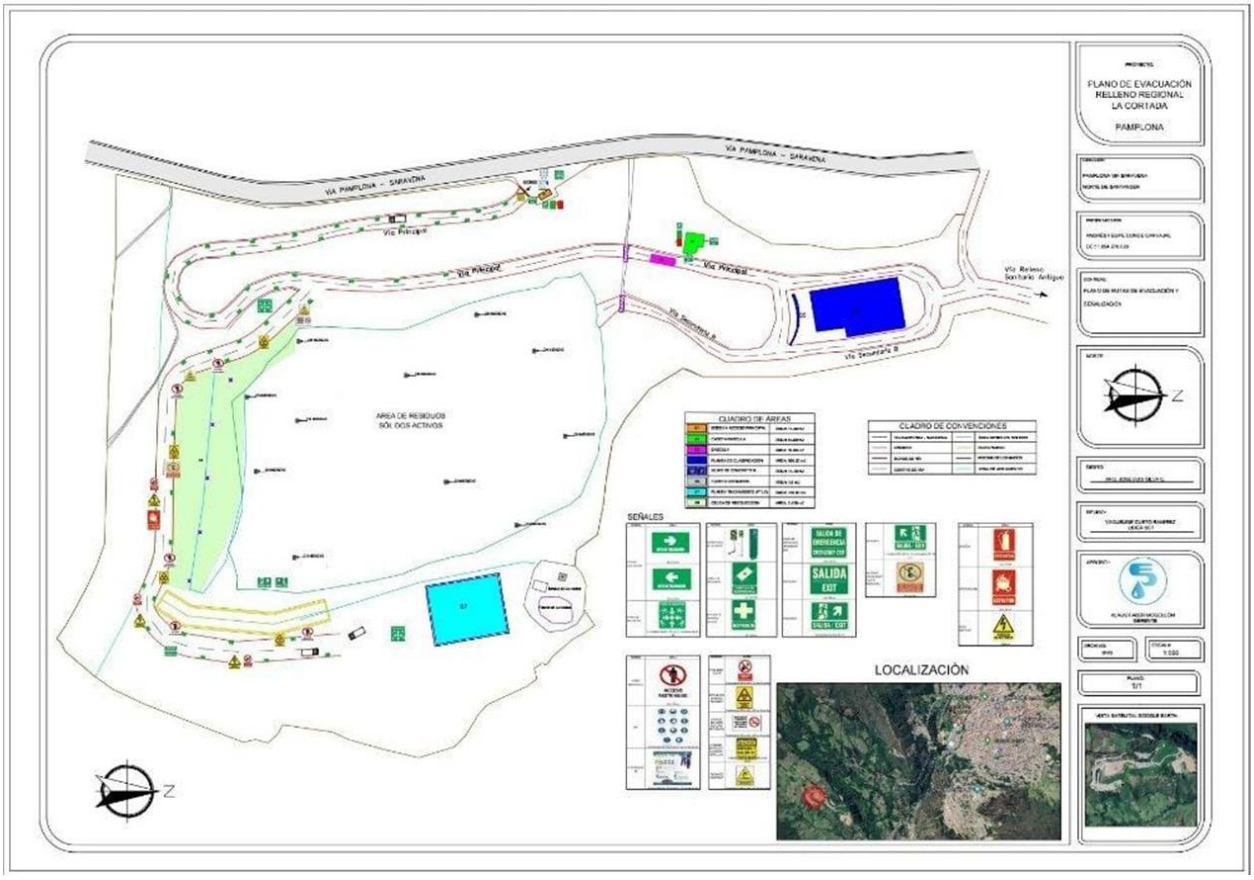


Figura 29 Frecuencia del viento en la celda actual. *Fuente***:** EMPOPAMPLONA S.A.E.S.P (2023)

Se llevo a cabo la generación de coordenadas de cada una de las chimeneas existentes por celda así como también la comparación de esta en el plano oficial como se evidencia en la figura 28.

Una vez que se obtuvieron la direccion y velocidad del viento y su vector resultante, se implemento el Modelo de Gauus,con el cual se modelo la dispercion de los contaminantes utilizando la formula matematica en la cual los contaminantes son emitidos a la altura de la chimenea y sin efecto de reflexion en el suelo, los datos que se proporcionaron al modelo fue el coeficiente de dispercion, altura del receptor desde el suelo, tasa de emision, altura de chimenea, velocidad del viento, temperatura ambiente, analizando la estabilidad de la atmosfera se obtubo que es de tipo A. Para realizar los modelos en argcis se descargo un modelo de elevacion digital (dem de ALOS PALSAR a 12.5 m) teniendo en cuenta la ubicación de la chimenea emisora del relleno sanitario por celda.

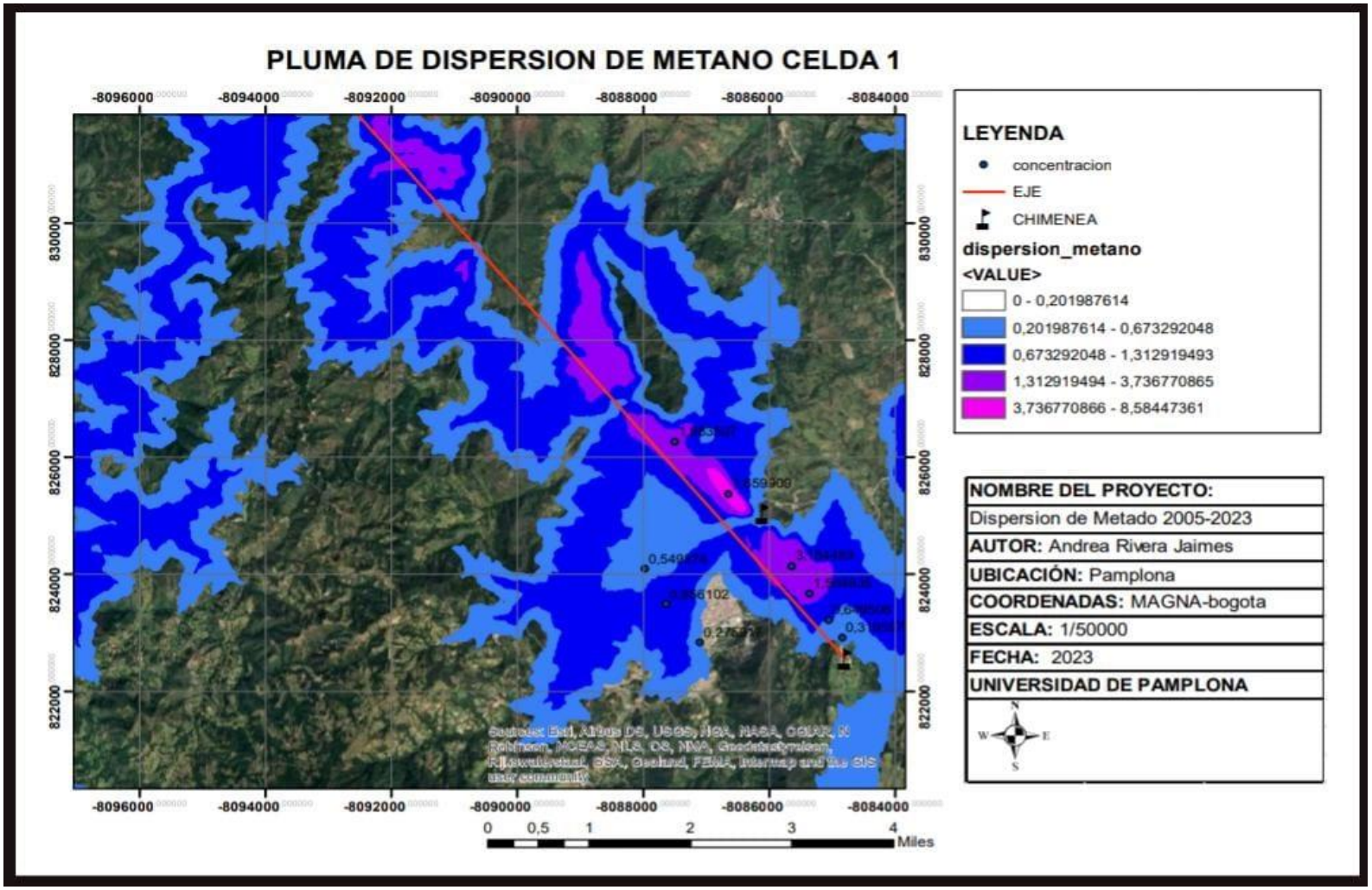


Figura 30 Dispersión de metano celda 1. *Fuente:* Rivera (2023)

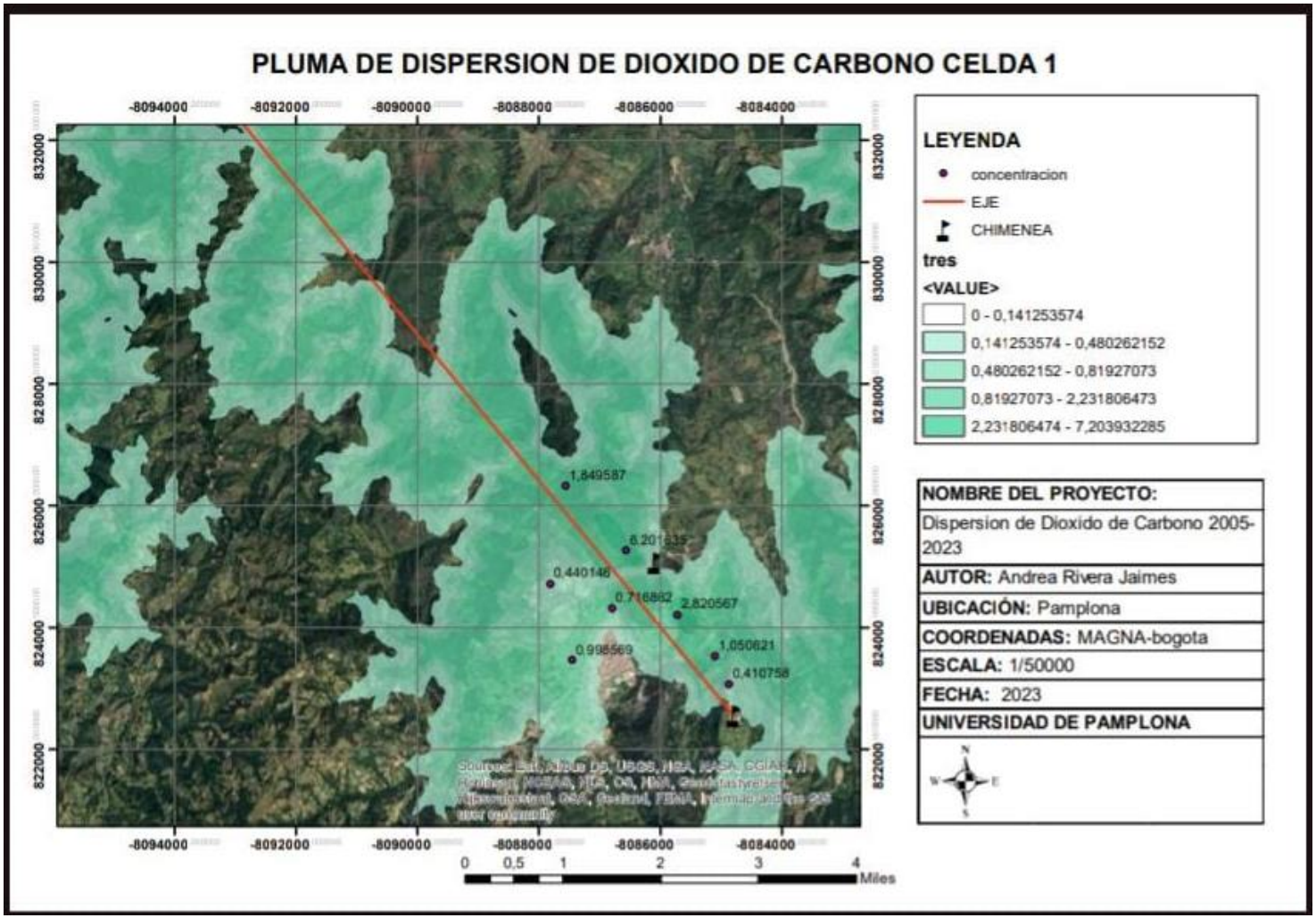


Figura 31 Dispersión de Dióxido de carbono celda 1. Fuente: *Rivera (2023)*

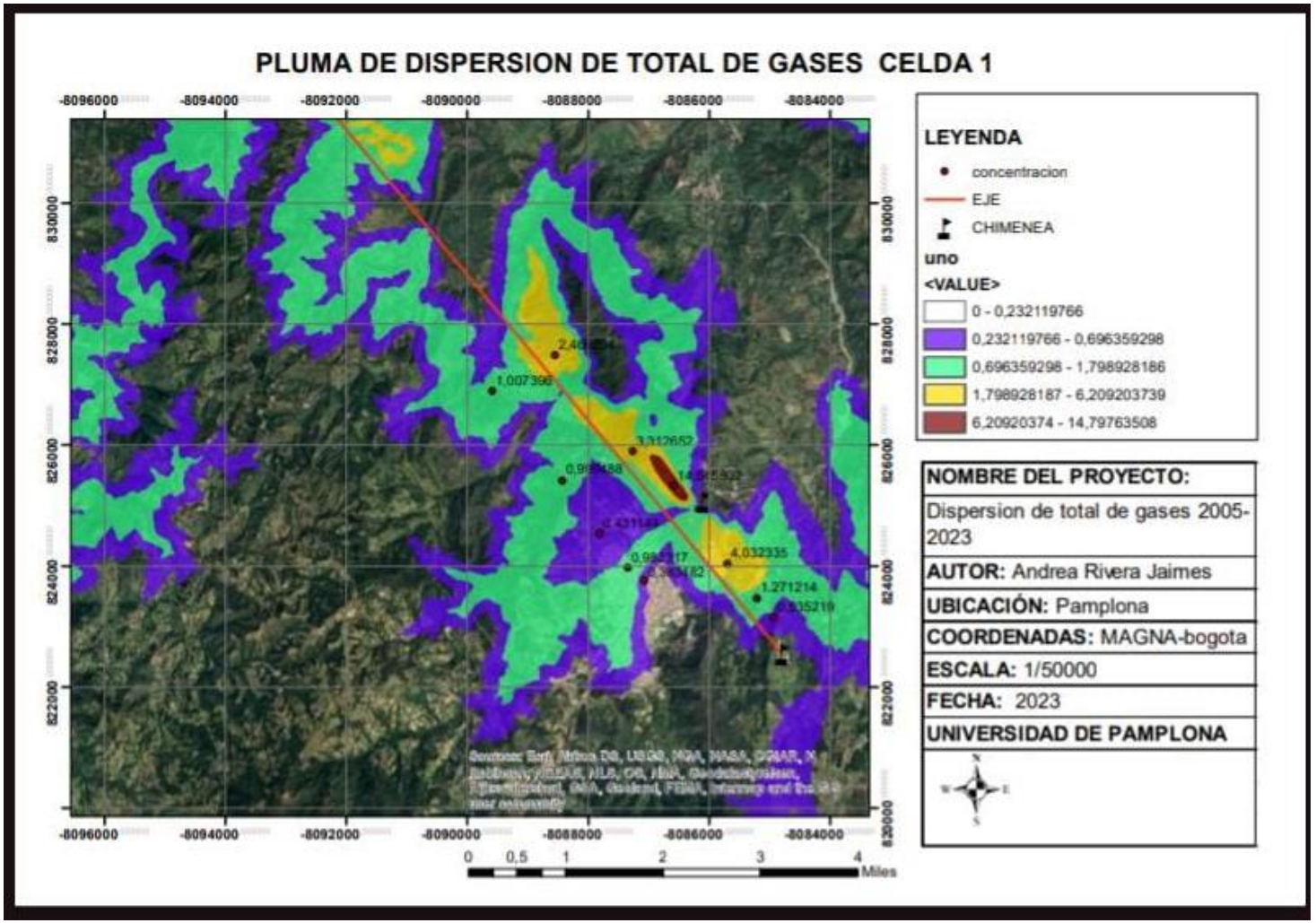


Figura 32 Dispersión de total de gases celda 1. Fuente*:* Rivera (2023)

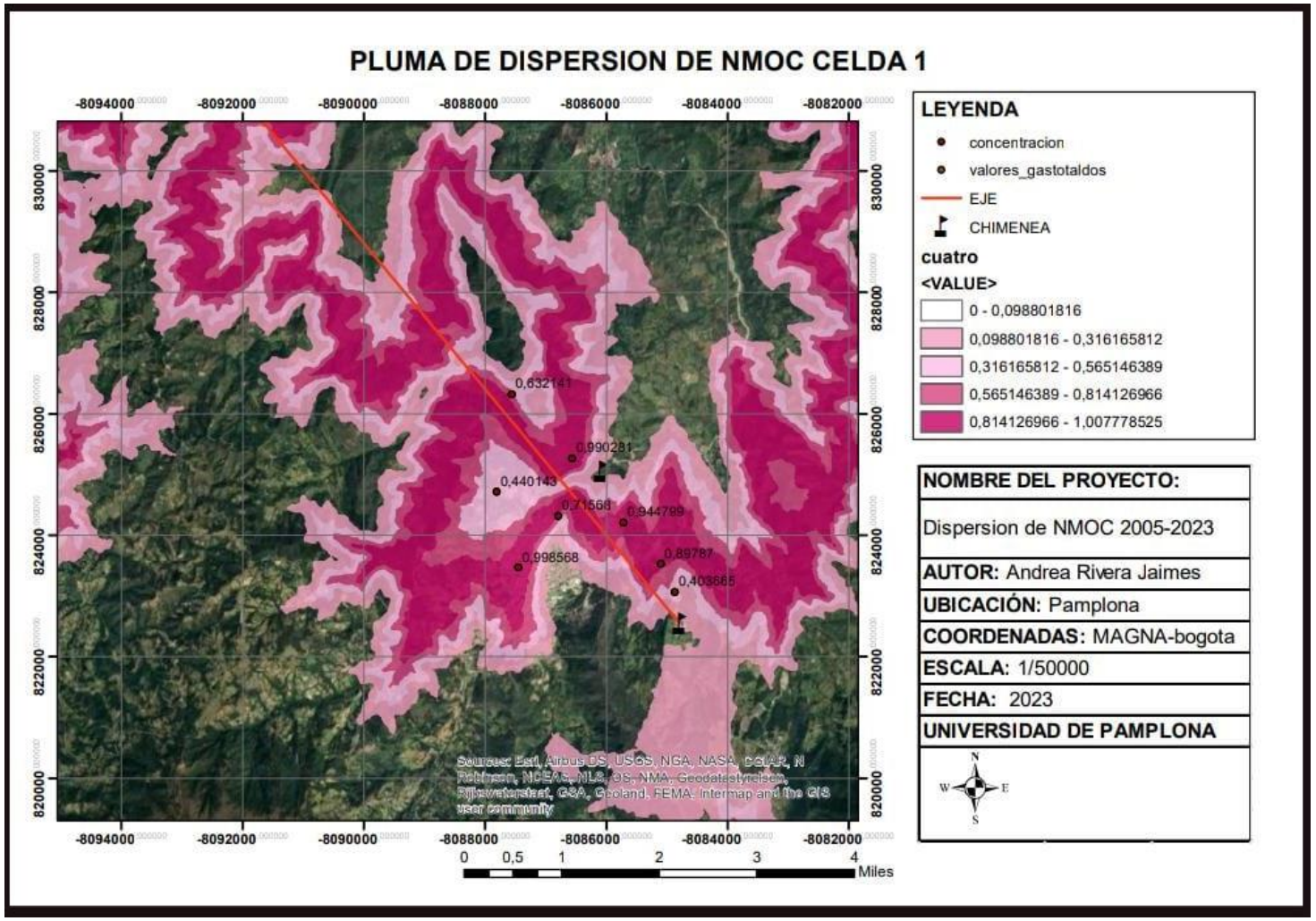


Figura 33 Dispersión de total de NMOC 1. Fuente: *Rivera (2023)*

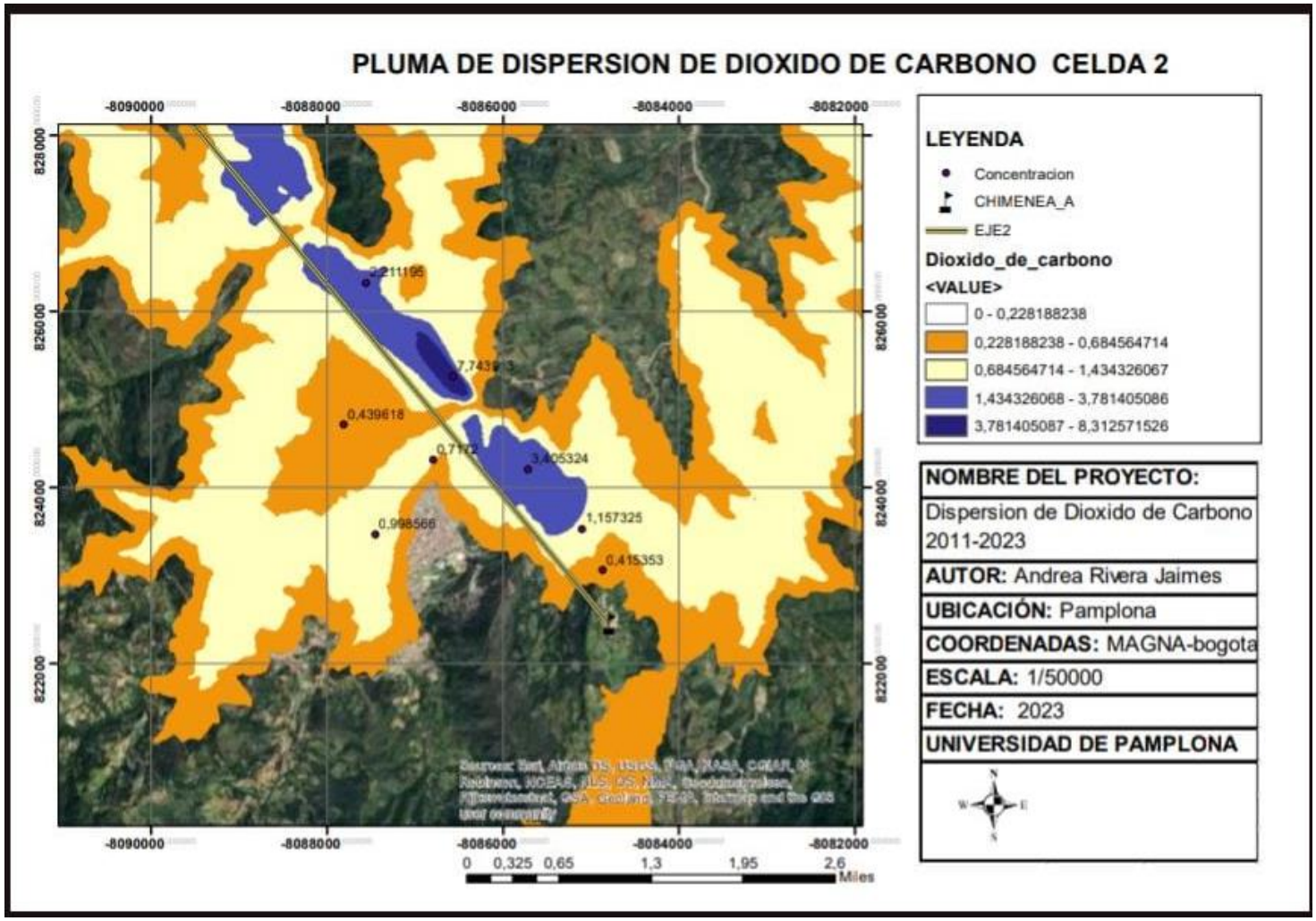


Figura 34 Dispersión de Dióxido de carbono celda 2 Fuente**:** Rivera (2023)

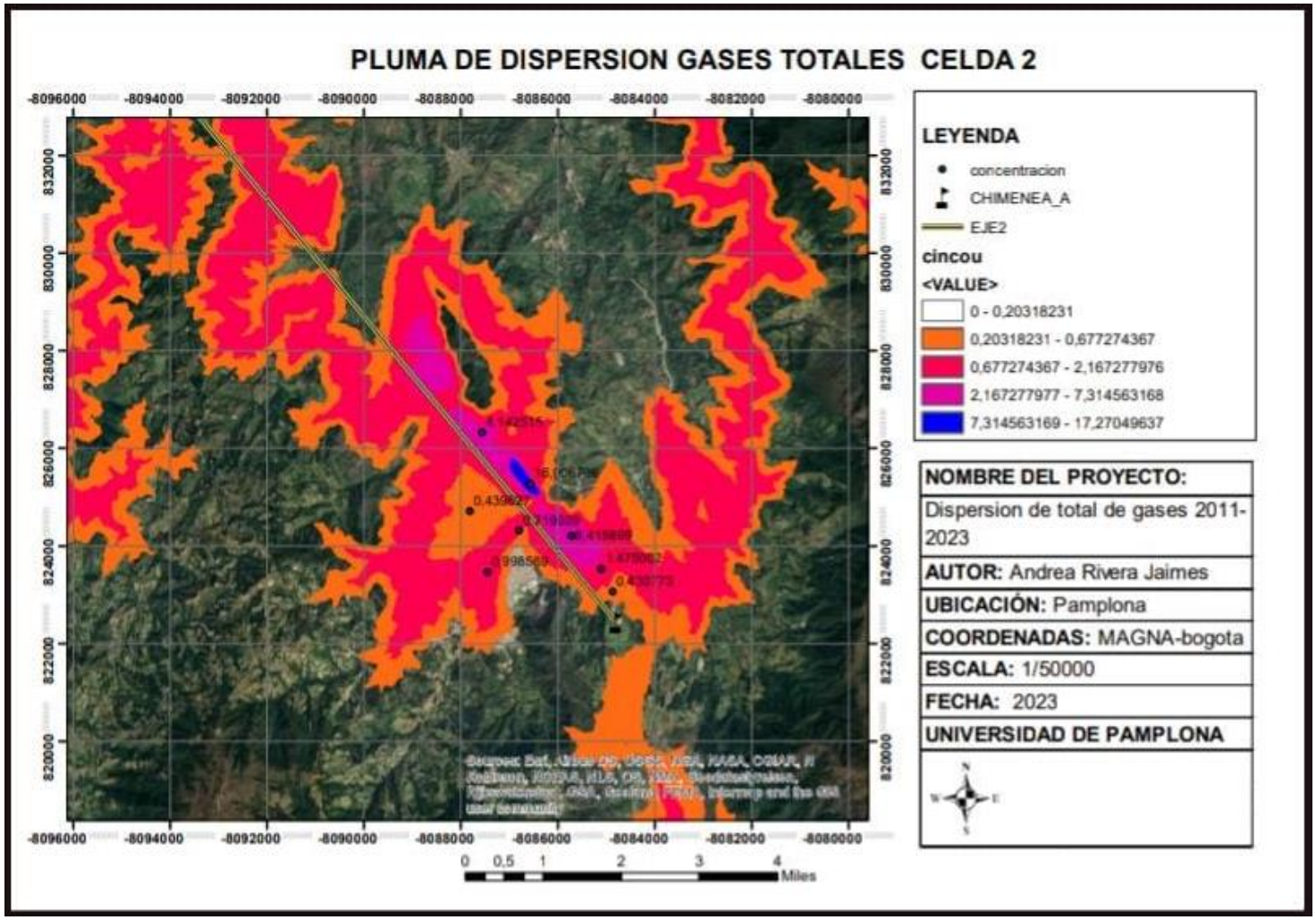


Figura 35 Dispersión de total de gases celda 2. Fuente: Rivera (2023)

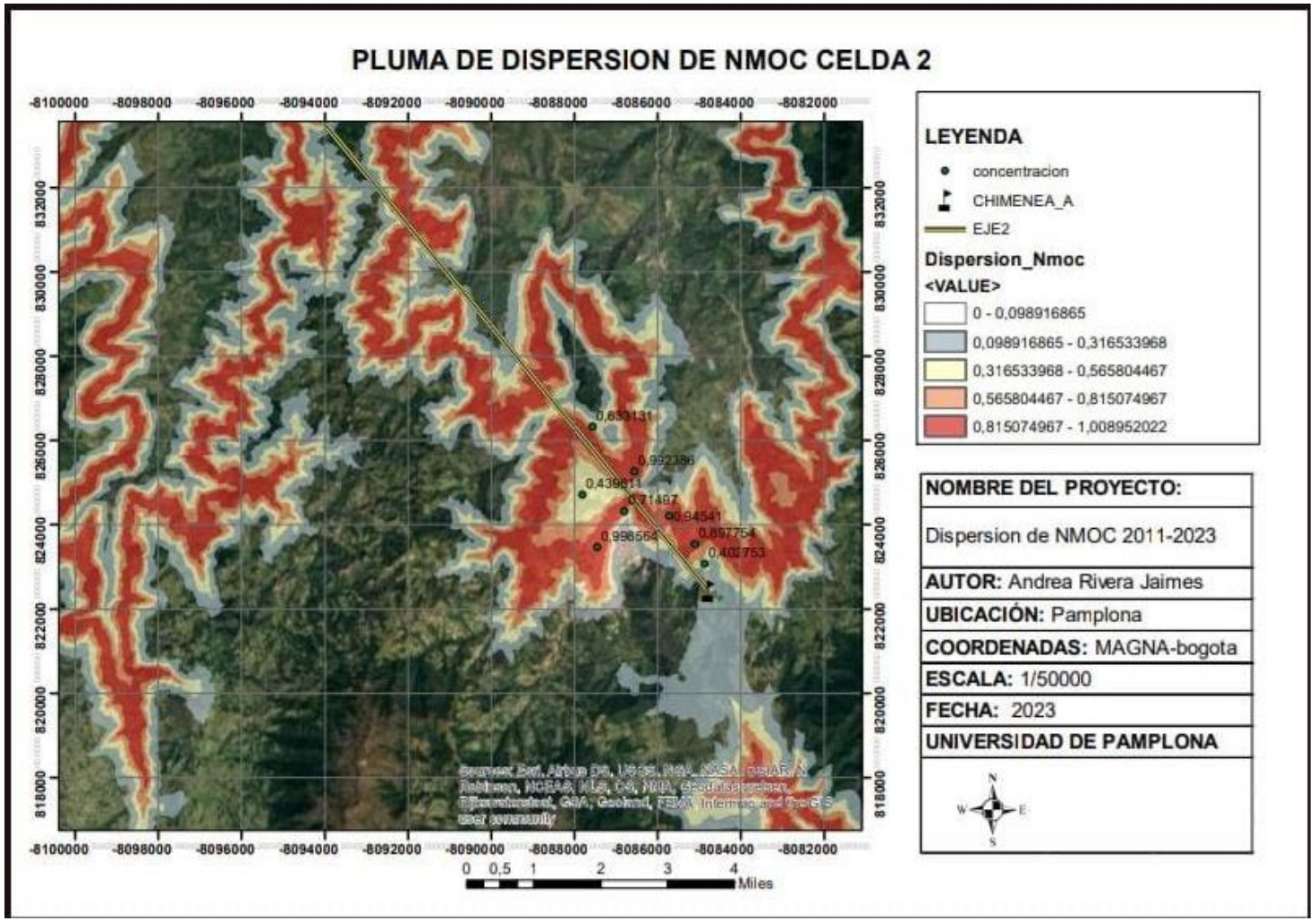


Figura 36 Dispersión de total de NMOC 2. Fuente***:*** *Rivera (2023)*

.

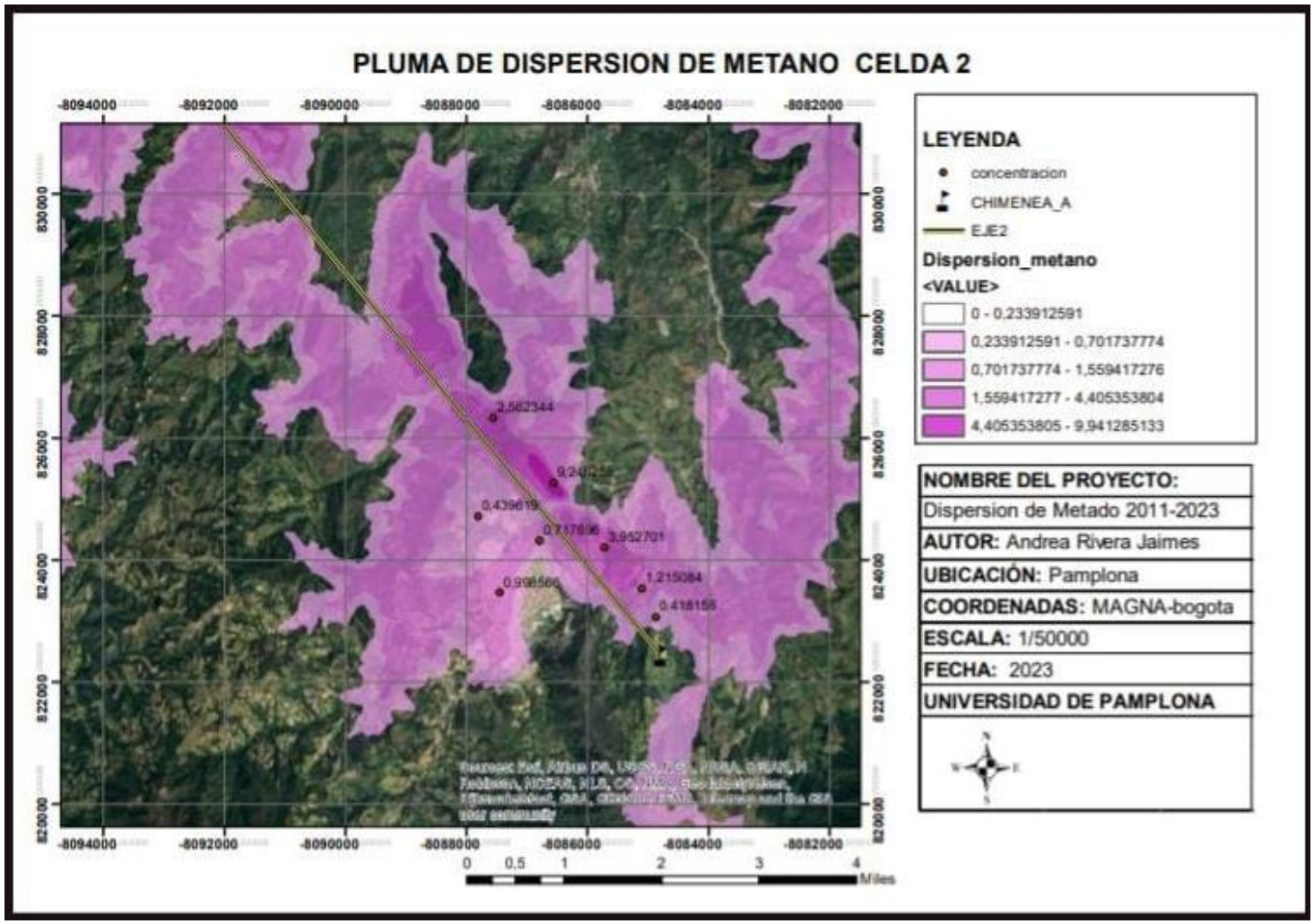


Figura 37 Dispersión de metano celda 2 Fuente: Rivera (2023)

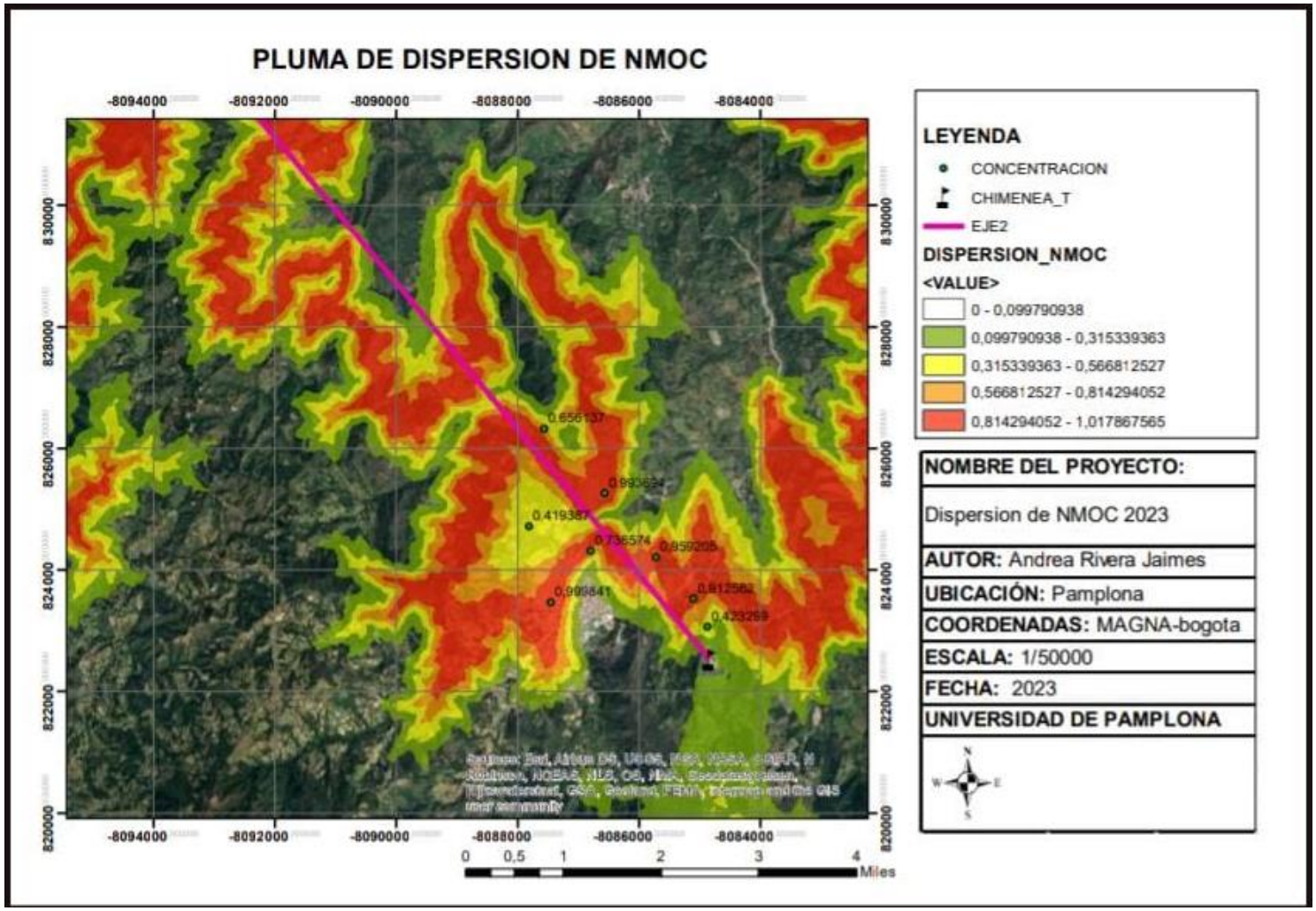


Figura 38 Dispersión de total de NMOC total al año 2023. Fuente: Rivera (2023)

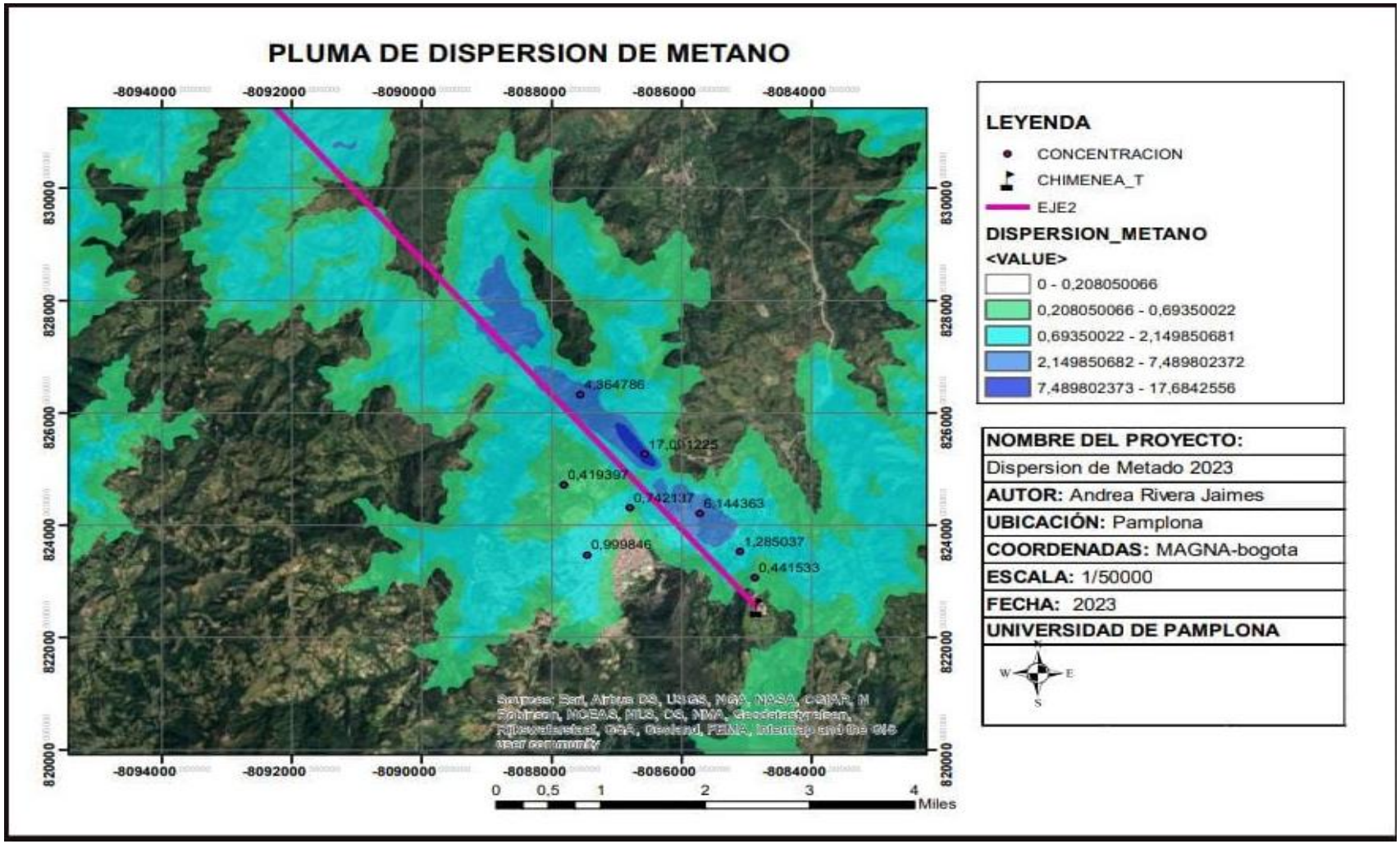


Figura 39 Dispersión del metano total al año 2023. Fuente: Rivera (2023)

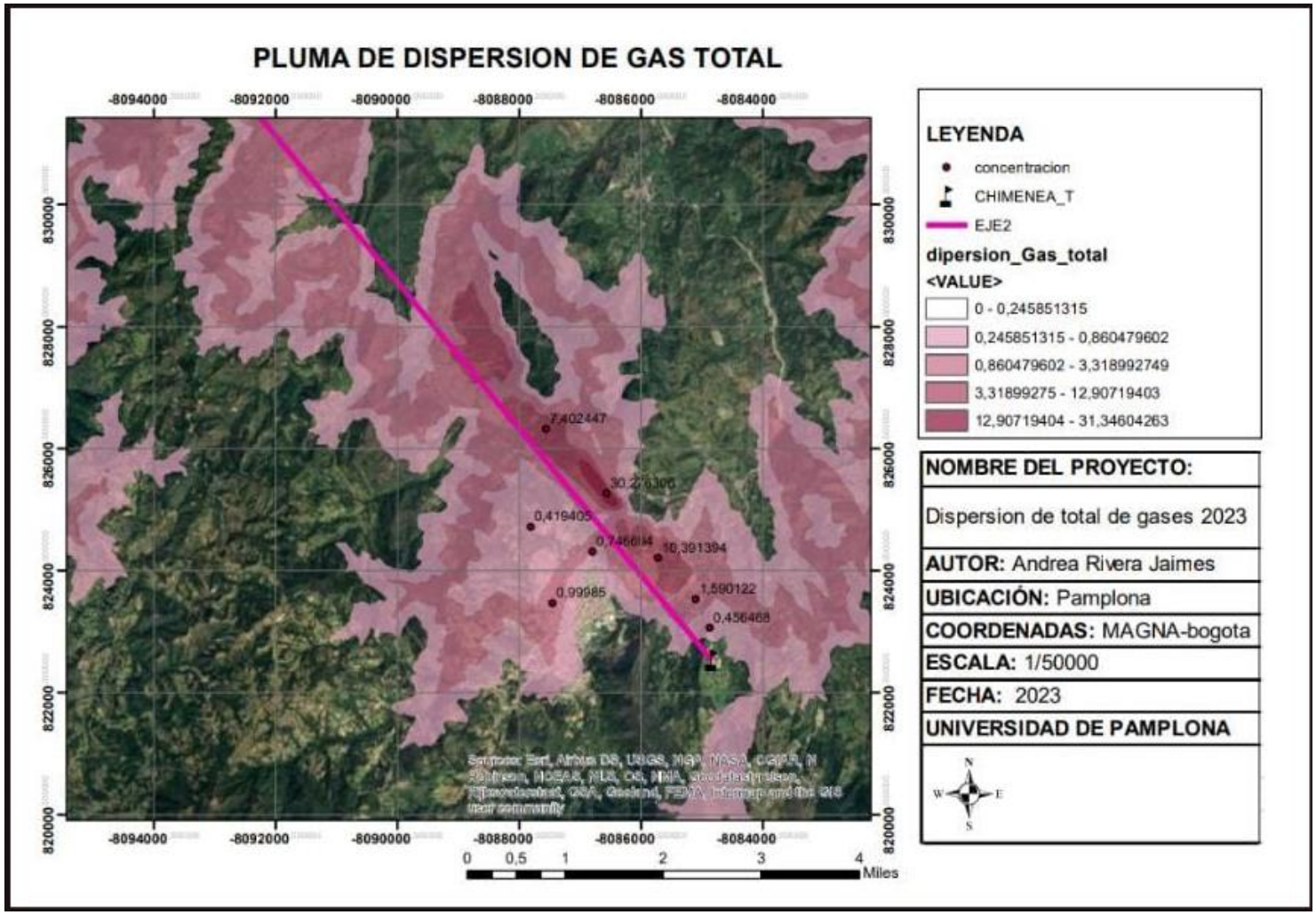


Figura 40 Dispersión de total de gases totales al año 2023. Fuente: Rivera (2023)

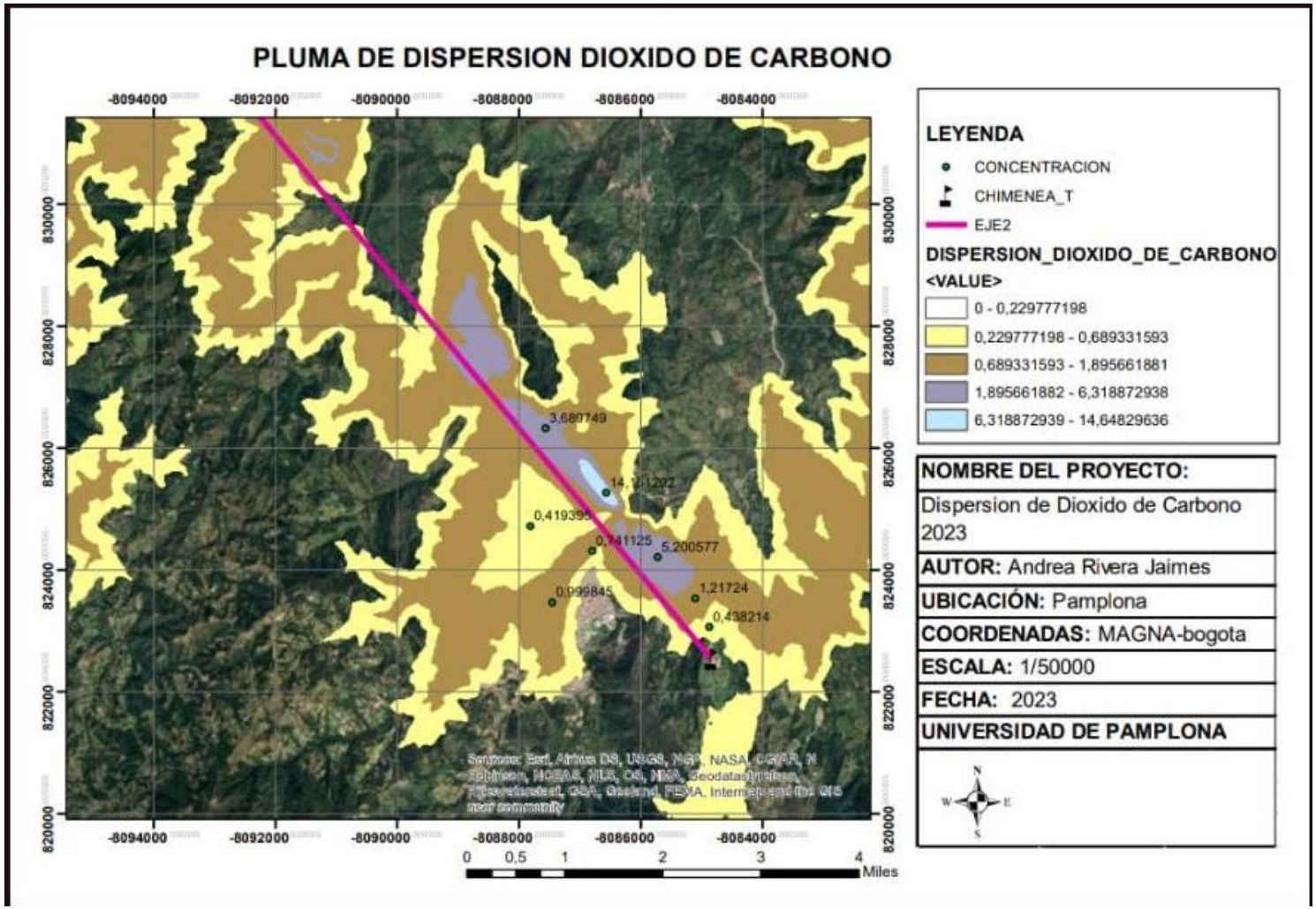


Figura 41 Dispersión de Dióxido de carbono total al año 2023 **.** Fuente**:** Rivera (2023*)*

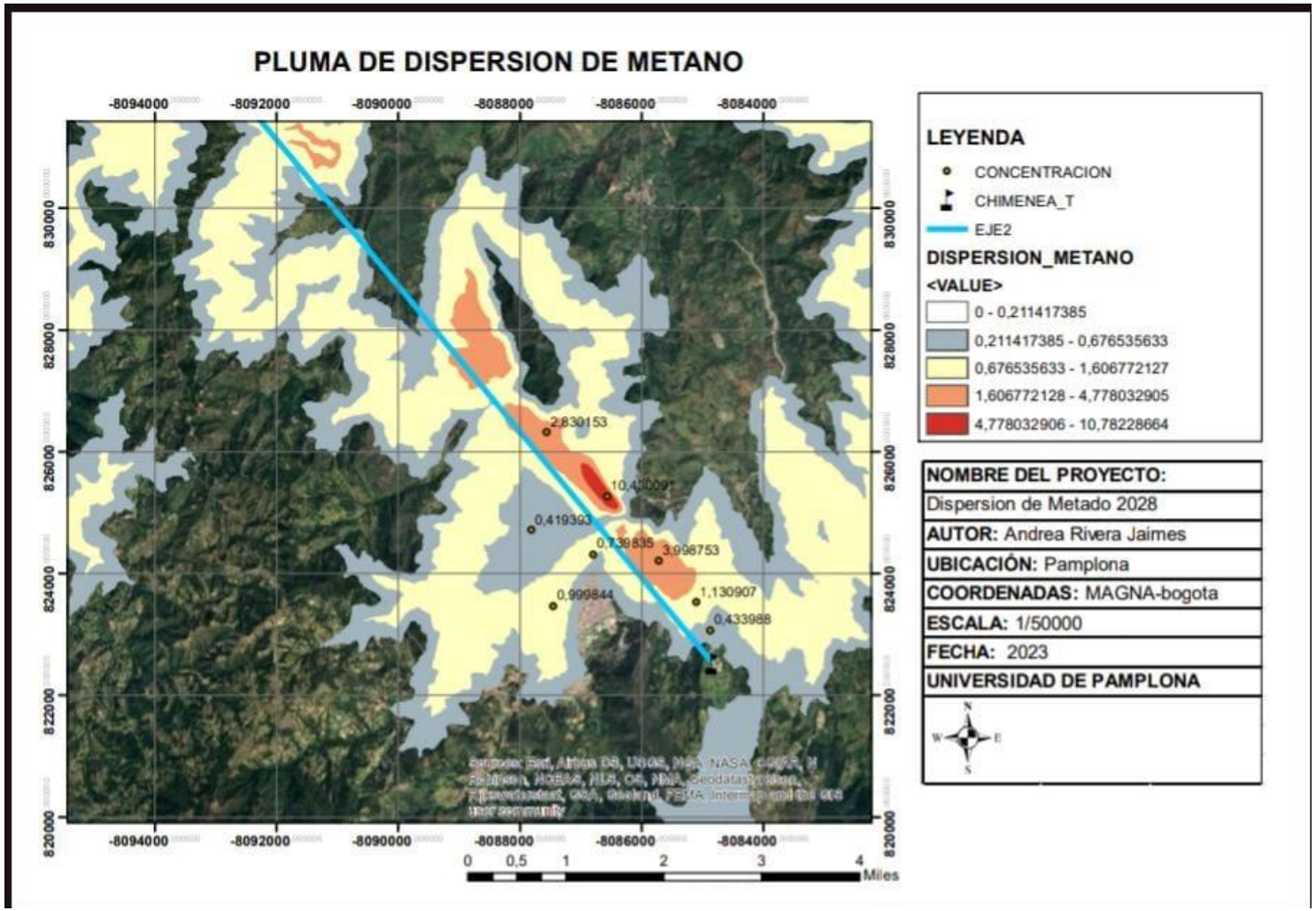


Figura 42 Dispersión del metano total proyectada al año 2028. Fuente: Rivera (2023)

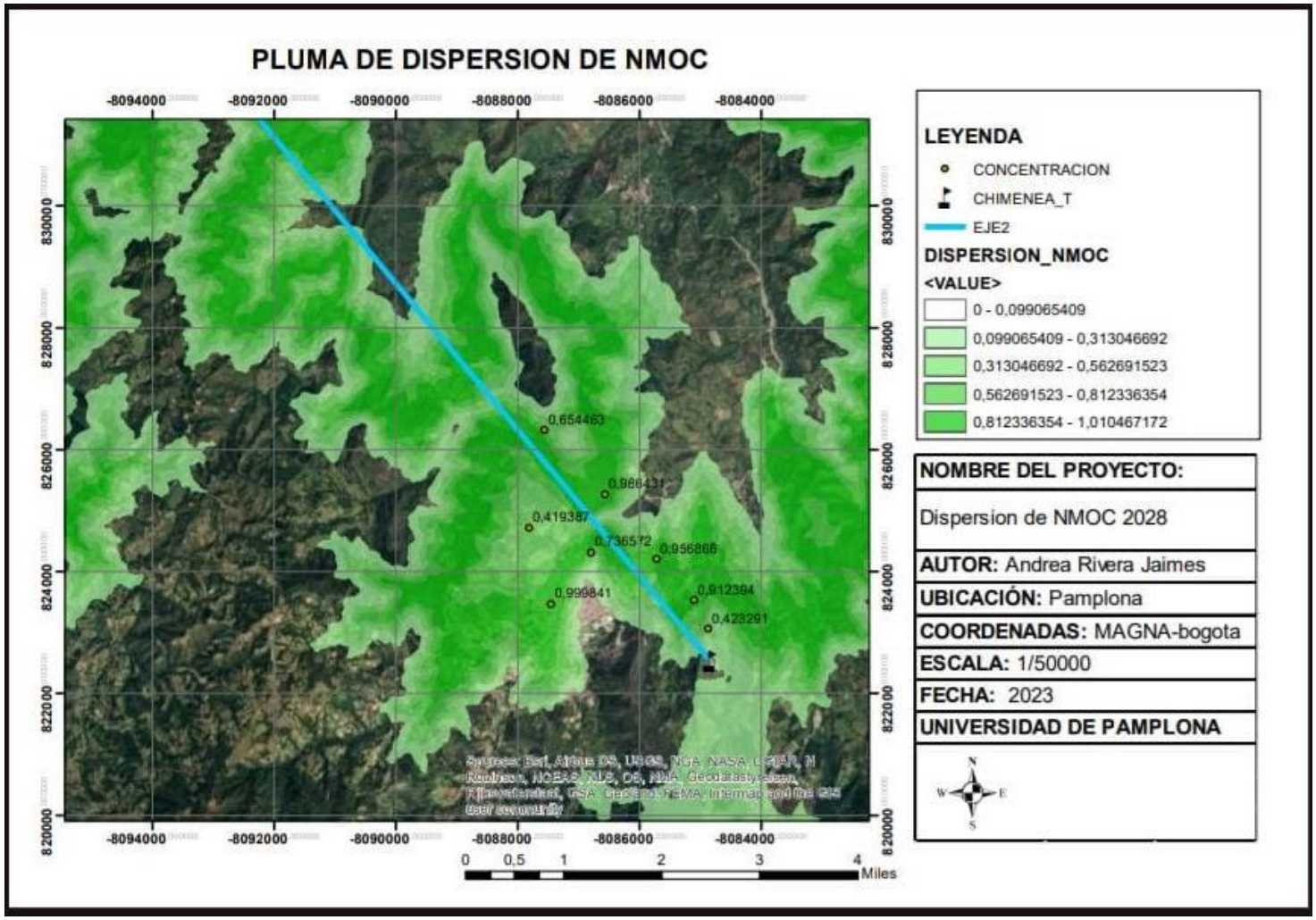


Figura 43 Dispersión de total proyectada de NMOC total al año 2028. Fuente: Rivera (2023)

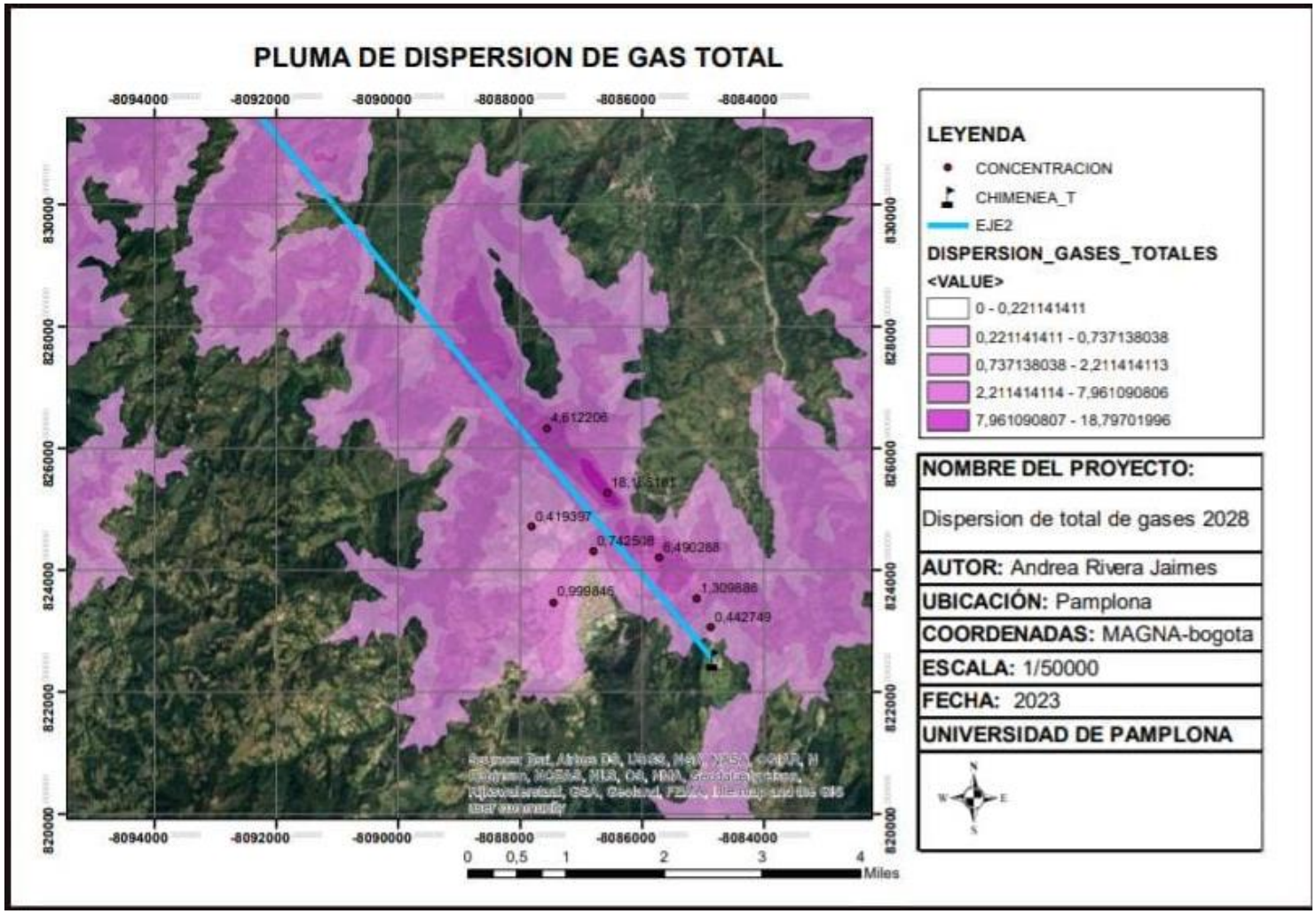


Figura 44 Dispersión de total de gases totales proyectados al año 2028. Fuente: Rivera (2023)

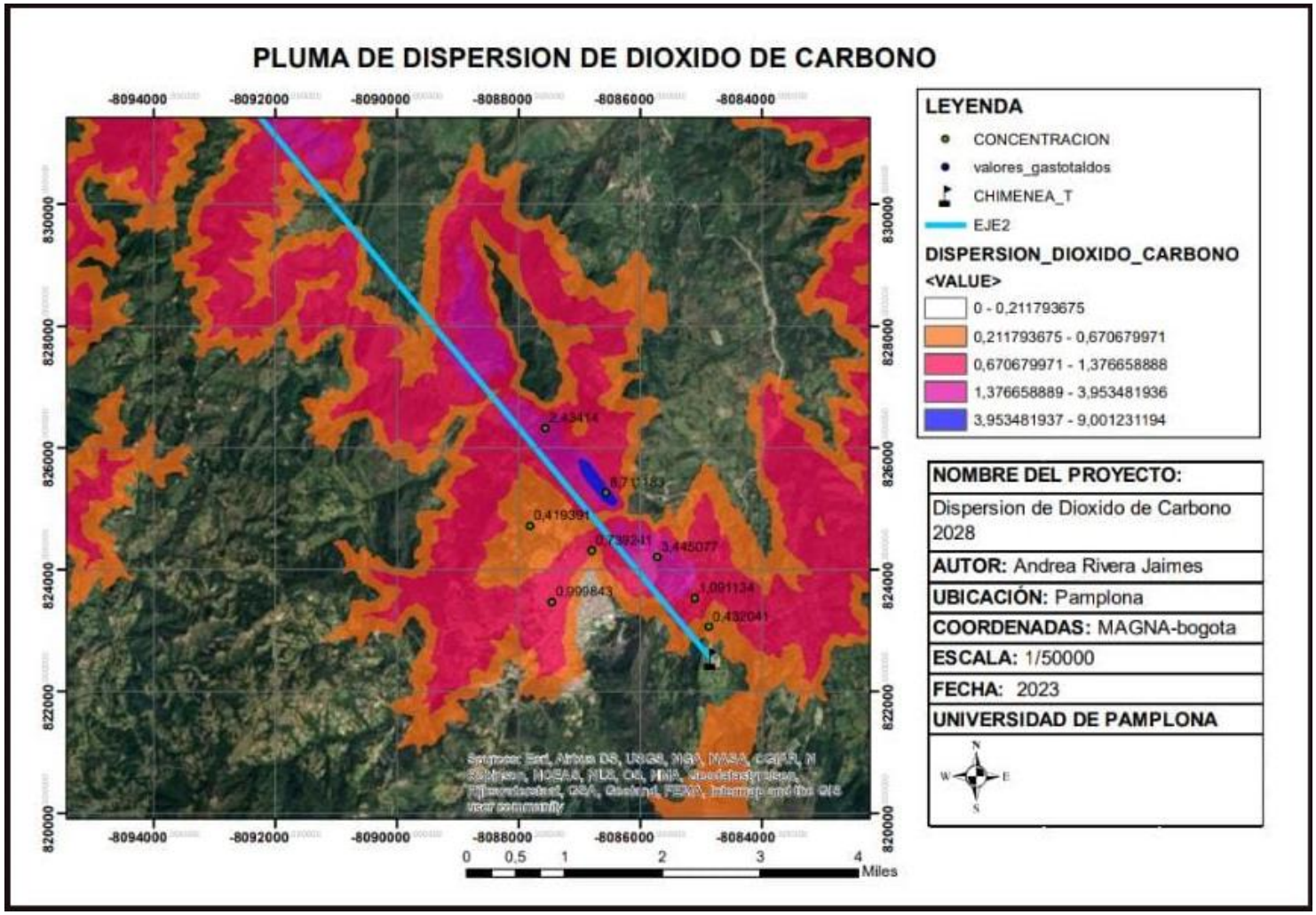


Figura 45 Dispersión de Dióxido de carbono total proyectados al año 2028 . Fuente: *Rivera (2023)*

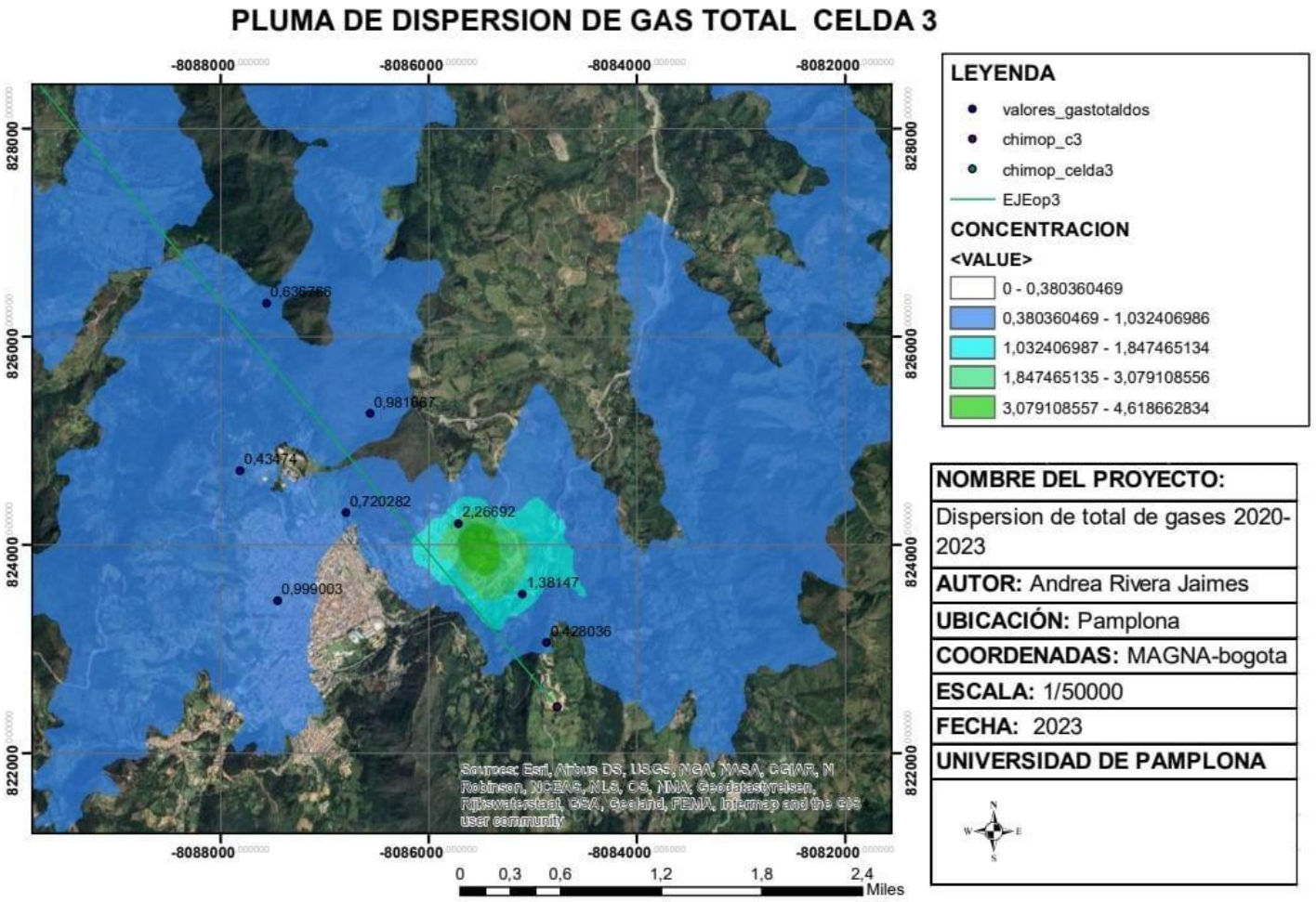


Figura 46 Dispersión de gas total celda 3 de los años 2020 - 2023. Fuente: Rivera (2023)

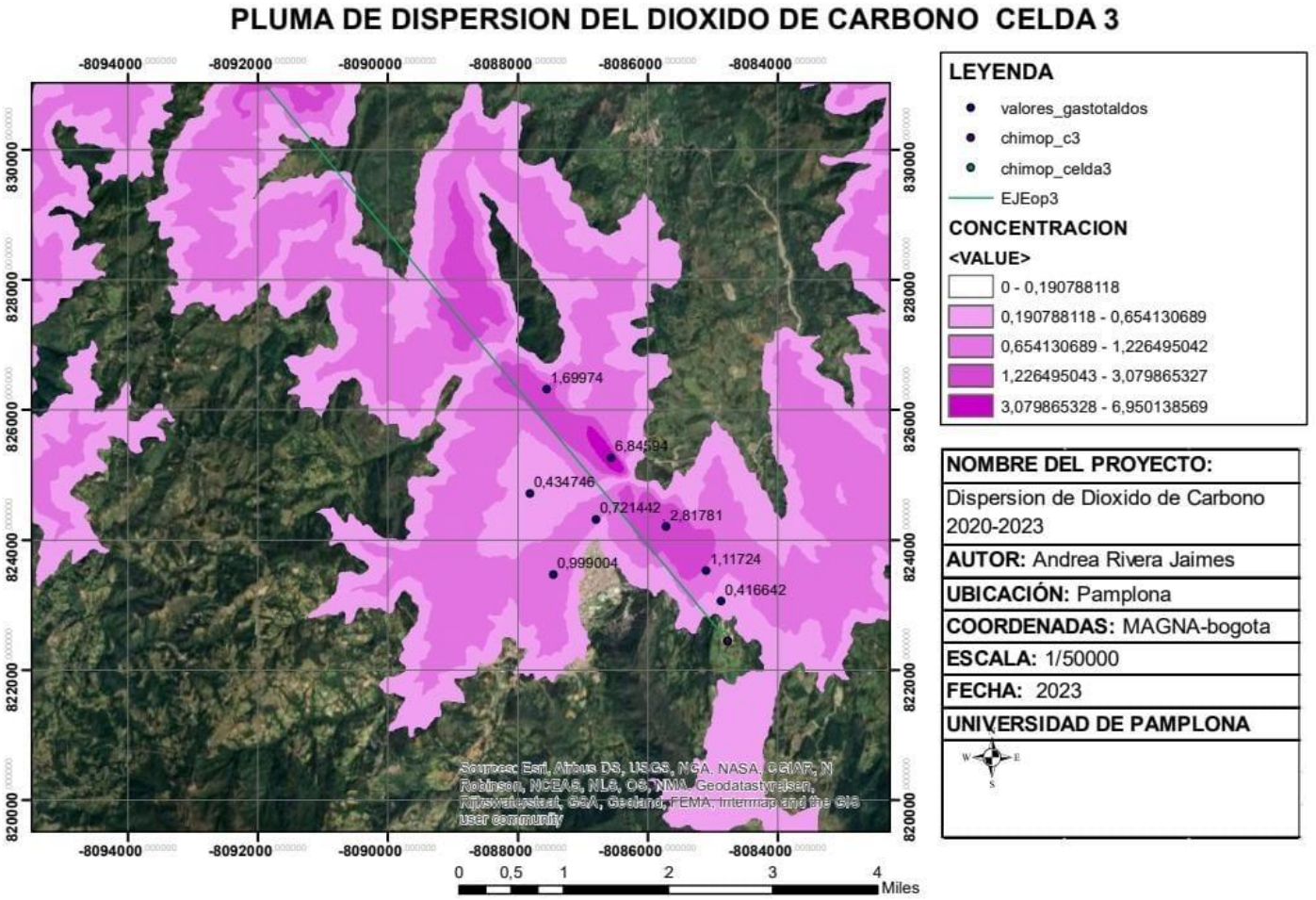


Figura 47 Dispersión de Dióxido de carbono celda 3 de los años 2020 al 2023.. Fuente: Rivera (2023)

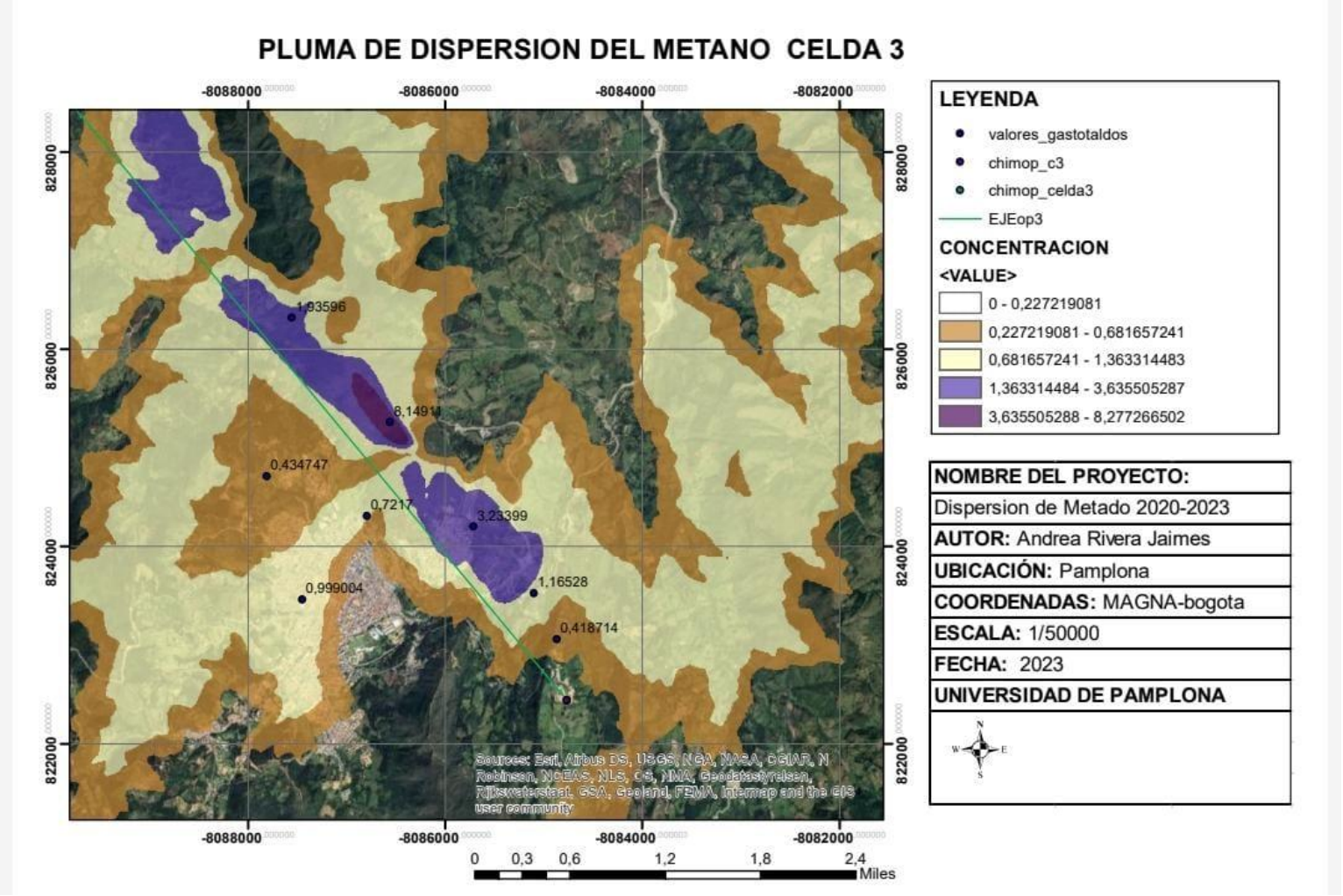


Figura 48 Dispersión de Metano celda 3 de los años 2020 - 2023.. Fuente: Rivera (2023)

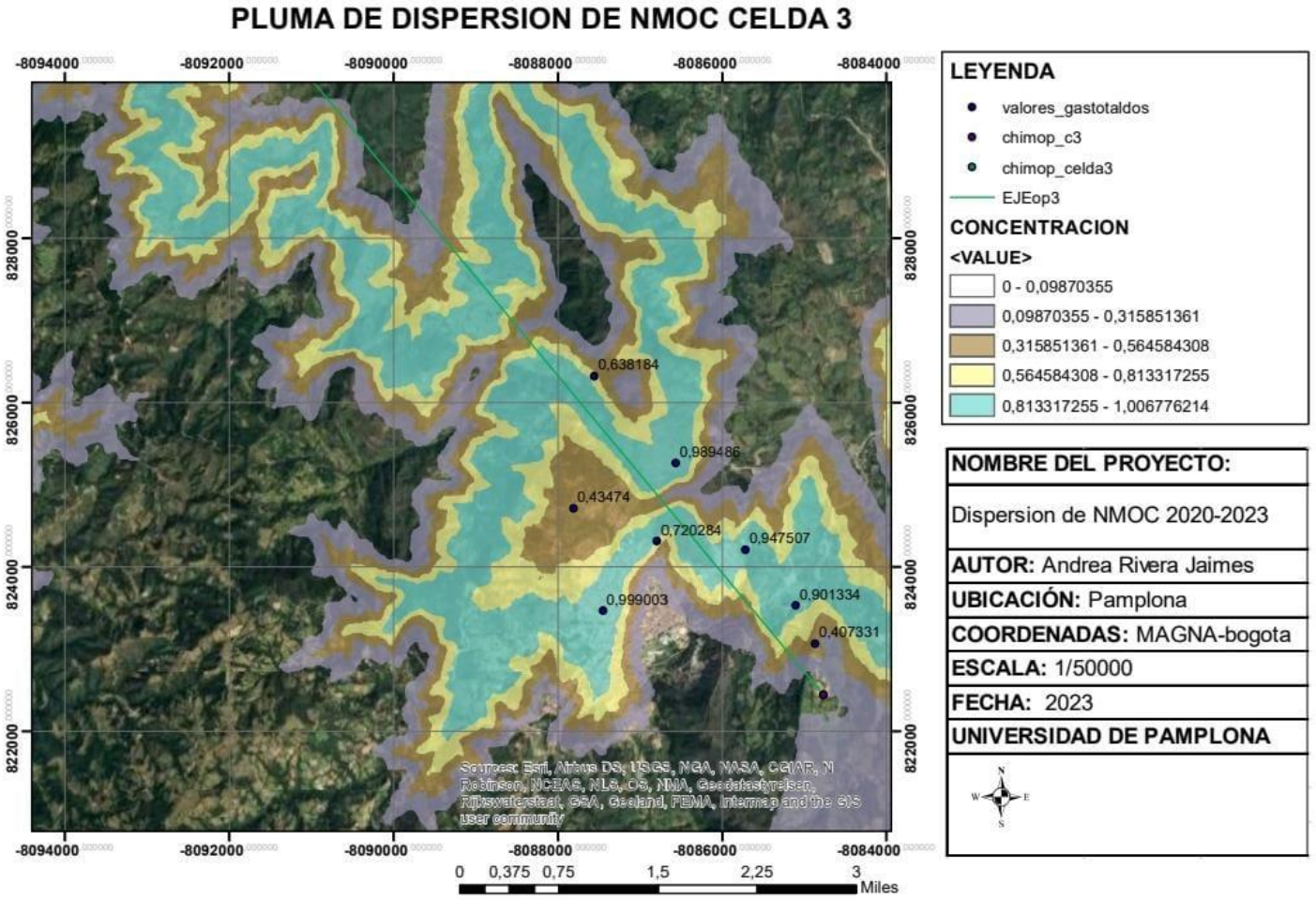


Figura 49 Dispersión de NMOC celda 3 de los años 2020 - 2023.. Fuente: Rivera (2023)

Como podemos observar en las figuras 28-43 se muestra la pluma de contaminantes de total de gases, metano, dioxido de carbono y NMOC en la celda 1,2 y la proyeccion de estos gases a los años 2023 y 2028. Estas plumas reflejan que la concentración del gas es mayor en el centro centro de las figuras lo que se debe a la presencia de una chimenea. La chimenea está emitiendo gases a la atmósfera, que luego se dispersan por el viento. La concentración de gases es mayor en el centro de las figuras porque es donde se libera el gas. A medida que el gas se aleja de la chimenea, se mezcla con el aire circundante y la concentración disminuye, tambien influyen variables como lo son la topografia de la zona y los cambios de temperatura.

En el (Anexo 1) se evidencia la toma de coordenadas de cada chimenea en el relleno sanitario regional La Cortada, y en el (Anexo 2) se evidencia las chimeneas de cadaen el relleno sanitario regional La Cortada.

4.5 Comparación de los resultados y posibilidades del modelo diseñado.

La medición precisa de los gases presentes en rellenos sanitarios es crucial para la gestión ambiental y la seguridad. Existen diversos modelos que se utilizan para estimar la cantidad y composición de gases generados, siendo LandGEM uno de los más conocidos. Sin embargo, los otros modelos utilizan diferentes algoritmos y ecuaciones para calcular la tasa de generación de gases. Algunos se basan en la cinética de descomposición de la MO, mientras que otros utilizan balances de masa y energía.

El modelo matemático de LandGEM se utiliza para estimar las emisiones de metano, monóxido de carbono y compuestos orgánicos no metanogénicos (NMOC) de los rellenos sanitarios. El modelo se basa en una ecuación de primer orden que describe la descomposición de la materia orgánica en el relleno sanitario.

En Colombia se ha utilizado este modelo para estimar los gases de efecto invernadero en una investigación llamada “"Evaluación de emisiones de gases efecto invernadero en el relleno sanitario Doña Juana, Bogotá D.C., utilizando el modelo LandGEM""estudio el que se usó el modelo LandGEM para estimar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá, Colombia. Los resultados del estudio muestran que el relleno sanitario es una fuente significativa de emisiones de GEI, principalmente metano (CH4). El estudio también identifica las principales variables que afectan las emisiones de GEI del relleno sanitario. (J.A. Díaz-Parra, 2017)

4.5.1 Recopilación de información sobre GasSim y TNO, y características de cada modelo.

En el estudio de investigación de Pereira , Menezes, Carvalho, & Chacartegui (2019) destacan que este modelo fue desarrollado por la agencia de medio ambiente de Inglaterra y de gales la cual considera la cantidad de residuos depositados en el vertedero y la tasa de degradación (rápida o lenta) de la materia orgánica dentro de los residuos este método demostro que en el MSLJP genera una cantidad considerable de biogás y generará hasta 11.277,28 t/año en su pico de producción al final de la vida útil del vertedero (2028).

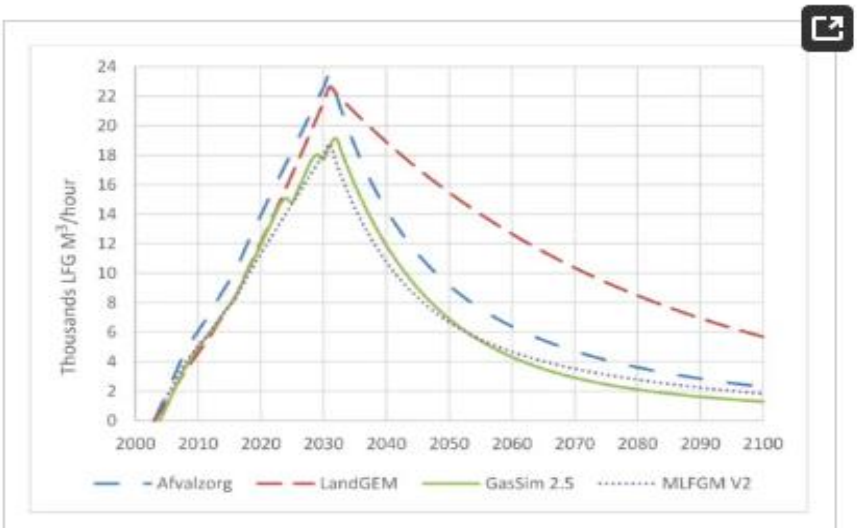


Figura 50: Producción de biogás del vertedero de Al-Ghabawi utilizando modelos FOD hasta el año 2100. *Fuente: Abu-Qdais , Al-Ghazawi , & Awawdeh , 2022.*

Según Abu-Qdais , Al-Ghazawi , & Awawdeh (2022) en su articulo tutulado “Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y el potencial energético de los vertederos de residuos sólidos en Jordania: un análisis comparativo de modelos” , concluyo que el modelo GasSim predice los valores más bajos de producción de gas respecto al modelo de Landgem.

En la investigacion “EMISIONES GASEOSAS DE UN RELLENO SANITARIO EN MÉXICO. COMPARACIÓN CON LOS MODELOS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS” de Colomer, Garcia, Altabella , Robles, & Aranda (2016) dio como resultado la comparacion de los siguientes modelos Modelo Mexicano de Biogás v2.0 (SCS Engineers 2009). Modelos de primer orden:TNO (Oonk y Boom 1995): Este modelo se basa en la descomposición de la materia orgánica en tres fases: rápida, intermedia y lenta, Afvalzorg (Scharf y Jacobs 2006): Este modelo es una versión modificada del modelo TNO que incluye la generación de gases de diferentes

tipos de residuos, Modelo EPER Francés (ADEME) (Scharf y Jacobs 2006): Este modelo se utiliza para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero de los vertederos en Francia.

Modelos SWANA: Modelo de orden cero (SWANA 1998): Este modelo es el más simple y se basa en la assumption de que la tasa de generación de gas es constante.

LandGEM v3.02 (US-EPA 2005): Este modelo es el modelo oficial de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para calcular las emisiones de gases de vertederos

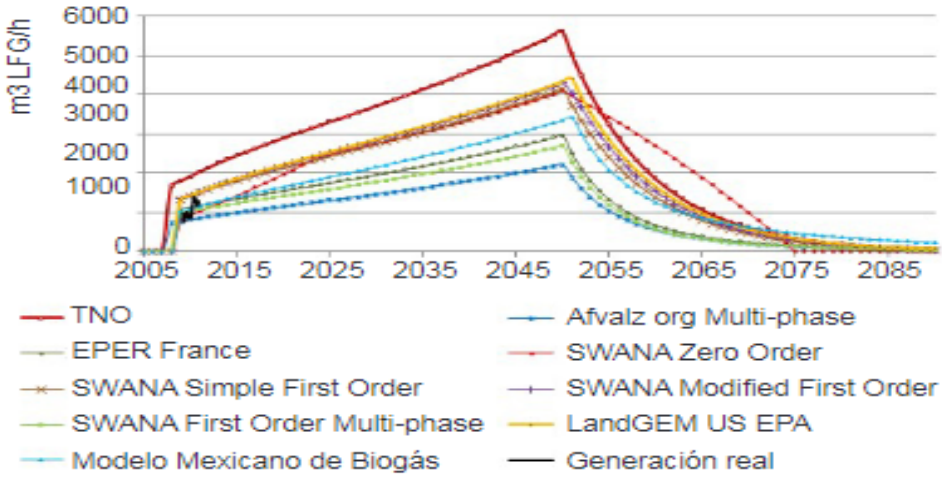
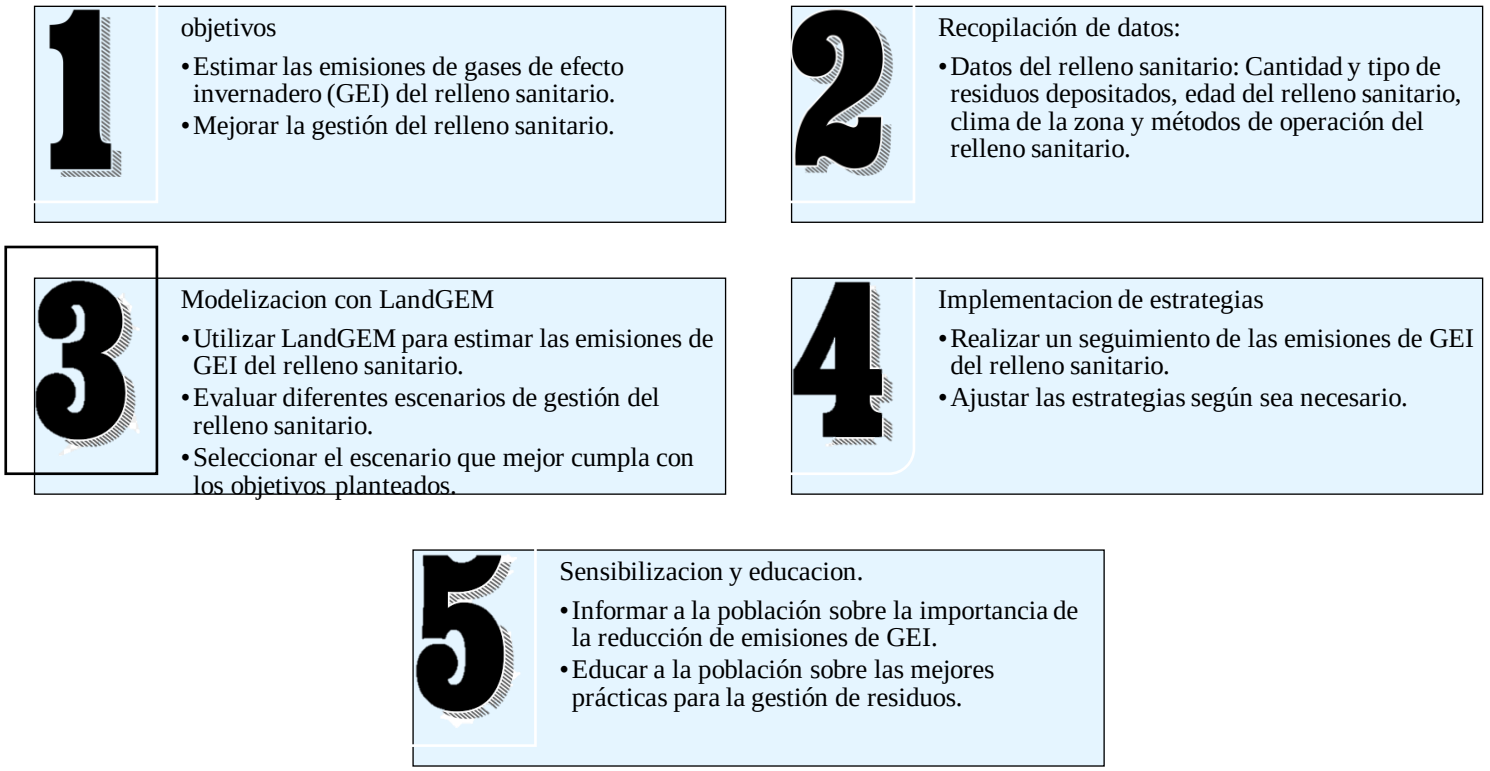


Figura 51: Comparación del resultado obtenido en los modelos Fuente: Colomer, Garcia, Altabella , Robles, & Aranda (2016)

El modelo de SWANA First Order Multi-phase y el Modelo Mexicano de Biogás son los que mejor se ajustan a la generación real de biogás durante todo el período de tiempo. El modelo LandGEM US EPA presenta un comportamiento similar al modelo SWANA First Order Multi-phase, pero con una mayor subestimación de la generación de biogás en la primera etapa, LandGEM es una de las mejores opciónes para la estimación de la generación de gases de vertedero en muchos casos, ya que por ser desarrollado por la EPA tiene cirto nivel de confianza y reconocimiento ya que ha sido usado para validar los datos en varios rellenos, además como se puede observar en la comparación se ajusta bastante a los datos de generación real.

4.5.2 planteamiento de estrategias



5. Conclusiones.

Utilizando el modelo LANDGEM se evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por el sanatorio La Cortada en Pamplona, Santander, Colombia.

Durante un período de tiempo de 18 años, el estudio logró determinar la cantidad total de GEI emitidas por el relleno sanitario.

Los resultados del estudio pueden ser utilizados para mejorar la gestión del relleno sanitario y reducir las emisiones de GEI.

Se recopiló información sobre producción de residuos sólidos , proyecciones poblacionales y factores meteorológicos de entidades y plataformas oficiales, la información recopilada se utilizó para determinar los valores requeridos para llevar a cabo el modelo LANDGEM .

La cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno ha ido aumentando con el tiempo. Sin embargo, las medidas que se han tomado para mejorar la gestión de los residuos sólidos han logrado reducir la cantidad de residuos no aceptados.

Las principales variables que influyen en la generación de gases de efecto invernadero como lo son el total de gases, el metano, el dióxido de carbono y NMOC, son la cantidad de residuos sólidos dispuestos, la composición de estos, la temperatura y la PPC.

El modelo LANDGEM es una herramienta valiosa para proyectar las emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios estos resultados son fundamentales para la gestión eficiente de los rellenos sanitarios.

El análisis de datos hizo posible encontrar patrones y tendencias en las emisiones del GEI .

Comparando el modelo LamdGEM con otros modelos de estimación de gases de efecto invernader como GasSim y TNO se concluye que este modelo es uno de los modelos mas eficientes a la hora de estimar la cantidad de gas ya que el modelo es bastante fácil de usar, con una interfaz intuitiva y una gran cantidad de documentación disponible, además según estudios de comparación a demostrado ser un modelo preciso en la estimación de la cantidad de gas generado en rellenos sanitarios permite ajustar los parámetros de acuerdo a las condiciones del relleno, es de código abierto y gratuito.

6. Recomendaciones.

sistema de monitoreo:

Se recomienda establecer un seguimiento y monitoreo continuo de las emisiones de GEI del relleno sanitario La Cortada. Esto nos permitira obtener un control de las emisiones y evaluar la eficacia de las medidas de mitigación implementadas.

Crear métodos para disminuir las emisiones:

Se recomienda crear métodos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los rellenos sanitarios basados en los hallazgos del estudio, Algunas de las practicas que se pueden usar son: mejor manejo de desechos sólidos, implementacion programas para separar la fuente, reducir la cantidad de desechos disponibles en el relleno y así aumente la cantidad de desechos reciclados o compostados.

Recuperación de biogás: establecer un sistema para recolectar y utilizar biogás.
El biogás se puede utilizar para producir energía térmica o eléctrica.

Personal capacitado

Se recomienda que el personal del relleno sanitario reciba capacitación en la gestión de las emisiones de GEI.

Se recomienda continuar con la buena gestión de los residuos sólidos así se disminuyen su almacenamiento y a su vez la generación de gases de efecto invernadero que contribuyen a procesos como el cambio climático.

Referencias

Pereira , D., Menezes, V., Carvalho, M., & Chacartegui, R. (2019). *Institution of Engineering and Technology.* Obtenido de https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-rpg.2018.5777

Rivera , H., Suarez , A., & Suarez, S. (2016). *06.*

Abu-Qdais , H., Al-Ghazawi , Z., & Awawdeh, A. (2022). *Assessment of Greenhouse Gas Emissions and Energetic Potential from Solid Waste Landfills in Jordan: A Comparative Modelling Analysis.* Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4441/15/1/155

Alfredo Serpella, J. K. (2012). *journals.vilniustech.lt*. Obtenido de journals.vilniustech.lt: https://journals.vilniustech.lt/index.php/TEDE/article/view/4247/3606

Álzate, R. H. (Diciembre de 2016). *EDESO*. Obtenido de EDESO: https://edeso.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Manual-de-Buenas-Practicas-Guia-Socio-Ambiental.pdf

Bucaramanga, C. d. (17 de junio de 2022). *Camara Directa*. Obtenido de El sector de la Construcción en Santander incrementó sus índices de ventas, inversión y emprendimiento durante el 2021: https://www.camaradirecta.com/noticias//el-sector-de-la-construccion-en-santander-incremento-sus-indices-de-ventas-inversion-y-emprendimiento-durante-el-2021/

Centro Nacional de Producción Mas Limpia. (s.f.). *Alcaldia de Medellin*. Obtenido de Alcaldia de Medellin: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_0_0/Shared%20Content/pdf%20codigo%20buen%20comienzo/guia%20socio%20ambiental%203.pdf

Colomer, F., Garcia, E., Altabella , J., Robles, F., & Aranda, G. (2016). Obtenido de https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.05.08/46676

DANE. (2018). Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion

DANE. (07 de septiembre de 2022). *dane.gov.co*. Obtenido de Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción (IEAC): https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion#:~:text=En%20el%20segundo%20trimestre%20de,valor%20agregado%20del%20sector%20construcci%C3%B3n.

Daruma. (23 de junio de 2016). Obtenido de https://www.darumasoftware.com/gestion-calidad/equilibrar-la-gestion-del-medio-ambiente-la-construccion/#:~:text=La%20gesti%C3%B3n%20ambiental%20urbana%20hace,con%20las%20que%20se%20interrelaciona.

Debby Willar, E. V. (2021). *Emerald Insight Discover Journals, Books & Case Studies*. Obtenido de Emerald Insight Discover Journals, Books & Case Studies: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SASBE-07-2019-0086/full/pdf?title=sustainable-construction-practices-in-the-execution-of-infrastructure-projects-the-extent-of-implementation

Derguy, M., Drozd, A., Artur, M., Martinuzzi, S., Toledo, L., & Frang, L. (2016). Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/60523/Documento_completo__.pdf?sequence=3

Equipo editorial, E. D. (16 de Julio de 2021). *Concepto.de*. Obtenido de Concepto.de.: https://concepto.de/recursos-no-renovables/

Euroconstruct, C. /. (28 de Junio de 2007). *URBANISMO.COM.COM*. Obtenido de Analisis del sector de la construccion en auropa y del mercado inmobiliario en sudamerica: https://www.urbanismo.com/analisis-del-sector-de-la-construccion-en-europa-y-del-mercado-inmobiliario-en-sudamerica/

Gestión ambiental para la construcción. (2018). *Gestion de recursos naturales*. Obtenido de Gestion de recursos naturales: https://www.grn.cl/gestion-ambiental-territorial-participativa/inspeccion-tecnica-ambiental-de-obras-de-construccion/gestion-ambiental-para-la-construccion-de-edificios.html

Gironzini Morales, F. L. (18 de Junio de 2019). *UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO*. Obtenido de UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO: http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/5079/1/REP_MAEST.ARQ_FELICITAS.GIRONZINI_CONTENIDO.L%c3%8dNEA.BASE.CONFIABILIDAD.IDENTIFICACION.IMPACTOS.SOCIOAMBIENTALES.PROYECTOS.EJECUTADOS.AREQUIPA.C.C.REAL.PLAZA.pdf

GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE LA PAZ. (2019). *La Paz ciudad en movimiento* . Obtenido de La Paz ciudad en movimiento : https://www.lapaz.bo/wp-content/uploads/2019/08/anexo-7-manual-de-buenas-prcticas-y-conducta.pdf

Guillermo Acevedo M., J. C. (Agosto de 2016). *MINTRANSPORTE*. Obtenido de MINTRANSPORTE: file:///E:/Downloads/Lineamientos_ambientales_MO_-_Agosto_24_2016%20(1).pdf

Hita, C. d. (2016). *La escala de los vientos.* Obtenido de https://www.elmundo.es/blogs/elmundo/elsonidodelanaturaleza/2016/02/13/la-escala-de-los-vientos.html

Lifestyle, R. E. (03 de enero de 2022). *realestatemarket*. Obtenido de infraestructura y construcion : https://realestatemarket.com.mx/noticias/infraestructura-y-construccion/36049-cuanto-crecera-la-industria-de-la-construccion-a-nivel-mundial

Margarita Gil, B. D. (ABRIL de 2012). *CORE*. Obtenido de CORE: https://core.ac.uk/download/pdf/51194658.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica. (2022). Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb.html

MONTENEGRO, L. S. (2016). *Repositorio Institucional Universidad De EAFIT*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad De EAFIT: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11833/NiviaMontenegro_LuzStella_2017.pdf?sequence=2

Mora, D. (2022). *Blog Internacionalización y Comercio Exterior de How2Go*. Obtenido de Construcción en Colombia: 2022, año de oportunidades: https://h2gconsulting.com/how2go-colombia/construccion-en-colombia-oportunidades/

MORALES, M. M. (Noviembre de 2021). *UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL*. Obtenido de UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL: https://www.ucipfg.com/biblioteca/files/original/d0d0ef0b63c03539b19b5c9d6271ab40.pdf

PAZMIÑO LOOR JAHAIRA MARÍA, R. J. (Noviembre de 2017). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ*. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ.

POLÍTICA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. (2017). Obtenido de https://www.andi.com.co/Uploads/13.%20PolCC%20toma%20decisiones.pdf

S., K. M. (2012). *Exiplast*. Obtenido de Exiplast: https://exiplast.com/impactos-ambientales-de-la-construccion-y-como-mitigarlos/

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE . (2013). *Guia de manejo ambiental para el sector de la construcción*. Obtenido de Guia de manejo ambiental para el sector de la construcción: file:///E:/Downloads/Guia_manejo_ambiental_sector_construccio.pdf

SERVICIOS DE GESTIÓN INTEGRAL LTDA - SGI. (2013). *Academia.edu*. Obtenido de Academia.edu: https://www.academia.edu/36342737/Gu%C3%ADa_de_manejo_Socioambiental_para_la_construcci%C3%B3n_de_obras_de_infraestructura_p%C3%BAblica

Townsend, T. &. (17 de agosto de 2022). *bnamericas*. Obtenido de Estudio internacional del mercado de la construcción 2022: https://www.bnamericas.com/es/noticias/turnertownsend-estudio-internacional-del-mercado-de-la-construccion-2022

Vargas, A., Tucto, E., Milla, D., Ricra, O., & Nazario, M. (2022). *Characterization of university solid waste and estimation of greenhouse gas emissions in two management alternatives.* Obtenido de https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/816/1007

Vinueza, P. (23 de Abril de 2018). *Normas ISO para el sector de la construcción*. Obtenido de Normas ISO para el sector de la construcción: https://www.acreditacion.gob.ec/normas-iso-sector-de-la-construccion/