SECRETARÍA DE DESARROLLO SUSTENTABLE QUERÉTARO

QUERÉTARO GOBIERNO DEL ESTADO Juntos, Adelante.

CONTIGO TODOS AVANZAMOS

INVENTARIO DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO AÑO BASE 2021

Directorio

Mauricio Kuri González

Gobernador Constitucional del Estado de Querétaro

Marco Antonio Salvador del Prete Tercero

Secretario de Desarrollo Sustentable

Ricardo Javier Torres Hernández

Subsecretario del Medio Ambiente

Teófilo Mario Gómez Su

Director de Control Ambiental

D.R. Secretaría de Desarrollo Sustentable de Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro
Blvd. Bernardo Quintana No. 204, Carretas C.P. 76050
Querétaro, Qro. Diciembre 2023.

Agradecimientos

La Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro, agradece a las instituciones que contribuyeron con la información necesaria para la integración del inventario.

- Comisión Estatal del Agua (CEA).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Comisión Reguladora de Energía (CRE).
- Secretaria de Desarrollo Sustentable (SEDESU)
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT).
- Secretaría de Desarrollo Agroalimentario (SEDEA)
- Secretaría de Obra Pública
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
- Secretaría de Salud de Querétaro (SESEQ)
- Aeropuerto Intercontinental de Querétaro (AIQ).
- Petróleos Mexicanos (PEMEX)
- A los municipios:
  Amealco, Arroyo seco, Cadereyta de Montes, Colón, Corregidora, Ezequiel Montes, Huimilpan, Jalpan de Serra, El Marqués, Pedro Escobedo, Peña Miller, Querétaro, San Joaquín, San Juan del Río, Tequisquiapan y Tolimán.

Contenido

Resumen ejecutivo 7
I. Introducción 9
I.1 Caracterización de la zona de estudio 10
I.2 Contexto socioeconómico 19
II. Alcances 23
II.1 Gases y compuestos de efecto invernadero estimados 23
II.2 Categorías estimadas 23
II.3 Planeación y control de calidad 24
III. Resultados de la estimación de emisiones de GEI 25
III.1 Emisiones totales 27
III.2 Emisiones de GEI por municipio 28
III.3 Emisiones per cápita 31
IV. Emisiones de GEI por categoría 33
IV.1 Energía 33
IV.1.1 Metodología y consideraciones en el sector energía 36
IV.1.2 Emisiones de GEI del sector de Energía 42
IV.1.3 Emisiones de GEI del sector de Energía por municipio 44
IV.2 Procesos industriales y uso de productos (IPPU) 46
IV.2.1 Metodología y consideraciones en el sector IPPU 47
IV.2.2 Emisiones de GEI del sector IPPU 48
IV.2.3 Emisiones de GEI del sector IPPU por municipio 50
IV.3 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) 52
IV.3.1 Metodología, control de calidad y consideraciones en el sector AFOLU 53
IV.3.2 Emisiones de GEI del sector AFOLU 57
IV.3.3 Emisiones de GEI del sector AFOLU por municipio 60
IV.4 Residuos 62
IV.4.1 Metodología y consideraciones en el sector Residuos 63
IV.4.2 Emisiones de GEI del sector Residuos 64

IV.4.3 Emisiones de GEI del sector Residuos por municipio....66
V. Estimación de Incertidumbres....69
VI. Conclusiones y recomendaciones....71
Referencias....74

Gráficas

Gráfica 1. Contribución de emisiones de CO_2e por categoría en el Estado, 2021. 8
Gráfica 2.Crecimiento poblacional en los últimos 20 año en el Estado.....19
Gráfica 3. Escolaridad de población de 15 años y más en el Estado.....21
Gráfica 4. Distribución del PIB por actividad económica en el Estado.....22
Gráfica 5. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Querétaro, 2021. 27
Gráfica 6. Contribución porcentual de emisiones de CO_2e por municipio. 29
Gráfica 7. Consumo energético por sector en el Estado, 2021.....35
Gráfica 8. Emisiones de GEI de la categoría de energía por subcategoría,2021.....43
Gráfica 9. Porcentaje de contribución de GEI por subcategoría de energía, 2021.....43
Gráfica 10. Contribución porcentual de emisiones de CO_2e por subcategoría de energía, por municipio. 44
Gráfica 11. Porcentaje de emisiones de CO_2e de IPPU en el Estado, 2021.....49
Gráfica 12. Contribución de emisiones por subcategoría por municipio.....50
Gráfica 13. Emisiones y absorciones de uso de suelo, 2021.....59
Gráfica 14.Porcentaje de emisiones de CO_2e de Residuos en el Estado, 2021.....65
Gráfica 15. Contribución porcentual de emisiones del sector residuos, por subcategoría por municipio. 67

Mapas

Mapa 1. Localización del Estado de Querétaro.....10
Mapa 2. Climas en el Estado.....11
Mapa 3. Temperaturas promedio anual 12
Mapa 4. Velocidad promedio anual del viento 13
Mapa 5. Relieve en territorio estatal 15
Mapa 6. Tipos de vegetación.....16
Mapa 7. Áreas Naturales Protegidas en el Estado. 17
Mapa 8. Precipitación promedio anual 18
Mapa 9. Distribución de habitantes en el territorio Estatal, 2021.....20

Mapa 10. Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ). 21
Mapa 11. Emisiones de CO_2e por municipio. 30
Mapa 12. Emisiones per cápita de CO_2e por municipio en el Estado, 2021. 32
Mapa 13.Distribución de emisiones de CO_2e del sector energía para el Estado, 2021. 45
Mapa 14. Distribución de emisiones de CO_2e a nivel municipal del sector IPPU, 2021 51
Mapa 15. Emisiones de CO_2e a nivel municipal del sector AFOLU....61
Mapa 16. Distribución de emisiones de CO_2e del sector Residuos por municipio, 2021 68

Tablas

Tabla 1.Principales elevaciones en el estado de Querétaro 14
Tabla 2. Distribución de cuencas hidrológicas que se encuentran en el Estado....18
Tabla 3. Potenciales de Calentamiento Global de GEI 25
Tabla 4.Nivel de cálculo del inventario de Gy CEI, por categoría y subcategoría. 26
Tabla 5.Emisiones de CO_2e por municipio y categoría. 28
Tabla 6. Emisiones per cápita, Querétaro 2021 31
Tabla 7. Poder calorífico de los combustibles 34
Tabla 8. Balance de consumo energético (PJ) por sector, 2021....35
Tabla 9. Porcentaje de consumo de combustible en el Estado de Querétaro 2021....36
Tabla 10. Consumo energético para generación de electricidad en el Estado, 2021. 37
Tabla 11.Consumo de combustible por el sector industrial en el Estado, 2021. 37
Tabla 12.Consumo energético de combustible por autotransporte en el Estado, 2021 38
Tabla 13. Emisiones de GEI de la categoría de energía por subcategoría, 2021....42
Tabla 14. Emisiones por subcategoría del sector IPPU 49
Tabla 15. Distribución de la población ganadera por municipio, 2021....53
Tabla 16.Emisiones de AFOLU por subcategoría en el Estado 2021. 58
Tabla 17.Emisiones por subcategorías 59
Tabla 18. Emisiones de GEI por municipio categoría de AFOLU 60
Tabla 19. Emisiones por subcategoría del sector Residuos. 65
Tabla 20. Emisiones de GEI del sector Residuos por municipio 66
Tabla 21. Incertidumbres por categoría y subcategoría para estimaciones 2021. 69

Acrónimos

AIQ	Aeropuerto Internacional de Querétaro
CEA	Comisión Estatal del Agua
CH_4	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO_2	Dióxido de Carbono
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DENUE	Directorio Nacional de Unidades Económicas
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estado Unidos
FAO	Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura
Gg/a	Gigagramo por año
GyCEI	Gases y Compuesto de Efecto Invernadero
HFC	hidrofluorocarbonos
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
N_2O	Óxido nitroso
PFC	perfluorocarbonos
PIB	Producto Interno Bruto
PJ	Pentajoul
SCT	Secretaria de Comunicaciones y Transportes
SEDEA	Secretaria de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro
SEDESU	Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro
SENER	Secretaria de Energía
SERMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SF	Secretaria de finanzas del Estado de Querétaro
SF_6	hexafluoruro de azufre
SIAP	Sistema de Información Agroalimentaria y Pecuaria
SIE	Sistema de Información Energética

Resumen ejecutivo

En los últimos años el Estado de Querétaro ha tenido un importante desarrollo económico, aunado a la demanda de servicios e incremento de población migrante de otras partes del país, esto genera invariablemente un incremento en la contribución de emisiones.

En este sentido el inventario de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) resulta una herramienta fundamental que cuantifica y reporta las emisiones (y absorciones) de GyCEI, siendo de gran utilidad para el desarrollo y evaluación de políticas públicas orientadas a la mitigación de emisiones.

El inventario de emisiones de GyCEI se desarrolla conforme a las directrices de IPCC 2006, por lo que considera la estimación de emisiones por fuentes y sumideros para los cuatro sectores definidos:

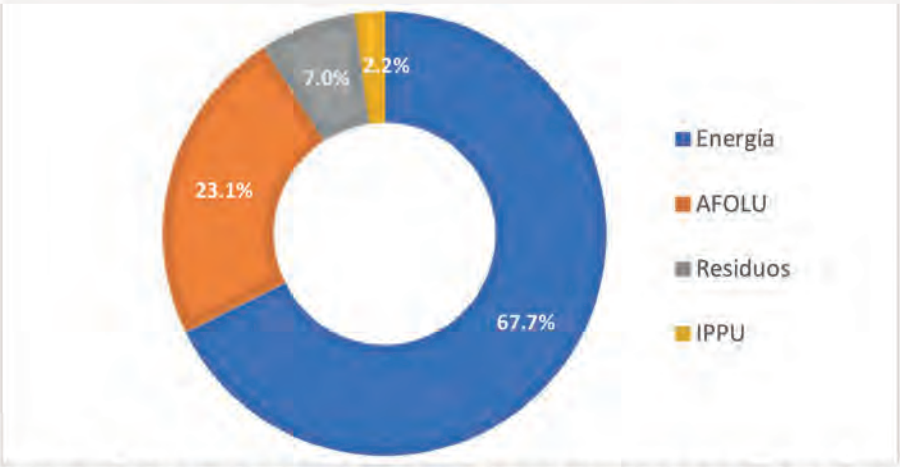
- Energía
- Procesos Industriales y uso de productos (IPPU, por sus siglas en inglés)
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés)
- Residuos

Dependiendo de cada sector y subsector las estimaciones obtenidas fueron para gases de efecto invernadero (CO_2 CH_4, N_2O, HFC, PFC y SF_6), y conforme a su poder de calentamiento los resultados se presentan como CO_2 equivalente.

El presente documento se estructura de tal forma que en las primeras dos secciones se presenta la introducción y alcances, indicando el contexto general del Estado en cuanto a aspectos físicos, sociales y económicos, así como los alcances. La tercera sección hace referencia los resultados totales de emisiones de GyCEI, por municipio y per cápita, y en la cuarta sección se presentan los resultados de las estimaciones obtenidas por categoría y subcategoría indicando la metodología y consideraciones realizadas en cada una, así como los resultados por subcategoría y por municipio. En la última sección se presentan conclusiones y recomendaciones.

Como resultado se obtuvo que las emisiones netas totales de Gases de Efecto Invernadero para el Estado de Querétaro en el 2021 son de *9,705.43 Gg/a* de CO_2e, así como una absorción de 884.26 Gg/a de CO_2e.

La categoría de energía fue la que tuvo la mayor contribución (67.68%), seguida de AFOLU (23.13%), Residuos (6.97%) e IPPU (2.21%) esto tomando en cuenta las emisiones totales.



Gráfica 1. Contribución de emisiones de CO_2e por categoría en el Estado, 2021.

Respecto a las emisiones por categoría se observa que las subcategorías con mayor aportación son:

Energía: el sector transporte es la de mayor contribución de CO_2e con el 35%, seguido de la industria manufactureras con el 30.5% y la industria de la energía con el 26.5%.

Procesos industriales y uso de productos (IPPU): la industria de los minerales es la que tiene la mayor aportación de CO_2e con el 69.83%, seguida del uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono con el 30.06%.

Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU): la ganadería es la que contribuye con mayor emisión de CO_2e con el 37.81%, seguido de las fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 de la tierra con el 35.67% y tierra con el 26.52%.

Residuos: la eliminación de residuos sólidos es la subcategoría con mayor aportación de CO_2e con el 83.7%, y el tratamiento y eliminación de aguas residuales con el 15.9%.

Los municipios que tienen mayor contribución de CO_2e son Querétaro (33.64%), Pedro Escobedo (20.41%), San Juan del Río (17.53%) y El Marqués (7.05%). En todos estos la categoría de energía es la que tiene la mayor contribución.

La absorción se da principalmente en los municipios que pertenecen a la Sierra Gorda: Pinal de Amoles, Arroyo Seco, Jalpan de Serra y Landa de Matamoros.

I. Introducción

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja. Forman parte de los ciclos naturales de nuestro planeta, como el ciclo del carbono y del agua, entre otros; y son necesarios para mantener estable la temperatura del planeta. Sin embargo, en las últimas décadas, la intensa actividad humana ha ocasionado que su emisión se incremente de forma considerable, aumentando la temperatura de la Tierra y ocasionando cambios climáticos significativos.

Los GEI en los últimos años han provocado un aumento significativo y preocupante en las temperaturas del planeta, ocasionando cambios climáticos. De acuerdo con informes del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el clima ha sido alterado como resultado de la acumulación de GEI en la atmósfera, lo que pone en peligro y hace vulnerable a la población.

Debido a la importancia tan significativa de las emisiones de GEI en la actualidad, y a su papel en el cambio climático global, así como sus potenciales impactos en el medio ambiente y la sociedad, el inventario de emisiones de GEI es una herramienta fundamental para la evaluación de las medidas y políticas para abordar este desafío ambiental.

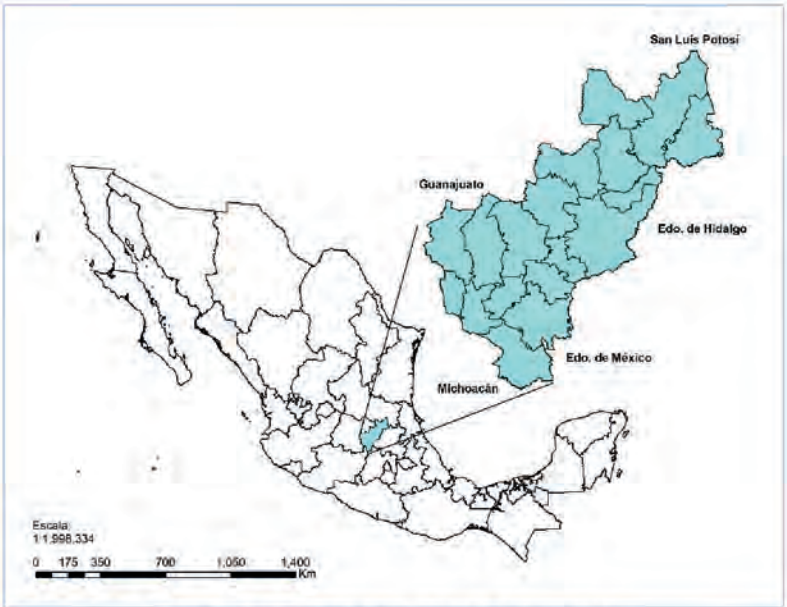
Conforme al inventario de emisiones de GEI del Estado de Querétaro, 2015, donde las emisiones totales fueron 12,558,516.07 Gg/año de CO_2 equivalente, el sector energía 84.5%, AFOLU 8.2%, desechos 4.9% e IPPU 2.4%, estos resultados son referencia para identificar de manera general las emisiones por categorías. Sin embargo, no son del todo comparables con los obtenidos para el 2021, debido a la actualización de metodologías de estimación en algunas de las subcategorías y precisión de información para estimación.

Asimismo, como parte del proceso de control de calidad, desde la recopilación de información con la revisión cruzada de los datos de actividad reduciendo errores de transcripción de información, se verificaron las referencias bibliográficas, unidades y factores de conversión para los métodos de cálculo de cada una de las subcategorías. Además, se verificaron los factores de emisión y la correcta estimación de emisiones, considerando evitar el conteo doble y errores en las funciones de las hojas de cálculo; asimismo, se compararon y analizaron los resultados de la estimación de emisiones de las distintas subcategorías del año base 2021, buscando controlar la coherencia de la serie temporal y la tendencia.

I.1 Caracterización de la zona de estudio

Es importante conocer las características del Estado para entender el comportamiento de las emisiones de GEI e identificar los posibles impactos en base a la perspectiva de crecimiento y condiciones geográficas y climáticas del Estado, por lo que en esta sección se describen algunos aspectos relevantes para entender la dinámica de desarrollo del Estado.

El Estado de Querétaro se encuentra ubicado en el centro del país, posee una extensión territorial de 11,690.6 km^2 lo que representa 0.6% de la superficie del país; colinda al norte con San Luis Potosí y Guanajuato; al este con San Luis Potosí e Hidalgo, al sur con Hidalgo, el Estado de México y Michoacán de Ocampo y al oeste con Guanajuato. Mapa 1.

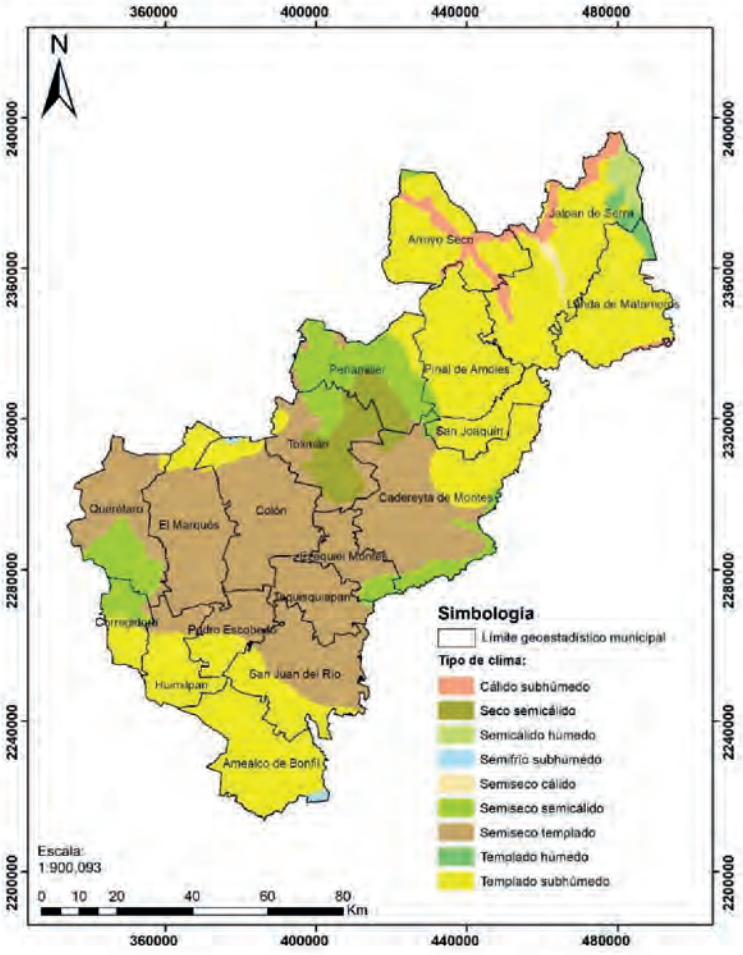


Mapa 1. Localización del Estado de Querétaro
Fuente: Elaboración propia

Está integrado por dieciocho municipios, su capital es el municipio que lleva el mismo nombre que el Estado. Los principales centros urbanos se ubican en el sur del Estado en la zona denominada Bajío, dado que la mayor parte del territorio estatal se asienta en zonas serranas conformadas por la Sierra Gorda, Sierra Madre Oriental y la Sierra Queretana.

Poco más de la mitad del Estado, presenta clima seco y semiseco principalmente en la región centro; el clima cálido subhúmedo se presenta en la región de la Sierra Madre Oriental; la región sur, centro y noreste presentan clima templado subhúmedo; el clima cálido húmedo y templado húmedo se presenta hacia el noreste.[1] Mapa 2.

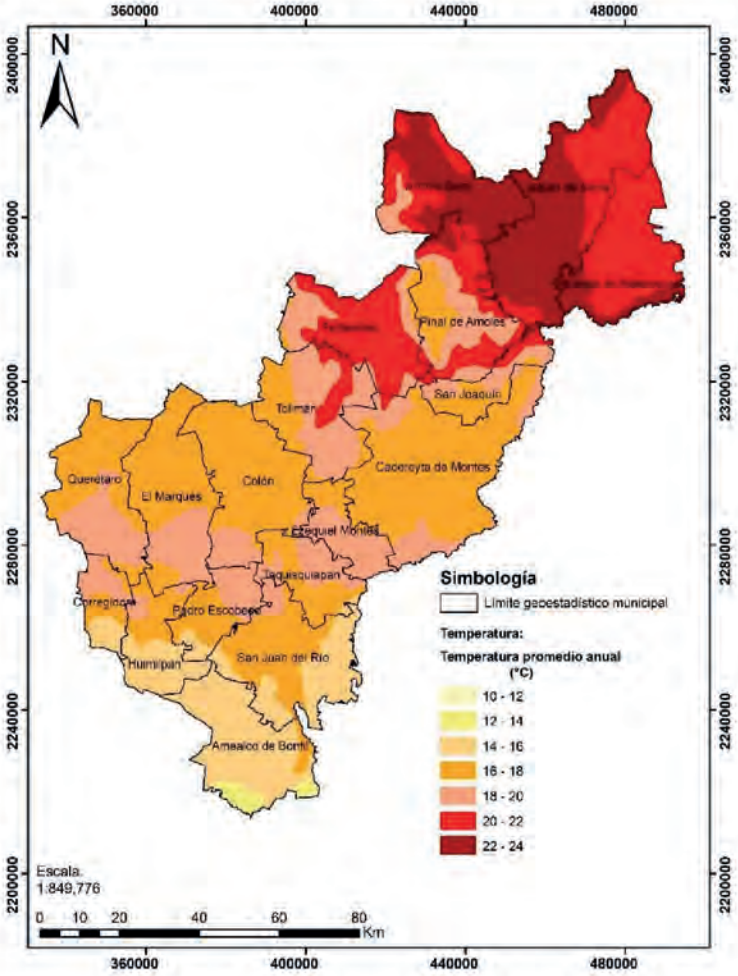
[1] INEGI (2023) Clima Querétaro



Mapa 2. Climas en el Estado
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

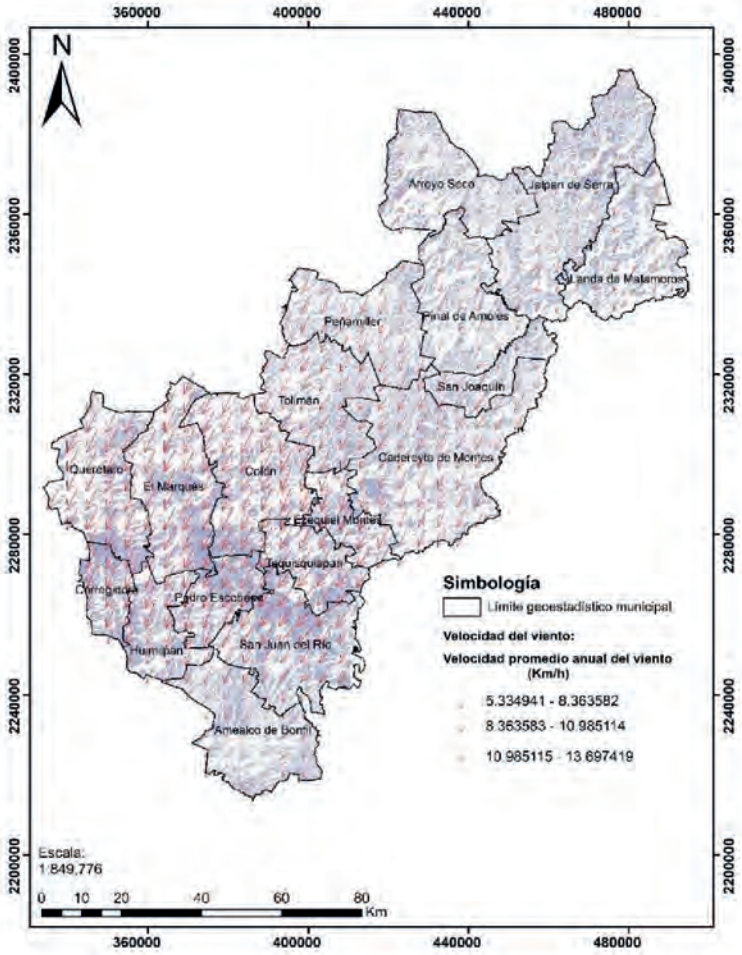
La temperatura máxima promedio en Querétaro en 2021 fue 27.7 °C, la media promedio 20.1 °C y la mínima promedio 12.5 °C[2], todos inferiores a los registrados a nivel nacional. Las temperaturas más altas se presentan en el extremo norte de la entidad en la región de la Sierra Gorda; y las más bajas sobre las cumbres de las principales elevaciones. Mapa 3.

[2] SMN, 2021 Servicio Meteorológico Nacional.



Mapa 3. Temperaturas promedio anual
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

En cuanto a vientos, la velocidad promedio por hora en la capital del Estado tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, la parte más ventosa del año en esta zona dura 4.4 meses, de junio a mediados de octubre, con velocidades promedio del viento de más de 12.1 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año es septiembre, con vientos a una velocidad promedio de 13.1 kilómetros por hora. Los vientos promedio a nivel Estatal se presentan en el Mapa 4.



Mapa 4. Velocidad promedio anual del viento
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

En el estado de Querétaro las sierras y los lomeríos son una constante a lo largo y ancho del territorio. La superficie estatal forma parte de las provincias fisiográficas: "Eje Neovolcánico", "Sierra Madre Oriental" y "Mesa del Centro".

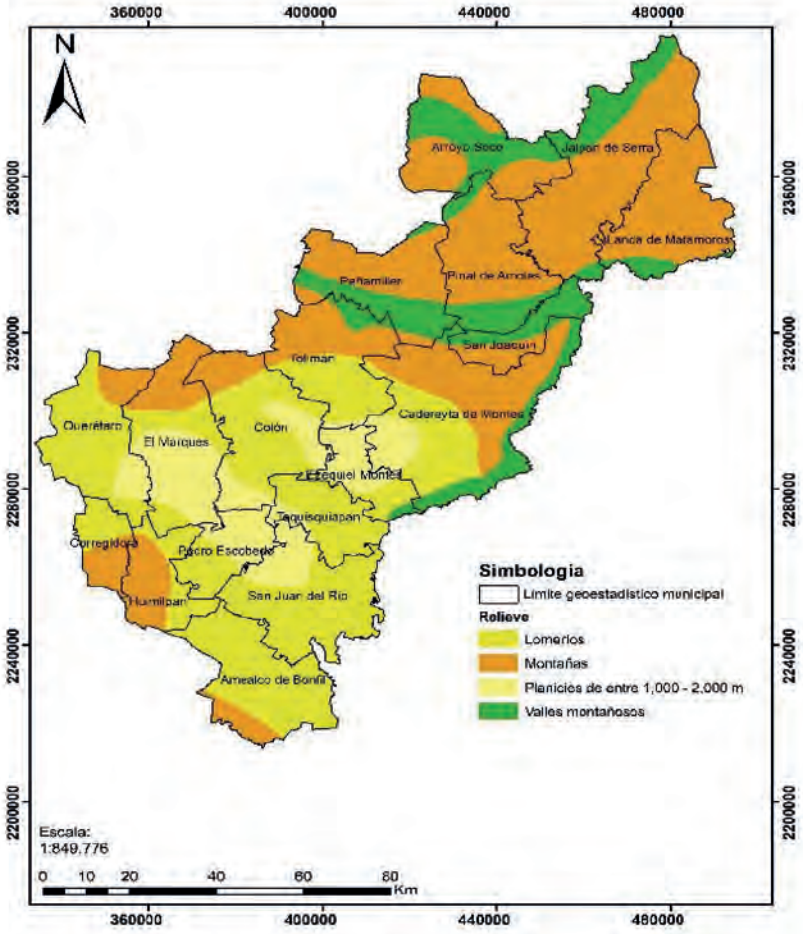
La zona nororiental la conforman sierras con altitudes de 2,720 metros sobre el nivel del mar (msnm) como el cerro el Tejocote, en donde se tienen admirables paisajes como en Pinal de Amoles. En el centro norte del estado continúa la presencia de sierras con forma de meseta en donde se encuentra el cerro El Zamorano, que es la máxima altitud con 3,340 msnm (Tabla 1).

Tabla 1.Principales elevaciones en el Estado de Querétaro

Cerro	Elevación (msnm)
El Zamorano	3,340
El Espolón	3,240
La Pingüica	3,160
Las Vigas 3,120	3,120
La Laja	3,120
La Calentura	3,060
Grande	2,820
Bravo	2,810
El Gallo	2,760
El Tejocote	2,720
La Peña Azul (Sierra)	2,700
Gordo	2,530
El Frontón	2,500
Peña de Bernal	2,430
Joya de las Papas	2,160

Fuente: Elaboración propia con información INEGI[2]

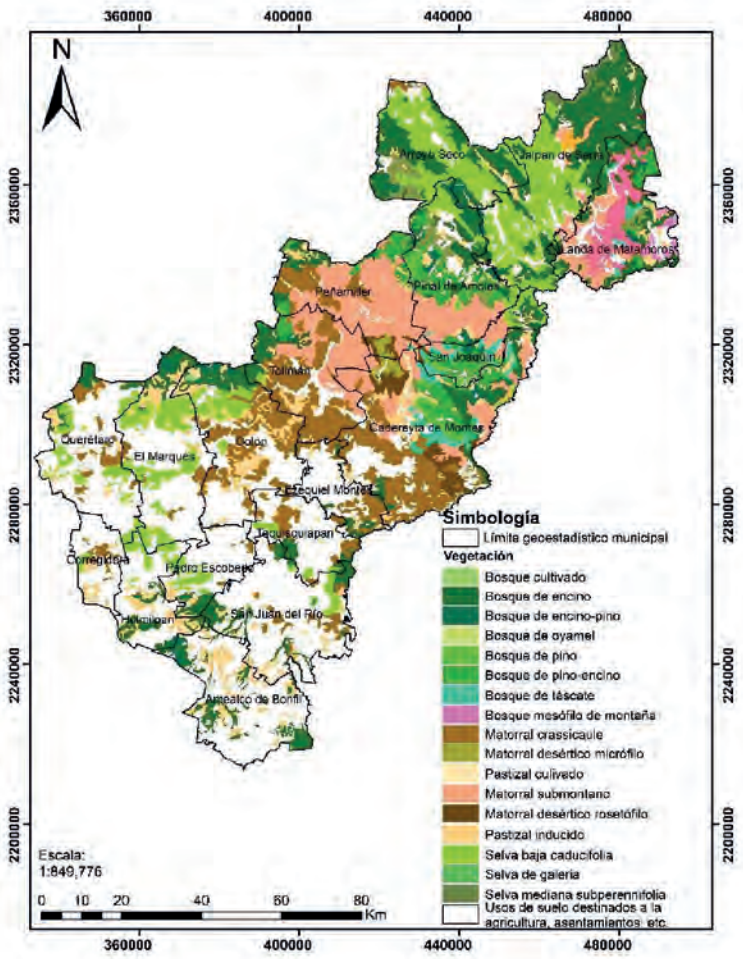
En la parte central hay dos sierras separadas por llanuras en los municipios de San Juan del Río y Ezequiel Montes. Mapa 5.



Mapa 5. Relieve en territorio estatal
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

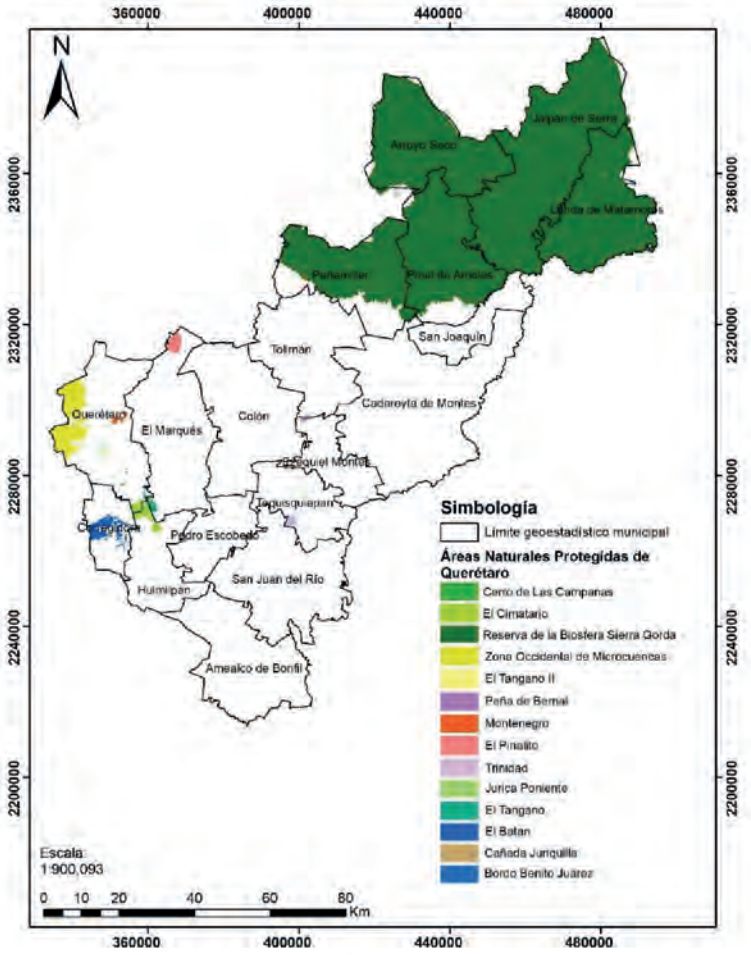
En cuanto a la vegetación, en el Estado predominan los bosques de coníferas y encinos que se ubican en las zonas altas del norte, de donde se obtienen recursos maderables, siguiendo en importancia los matorrales que se ubican en la parte central del Estado; con especies vegetales como el mezquite, nopal e Izote, las selvas secas en las partes bajas del centro y norte, los pastizales se localizan en las áreas cercanas a los bosques y selvas utilizados principalmente para forraje. La superficie agrícola ha desplazado a la vegetación original del sur.[3]

[3] INEGI. Aspectos geográficos, Querétaro (2021)



Mapa 6. Tipos de vegetación
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Asimismo, en el territorio estatal existen once áreas naturales protegidas, tres de ellas de competencia federal y ocho estatal. Mapa 7.



Mapa 7. Áreas Naturales Protegidas en el Estado.
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

Respecto a la hidrología, el Estado de Querétaro se ubica en la afluencia de 12 acuíferos que históricamente han registrado tendencias de sobreexplotación y abatimiento. El agua subterránea en la entidad constituye la principal fuente de abastecimiento.

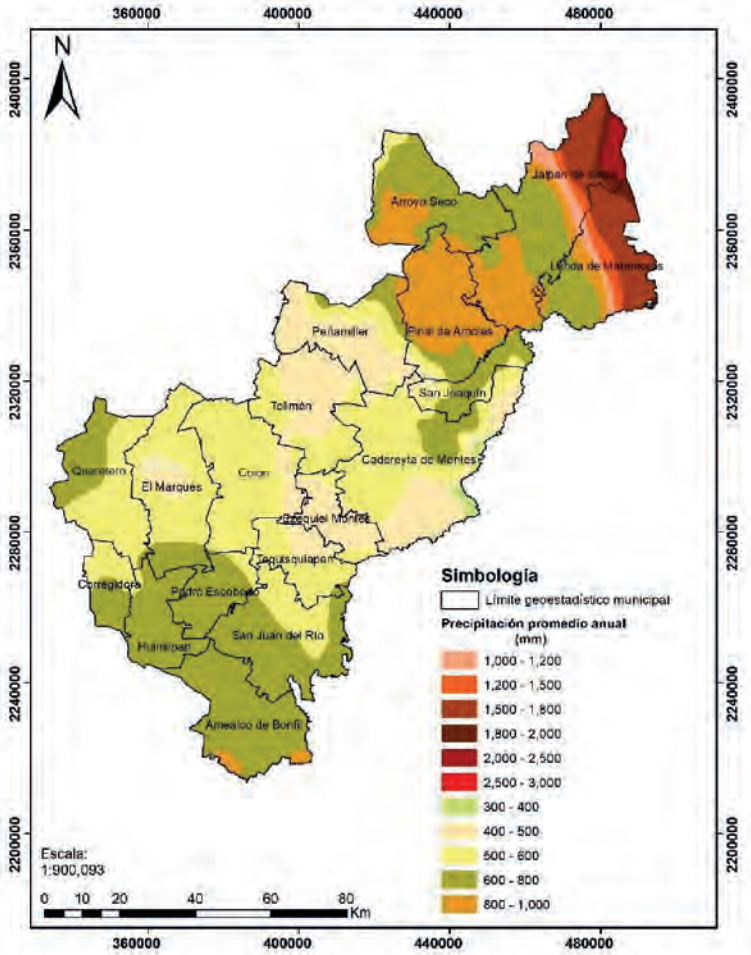
En cuanto a cuerpos de agua y vertientes, el Estado se localiza en las vertientes del Océano Pacífico de la región Lerma-Santiago y en la del Golfo de la zona México-Pánuco. Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de cuencas hidrológicas que se encuentran en el Estado

Región	Cuenca	% superficie estatal
Lerma - Santiago	Lerma-Toluca	1.78
	Laja	19.42
Pánuco	Tamuín	23.24
	Moctezuma	55.56

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI[4]

La precipitación media estatal es de 570 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre. Mapa 8.

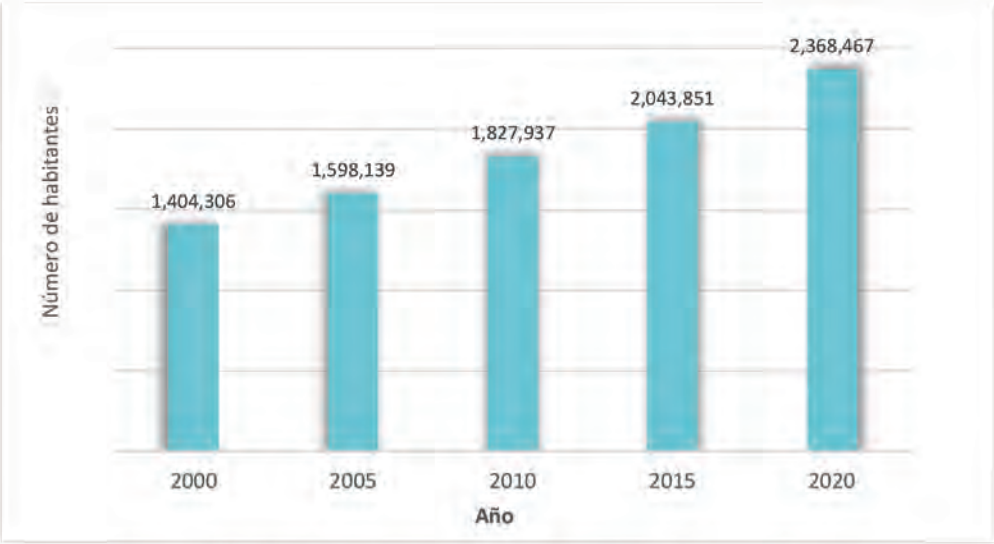


Mapa 8. Precipitación promedio anual
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

[4] INEGI. Aspectos geográficos, Querétaro (2021)

I.2 Contexto socioeconómico

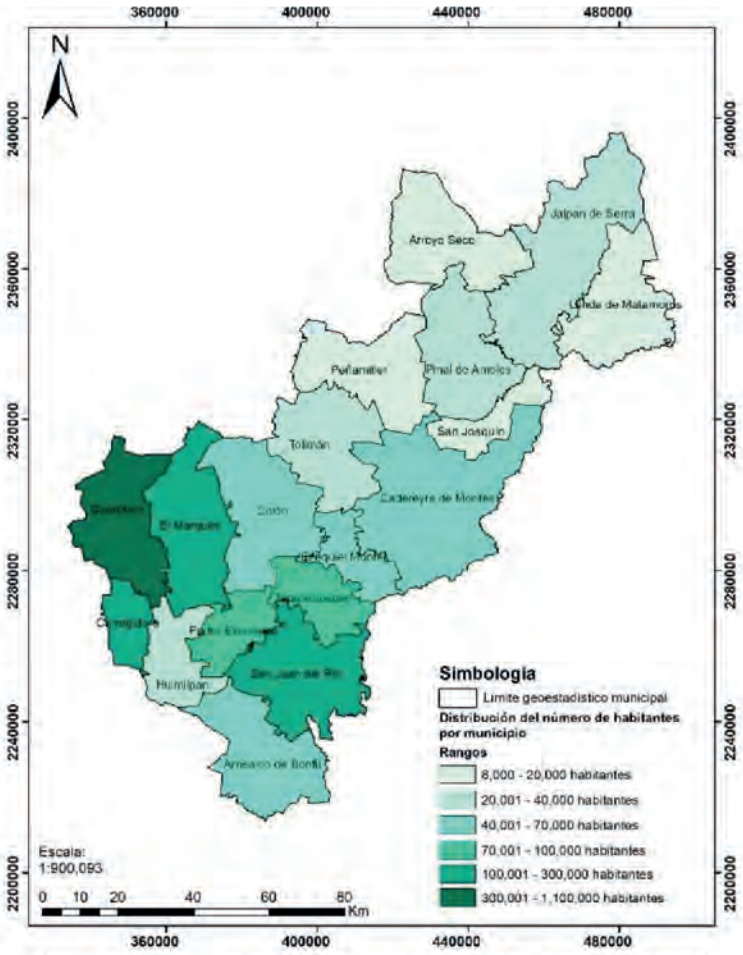
Los censos de población realizados de 1900 a 2020, así como las encuestas intercensales, muestran el constante crecimiento del número de habitantes en el Estado, tan solo del año 2010 al 2020 hubo crecimiento del 30.9% alcanzando una densidad poblacional de 203 habitantes por kilómetro cuadrado. La Gráfica 2 muestra la tendencia del crecimiento de la población desde el año 2000 al 2020.



Gráfica 2.Crecimiento poblacional en los últimos 20 año en el Estado.
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

El Estado ocupa la posición número 21 de los estados más poblados a nivel nacional, con 2,368, 467 habitantes[5], su densidad de población es de 203 personas por kilómetro cuadrado. En lo que respecta a la población por sexo, el 51.2% son mujeres (1,211,647) y el 48.8% hombres (1,156,820). Los municipios con mayor población son; Querétaro con 1'049,777, San Juan del Rio con 297, 804, El Marqués 231,668 y Corregidora 212,567. Mapa 9.

[5] INEGI, 2020



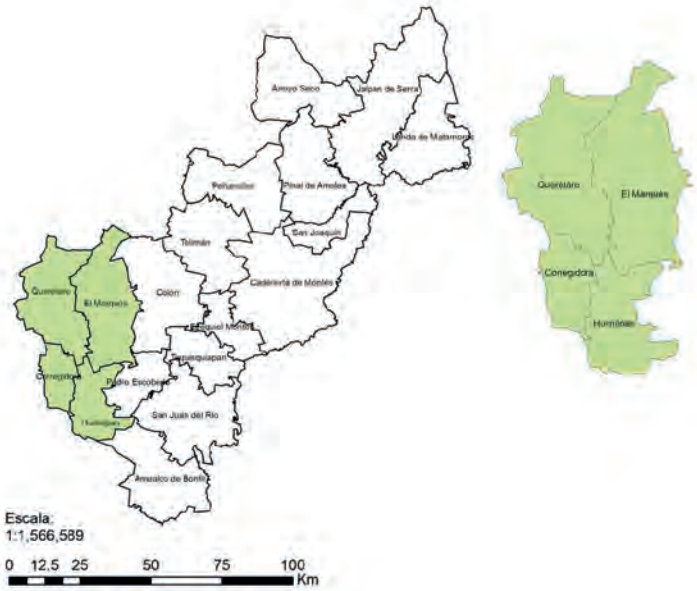
Mapa 9. Distribución de habitantes en el territorio Estatal, 2021
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

La distribución territorial nos da una densidad poblacional de 202.6 hab./km^2. La mitad de la población tiene 29 años o menos.[6]

Conforme a la distribución de población el Estado cuenta con la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ)[7] conformada por los municipios de Querétaro, El Marqués, Corregidora y Huimilpan y concentra el 64.7% de la población estatal. Mapa 10.

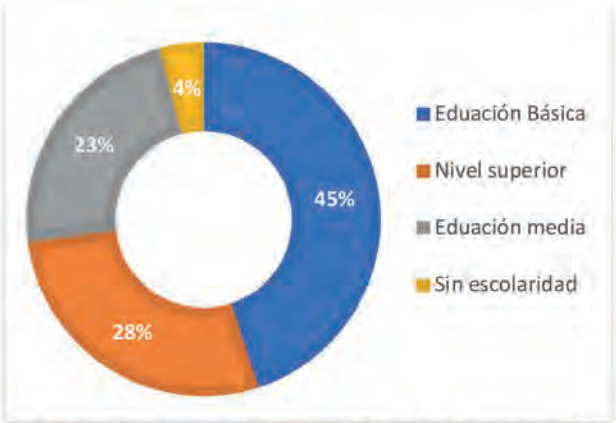
La población nueva con residencia ha aumentado en los últimos años en ZMQ, registrando un 11.3 % de migración dentro del estado[8], la causa principal es por trabajo.

[6] INEGI. Dinámica de la población (2020)
[7] CONAPO, Delimitación de zonas metropolitanas de México 2005.
[8] Quivera, 2019



Mapa 10. Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ).
Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO.

El nivel promedio de escolaridad de la población de 15 años y más equivale a poco más del primer año de bachillerato (10.5), y es mayor al registrado a nivel nacional donde el grado de escolaridad de la población de 15 años y más es un poco más de la secundaria concluida (9.7)[9]. Gráfica 3.

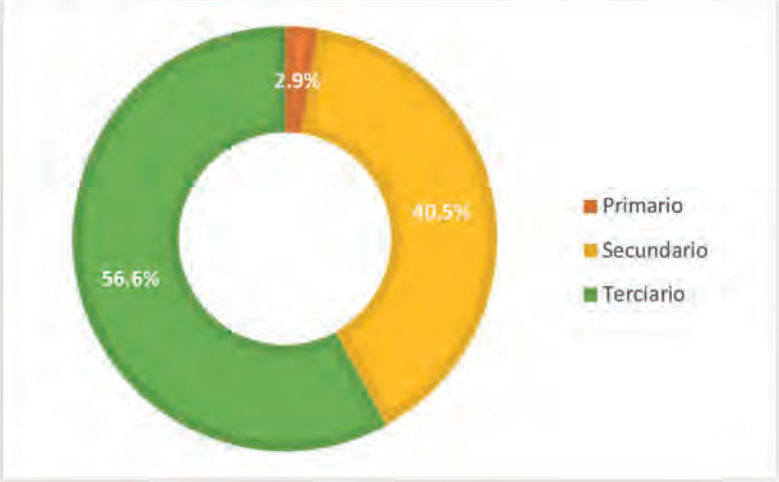


Gráfica 3. Escolaridad de población de 15 años y más en el Estado.

[9] INEGI, 2020. Censo de población y vivienda 2020.

La población económicamente activa a nivel estatal es del 65%, y la población es no económicamente activa es de 34.7%, de los cuales 36.9 % son estudiantes, 42.4% son personas dedicadas a los quehaceres de su hogar, 9.3% son pensionados 8.3% tienen otras actividades no económicas y por último el 3.2% lo representan personas con alguna limitación física o mental que le impide trabajar.[10]

En comparación con el 2020, para el año 2021, Querétaro fue uno de los estados con mayor crecimiento de Producto Interno Bruto (PIB), obteniendo un aumento del 6.2% y alcanzando un valor de 388 mil 481 millones de pesos para el Producto Interno Bruto [11,] aportando con el 2.3% al PIB Nacional. Gráfica 4.



Gráfica 4. Distribución del PIB por actividad económica en el Estado.
Fuente: Elaboración propia con datos INEGI[12]

Respecto a viviendas, el total de viviendas particulares habitadas es de 668,487, el promedio de ocupantes por vivienda es de 3.5.

85.2%
Agua entubada

97.1%
Drenaje

97.8%
Servicio sanitario

99.2%
Energía eléctrica

[10] INEGI. Panorama sociodemográfico de Querétaro Censo de Población y Vivienda (2020)
[11] SE. Querétaro: Economía, Empleo, Equidad, Calidad de Vida, Educación, Salud Y Seguridad Pública (2021)
[12] INEGI. Producto interno bruto por entidad federativa, para Querétaro (2021)

II. Alcances

El inventario tiene un alcance estatal, las emisiones estimadas, los análisis y resultados obtenidos fueron generados durante el año 2021. Tiene una resolución municipal por lo que los resultados proporcionarán una visión completa de las emisiones en el Estado de Querétaro, lo que permitirá una mejor comprensión de los desafíos ambientales e identificación de oportunidades para la mitigación de los GEI.

II.1 Gases y compuestos de efecto invernadero estimados

Los gases y compuestos de efecto invernadero estimados son:

- Bióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido Nitroso (N_2O)
- Halocarbonos (HFC, PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6)

Los cuales se reportan como bióxido de carbono equivalente (CO_2e).

II.2 Categorías estimadas

Conforme a la metodología del IPCC, las estimaciones se realizan para las siguientes categorías:

- Energía
- Procesos industriales y uso de productos (IPPU)
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)
- Residuos

Energía

En esta categoría se enfoca en la estimación de las emisiones directas de GEI provenientes de la generación de energía, industrias manufacturas y de la construcción, transporte y otros sectores (comercial, residencial y agricultura), los GEI estimados son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

Procesos industriales y uso de productos (IPPU)

Esta categoría contempla las emisiones de GEI relacionados a los procesos industriales, donde pueden liberarse grandes cantidades de estos gases como son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), los hidrofluorocarbonos (PFC) y hexafluorocarbonos de azufre (SF_6).

Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

En la categoría de AFOLU se evalúan las emisiones derivadas de actividades agrícolas, ganaderas y cambios en el uso de la tierra, principalmente las emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

Residuos

En esta categoría se consideran las emisiones de GEI emitidas por la eliminación y tratamiento de residuos sólidos estatales e industriales, tratamiento y eliminación de aguas residuales, incineración de residuos peligrosos y quema de residuos a cielo abierto las producidas en esta categoría son (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O).

II.3 Planeación y control de calidad

Como parte del proceso de planeación para el desarrollo del inventario, se consideró la etapa de recopilación de información, la cual consistió en realizar la solicitud mediante oficio firmado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU) a diferentes dependencias federales, estatales y municipales, además de la recopilación de información pública disponible.

Asimismo, el proceso de control de calidad se realizó desde la recopilación de información con la revisión cruzada de los datos de actividad reduciendo errores de transcripción de información, se verificaron las referencias bibliográficas, unidades y factores de conversión para los métodos de cálculo de cada una de las subcategorías. Además, se verificaron los factores de emisión y la correcta estimación de emisiones, considerando evitar el conteo doble y errores en las funciones de las hojas de cálculo; asimismo, se compararon y analizaron los resultados de la estimación de emisiones de las distintas subcategorías del año base 2021, buscando controlar la coherencia de la serie temporal y la tendencia.

III. Resultados de la estimación de emisiones de GEI

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la estimación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, primero se muestran los resultados totales, después por municipio y posteriormente se hace el análisis de resultados por categoría mostrando un panorama más claro y específico de la contribución.

Para fines de comparación y reporte, las emisiones de los GEI se cuantifican en toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), que relaciona el efecto del calentamiento de cada uno de los gases respecto al dióxido de carbono (CO_2), y se denomina Potencial de Calentamiento Global (PCG).

Tabla 3. Potenciales de Calentamiento Global de GEI

Gas	Potencial de calentamiento global a 100 años
CO_2	1
CH_4	28
N_2O	265
HCFC-141b	725
HCFC-22	1,810
SF_6	23,500

Elaboración propia, Fuente: IPCC

Las estimaciones realizadas se desarrollaron de acuerdo con las características y cantidad de la información obtenida para la estimación, con lo que se determinó por categoría y subcategoría el nivel de estimación del inventario (Tabla 4).

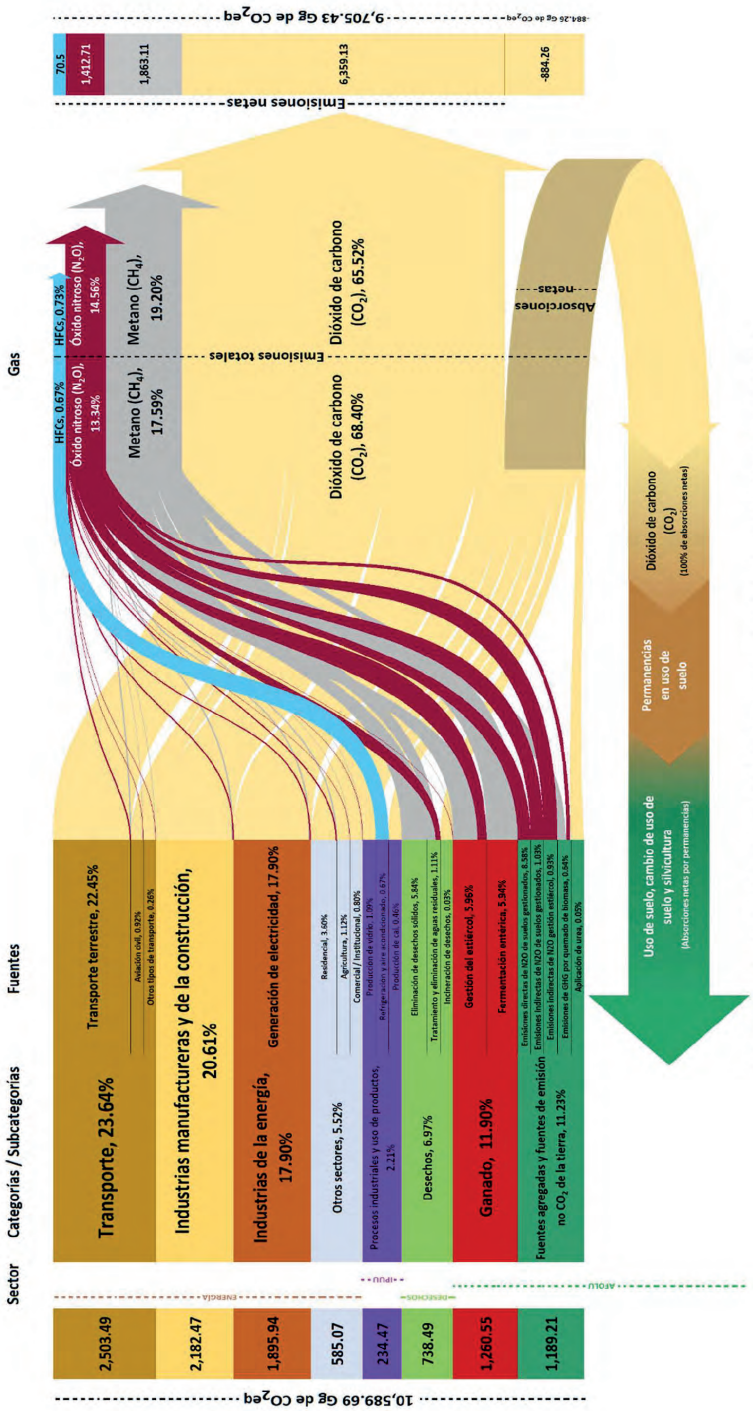
El nivel representa la complejidad metodológica. En general conforme a la metodología del IPCC, se presentan tres niveles: el Nivel 1 es el método básico (tier 1), el Nivel 2 el intermedio (tier 2), y el Nivel 3 es el más exigente en cuanto a la complejidad y los requisitos de los datos (tier 3).

Tabla 4.Nivel de cálculo del inventario de Gy CEI, por categoría y subcategoría.

Categoría	Subcategoría	Fuente	Nivel tier
Energía	1A1 Industrias de la energía	1A1 Generación de electricidad	2
	1A2 Industrias manufactureras y de la construcción	1A2 Industrias manufactureras y de la construcción	2
	1A3 Transporte	1A3a Aviación civil	2
		1A3b Transporte terrestre	2
		1A3c Ferrocarriles	2
	1A4 Otros sectores	1A4a Comercial / Institucional	2
		1Ab Residencial	2
		1A4c Agricultura/Silvicultura	2
IPPU	2A Industria de los minerales	2A2 Producción de cemento	-
		2A2 Producción de cal	2
		2A3 Producción de vidrio	2
	2C Industria de los metales	2C1 Producción de hierro y acero	1
	2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	1
AFOLU	3A Ganadería	3A1-Fermentación Entérica	1
		3A2-Manejo de Estiércol	2
	3B Tierra	3B - Tierra	2
	3C Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra	3C1 Emisiones de la quema de biomasa	2
		3C3 Aplicación de Urea	2
		3C4 Emisiones directas de N_2O de los suelos gestionados	2
		3C6 Emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión del estiércol	2
Residuos	4A Sitios de Disposición Final	4A Sitios de Disposición Final	2
	4C Incineración y quema de residuos	4C Incineración y quema de residuos	2
	4D Tratamiento y descarga de aguas residuales	4D Tratamiento y descarga de aguas residuales	2

III.1 Emisiones totales

Las **emisiones netas totales** de Gases de Efecto Invernadero para el Estado de Querétaro en el 2021 son de ***9,705.43 Gg/a*** de CO_2e, con una **absorción de 884.26 de CO_2e**, lo que representa una emisión total de 10,589.69 Gg de CO_2e. Gráfica 5.



Gráfica 5. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Querétaro, 2021.

La categoría con mayor contribución es energía (67.68 %), seguida de AFOLU (23.13%), Residuos (6.97 %) e IPPU (2.21%), considerando las emisiones totales. Gráfica 5.

Se precisa que para las siguientes secciones el análisis se realiza con las emisiones netas.

III.2 Emisiones de GEI por municipio

La contribución por categoría por municipio se muestra en la tabla 5, considerando las emisiones totales netas.

Tabla 5. Emisiones de CO_2e por municipio y categoría.

Municipio	Emisiones de CO_2e (Gg/a)				
	Energía	IPPU	Residuos	AFOLU	Total
Amealco de Bonfil	75.29	1.40	16.85	176.58	**270.12**
Pinal de Amoles	13.67	0.30	0.74	-89.01	**-74.30**
Arroyo Seco	16.39	0.33	1.81	-82.64	**-64.12**
Cadereyta de Montes	89.33	49.64	14.15	30.14	**183.27**
Colón	133.28	1.14	85.17	272.14	**491.73**
Corregidora	332.02	7.44	7.16	61.67	**408.29**
Ezequiel Montes	55.65	1.10	0.75	233.16	**290.67**
Huimilpan	60.84	1.11	3.37	175.34	**240.66**
Jalpan de Serra	24.52	0.56	6.49	-61.82	**-30.25**
Landa de Matamoros	15.05	0.32	5.12	-33.88	**-13.39**
El Marqués	471.95	41.07	17.47	154.13	**684.63**
Pedro Escobedo	1,775.56	1.51	3.05	200.49	**1,980.61**
Peñamiller	16.29	0.34	3.33	5.91	**25.88**
Querétaro	2,575.21	117.78	480.49	91.58	**3,265.06**
San Joaquín	8.63	0.18	1.52	-11.48	**-1.15**
San Juan del Río	1,403.29	7.55	68.12	222.16	**1,701.13**
Tequisquiapan	80.12	1.63	16.77	150.80	**249.32**
Tolimán	19.87	1.07	6.10	71.23	**98.27**
Total	**7,166.97**	**234.47**	**738.48**	**1,565.50**	**9,706.43**

Los municipios de Querétaro, Pedro Escobedo y San Juan del Río contribuyen con el 80.28% de CO_2e. Gráfica 6.

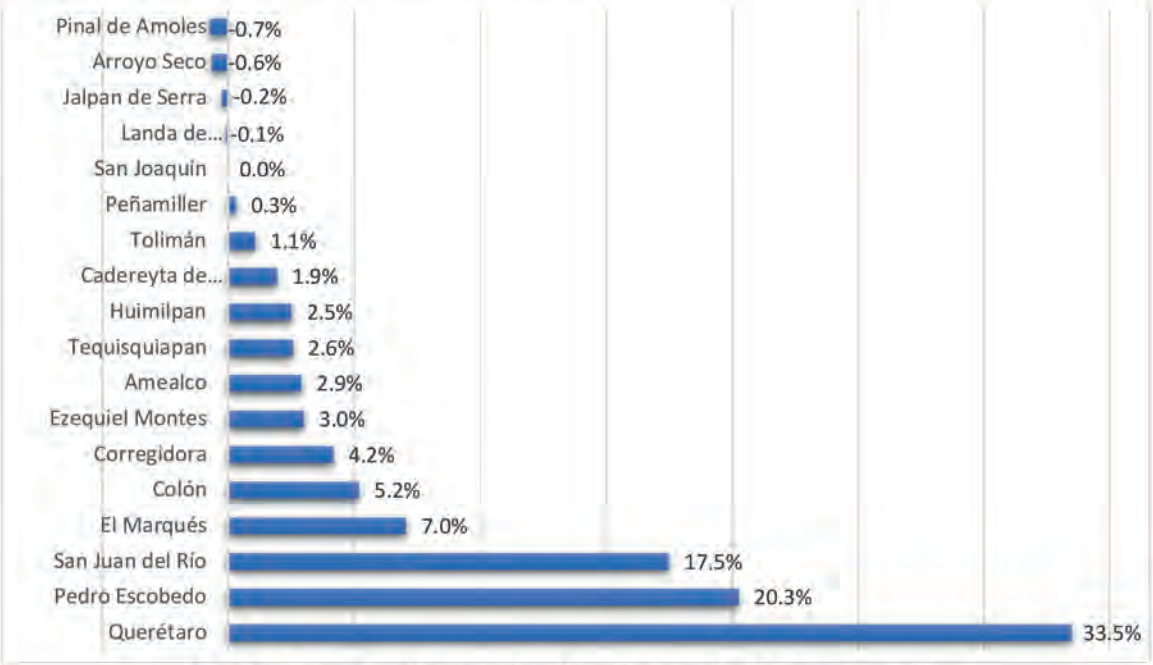
Sobre las emisiones de CO_2e por categoría por municipio, a continuación, se mencionan los que tienen mayor contribución en cada una.

- **Energía.**
  El municipio con mayor aportación es Querétaro (35.93%), seguido de Pedro Escobedo (24.77%) y San Juan del Rio (19.58%).

- **Procesos industriales y uso de productos (IPPU).**
  Querétaro es el municipio con mayor aportación (50.23%), Cadereyta de montes (21.17%) y El Marques (17.51%).

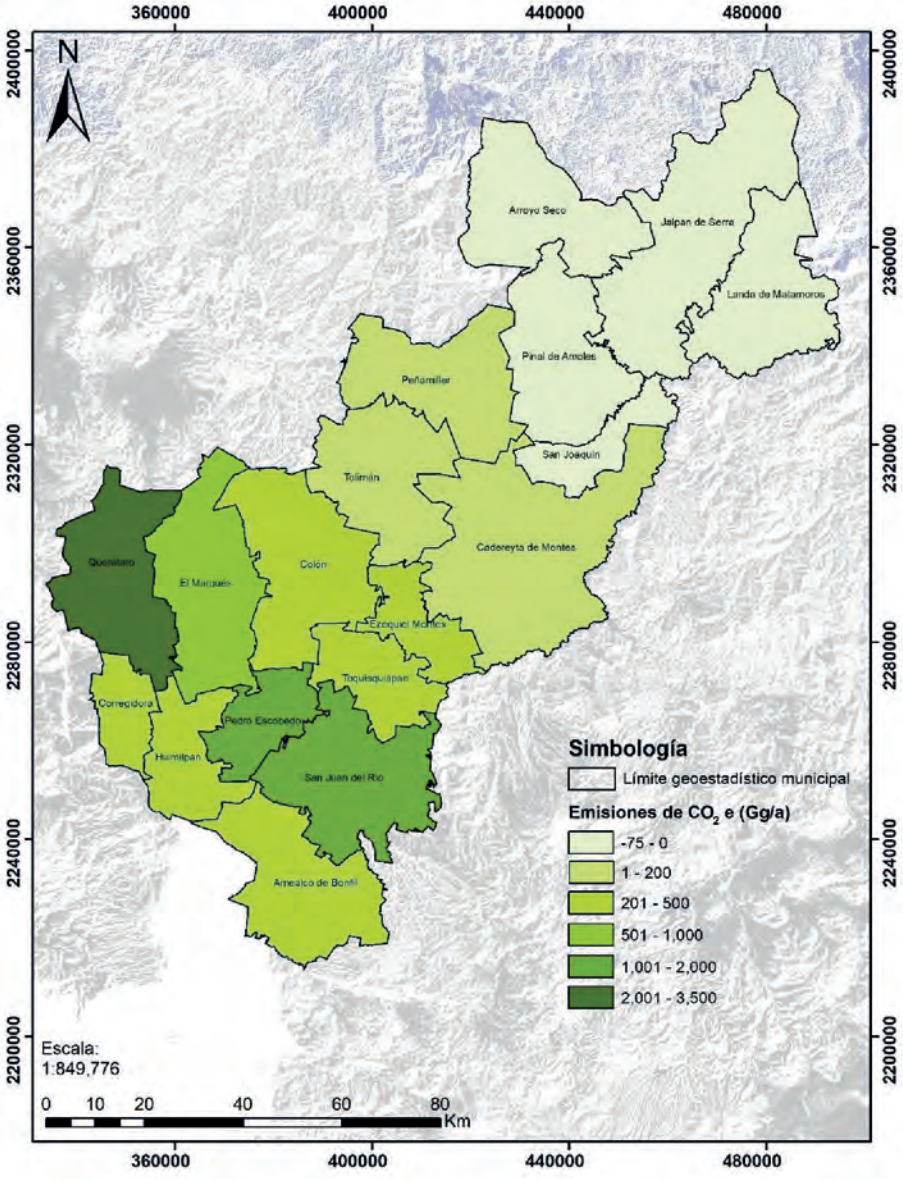
- **Residuos**
  Para esta categoría el municipio de Querétaro es quien tiene la mayor contribución (65.06%) seguido del municipio de Colón (11.53%) y San Juan del Río (9.22%).

- **Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)**
  El municipio de Colón es el que tienen la mayor aportación (17.29%), seguido de San Juan del Rio (14.13%) y Ezequiel Montes 14.11%.



Gráfica 6. Contribución porcentual de emisiones de CO_2e por municipio.

En el mapa 11, se muestran las emisiones de CO_2e por municipio.



Mapa 11. Emisiones de CO_2e por municipio.

III.3 Emisiones per cápita

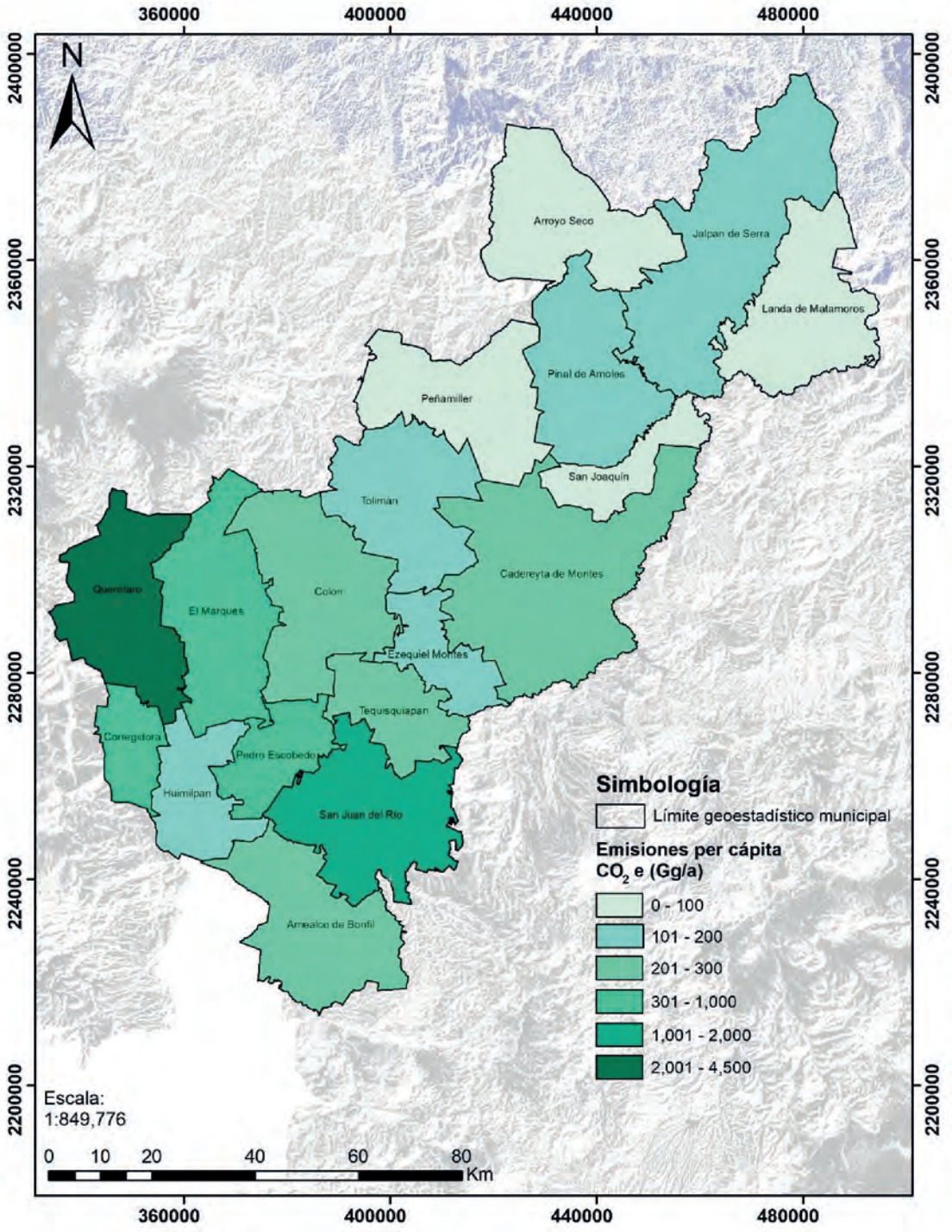
Con los resultados obtenidos de CO_2e se realizó el cálculo de emisiones per cápita, asumiendo que la población total del Estado de Querétaro en 2021 es de 2,368,467 habitantes (INEGI[13]), obteniendo que la emisión por habitante fue de 0.0041 Gg/a de CO_2e. En el mapa 12 se muestra la contribución per cápita por municipio.

Tabla 6. Emisiones per cápita, 2021

Municipio	Habitantes	Emisiones per cápita CO_2e (Gg/a)
Amealco de Bonfil	66,841	273.93
Pinal de Amoles	27,365	112.15
Arroyo Seco	13,142	53.86
Cadereyta de Montes	69,075	283.08
Colón	67,121	275.08
Corregidora	212,567	871.14
Ezequiel Montes	45,141	185.00
Huimilpan	36,808	150.85
Jalpan de Serra	27,343	112.06
Landa de Matamoros	18,794	77.02
El Marqués	231,668	949.42
Pedro Escobedo	77,404	317.22
Peñamiller	19,141	78.44
Querétaro	1,049,777	4,302.18
San Joaquín	8,359	34.26
San Juan del Río	297,804	1,220.46
Tequisquiapan	72,201	295.89
Tolimán	27,916	114.40
Total	**2,368,467**	**9706.43**

Emisión Per Cápita
0.0041 Gg/a de CO_2e

[13] INEGI, 2021. CONAPO proyecciones de población.



Mapa 12. Emisiones per cápita de CO_2e por municipio en el Estado, 2021.

IV. Emisiones de GEI por categoría

IV.1 Energía

La categoría Energía, incluye la estimación de emisiones derivadas de industrias dedicadas a la generación de energía eléctrica, industria manufacturera y de la construcción, transporte, comercial, residencial y agropecuario para las cuales se estiman las emisiones de GEI derivadas de las principales fuentes de combustión definidas por el IPCC adaptadas para para el estado de Querétaro correspondientes al año 2021.

Las emisiones estimadas en esta categoría consideran las emisiones de CO_2, CH_4 y N_2O, calculadas a partir del consumo de combustibles fósiles, así como el uso de leña en la subcategoría residencial.

Para la estimación de emisiones, se tomaron las recomendaciones del IPCC y la clasificación que debe seguirse para cada categoría de fuente (Imagen 1). La metodología utilizada fue la establecida por IPCC 2006; partiendo del uso de los árboles de decisiones, los que sirven como apoyo para definir el método, los factores de emisión y datos de actividad.

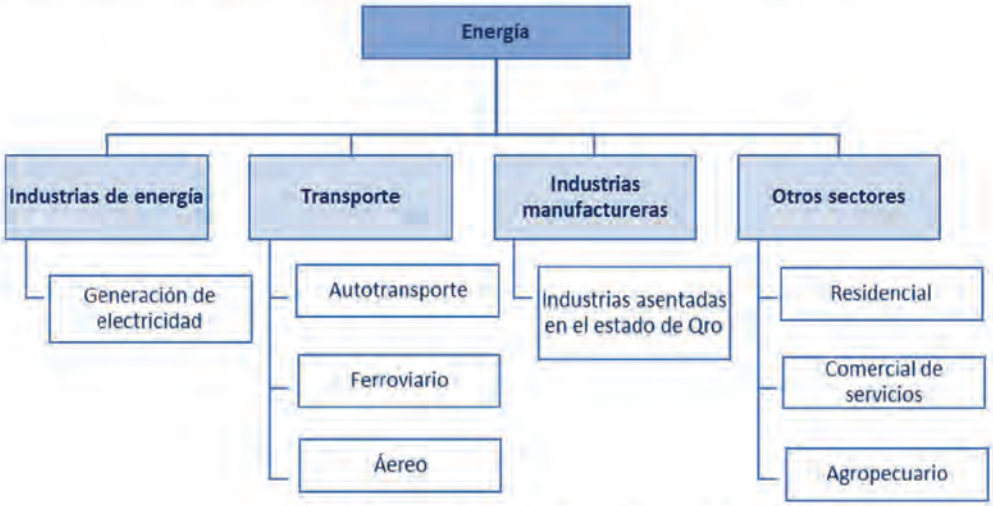


Imagen 1. Subcategorías del sector energía
Elaboración propia

De manera general para todas las subcategorías de acuerdo con la metodología del IPCC, se empleó el método tier nivel 2 con base en la cantidad y calidad de combustible quemado, utilizando el factor de emisión específico del país por tipo de combustible, tomando en cuenta el contenido de carbono de los combustibles utilizados, así como los factores de oxidación.

En este sector el proceso de control de calidad se realizó la revisión cruzada de los datos de actividad recabados, reduciendo errores de transcripción de información, se verificaron las referencias bibliográficas, unidades y factores de conversión para los métodos de cálculo de cada una de las subcategorías. Se verificaron los factores de emisión y la correcta estimación de emisiones, considerando evitar el conteo doble y errores en las funciones de las hojas de cálculo; además, se compararon y analizaron los resultados de la estimación de emisiones de las distintas subcategorías del año base 2021, con respecto a inventarios previos buscando controlar la coherencia de la serie temporal y la tendencia.

- **Consumo energético estatal**

Para conocer el consumo energético estatal en 2021, se realizó el balance estatal de energía con la información de consumo de combustible para el Estado de Querétaro en 2021 proporcionado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), así como realizando estimaciones sobre consumo energético a partir de los datos reportados por la Secretaría de Energía (SENER) en el Balance Nacional de Energía 2021, del Sistema de Información Energética (SIE), Prospectivas de Gas Natural 2016-2030, Prospectivas de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032 y Cédulas de Operación Ambiental (COA) estatales y federales de la actividad industrial en el Estado del 2021.

Para conocer la energía empleada por quema de combustible se emplea el poder calorífico por tipo de combustible, una vez que se estima el consumo total. Tabla 7.

Tabla 7. Poder calorífico de los combustibles

Combustible	Poder calorífico MJ/bl
Gasolinas	5,613.00
Turbosina	5,410.93
Gas avión	4,992.65
Diésel	6,065.00
Combustóleo	6,656.00
Gas natural	39,082.60
GLP fase líquida	4,152.89
Coque de petróleo	34,518.00
Leña	14,486.00

Fuente: SENER 2022.

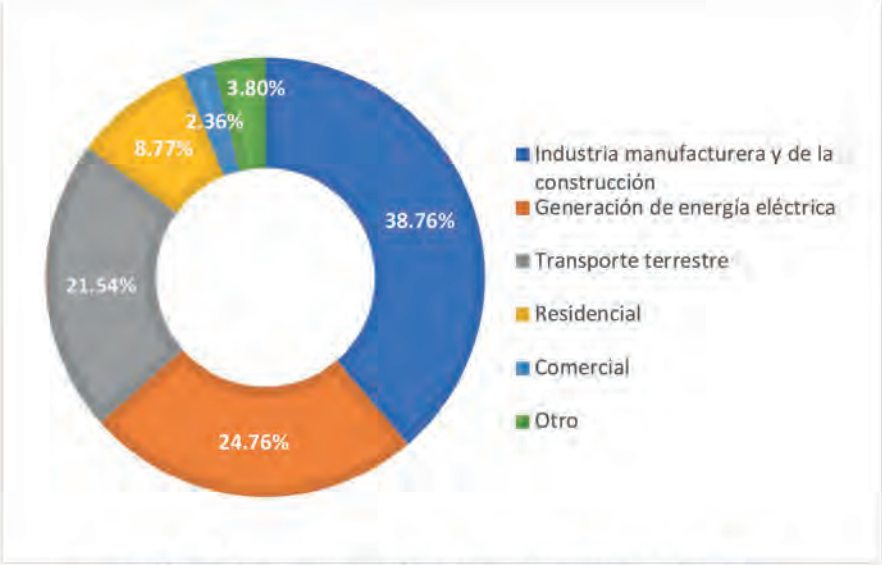
Conforme a la información recabada el consumo total de energía a nivel estatal durante 2021 fue de 132.47 PJ, los combustibles considerados son: gas natural, gas L.P., leña, diésel, gasolinas, turbosina, gasa avión y energía eléctrica.

Tabla 8. Balance de consumo energético (PJ) por sector, 2021.

Sector	Estatal (PJ)
Industria manufacturera y de la construcción	51.34
Generación de energía eléctrica	32.80
Transporte terrestre	28.54
Ferroviario	0.35
Aviación	2.22
Residencial	11.62
Comercial	3.13
Agrícola	2.47
Total	132.47

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, CRE, COA

El sector industrial manufactura/de la construcción es el que tienen una mayor demanda de energéticos con un consumo de 51.34 PJ que representa el 38.76 % del total Estatal para 2021, seguido del sector de generación de energía con 32.8 PJ (24.76%) y el transporte terrestre con 28.54 PJ (21.54%) respectivamente. (Gráfica 7)



Gráfica 7. Consumo energético por sector en el Estado, 2021

El mayor consumo de combustibles en 2021 en el Estado fue de gas natural con el 53.56%, seguido de la energía eléctrica con 15.08% y la gasolina con 14.69%; siendo estos los energéticos principales en el sector industrial/manufacturero y el transporte. Tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de consumo de combustible en el Estado, 2021.

Combustible	Consumo (PJ)	%
Gas Natural	70.94	53.56
Gas LP	7.88	5.95
Diésel	8.95	6.76
Gasolina	19.46	14.69
Combustóleo	0.10	0.08
Coque de petróleo	0.24	0.18
Leña	2.68	2.03
Turbosina	2.20	1.66
Gas avión	0.02	0.02
Energía eléctrica	19.97	15.08
Total	132.46	100.00

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, CRE, COA

IV.1.1 Metodología y consideraciones en el sector energía

1. Industrias de la Energía

En esta sección se estimaron las emisiones de GEI provenientes de la industria de la energía que comprende la generación de electricidad, la refinación de petróleo y la manufactura de combustibles; sin embargo, en el estado sólo se encuentran plantas de generación de energía eléctrica, por lo que las emisiones de este sector representan la actividad principal de generación de electricidad.

El estado de Querétaro cuenta con tres plantas de generación de energía eléctrica ubicadas en el municipio de Pedro Escobedo, Querétaro y San Juan del Río, las cuales tuvieron una generación total neta de 3,925,199.49 Megawatts por hora (MWh) en el 2021 [14]. Siendo la planta del municipio de Pedro Escobedo conocida como "El Sauz" la de mayor aportación de generación de energía eléctrica, y por ende la de mayor consumo de energía. Se obtuvo la Información de las Cedulas de Operación Anual de Jurisdicción Federal en el Estado de Querétaro en el año 2021. Tabla 10.

[14] SEMARNAT, 2021

Tabla 10. Consumo energético para generación de electricidad en el Estado, 2021.

Municipio	Generación de energía (MWh)	Consumo PJ	
		Gas natural	Diésel
Pedro Escobedo	3,500,140.17	28.36	-
Querétaro	24,486.12	0.35	-
San Juan del Río	400,573.20	4.09	3.80 E-05
Estatal	3,925,199.49	32.80	3.80 E-05

Se precisa que en el estado no se realizan actividades asociadas a la refinación de petróleo, fabricación de combustibles, por lo que no fueron estimadas emisiones referentes a estas actividades, ni a emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles. Sobre el transporte y almacenamiento de dióxido de carbono no se tuvo información disponible para su estimación.

2. Industria manufacturera y de la construcción

La industria manufacturera en el estado de Querétaro tiene una participación importante, por el uso de combustibles[15]. El balance para este sector se realiza con base en el consumo de combustibles reportado por la Secretaría de Energía (SENER) en su Balance Nacional Energético 2021, con el fin de incluir industria no regulada. Además, se considera la información proporcionada por SEMARNAT y SEDESU en la base de datos de las COA's de jurisdicción Federal y Estatal, respectivamente. Tabla 11.

Tabla 11.Consumo de combustible por el sector industrial en el Estado, 2021.

Sector	Consumo de energético (PJ)							
	Estatal	Gas LP	Diésel	Gas Natural	Combustóleo	Coque de petróleo	Gasolinas	Energía eléctrica
Industria manufacturera y de la construcción	51.34	0.67	0.32	36.11	0.10	0.24	0.02	13.89

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, CRE, COA

La desagregación de consumo por municipio se realizó considerando el número de establecimientos con clave SCIAN 31-33 (Industrias manufactureras) por tamaño de establecimiento publicados por el INEGI[16]. Así como la información reportada en la COA como los consumos de combustóleo, coque de petróleo y gasolinas fueron tomados directamente de lo reportado en las Cédulas debido a que no se reportan dentro del BNE 2021 para este sector.

[15] Energía (SENER) en el SIE
[16] INEGI-DENUE. 2022

3. Transporte

Autotransporte

Esta subcategoría considera todas las emisiones de la quema y la evaporación que emanan del uso de combustibles en vehículos terrestres, que circulan sobre carreteras pavimentadas. El consumo de combustible se basa en los registros de los volúmenes de ventas en el estado reportado por la SENER en el Sistema de Información Energética; para la distribución por municipio se emplea el padrón vehicular por municipio proporcionado por la Secretaría de Finanzas y el tipo de combustible usado con respecto al padrón estatal y/o nacional.

Tabla 12.Consumo energético de combustible por autotransporte en el Estado, 2021

Municipio	Consumo PJ			
	Gasolina	Diésel	Gas LP	Gas natural
Amealco de Bonfil	0.407	0.137	0.046	0.006
Pinal de Amoles	0.086	0.012	0.003	-
Arroyo Seco	0.099	0.016	0.003	0
Cadereyta de Montes	0.454	0.2	0.019	0.001
Colón	0.331	0.112	0.049	0.003
Corregidora	2.073	0.536	0.059	0.059
Ezequiel Montes	0.319	0.181	0.04	0.001
Huimilpan	0.332	0.107	0.04	0.007
Jalpan de Serra	0.162	0.035	0.006	-
Landa de Matamoros	0.092	0.022	-	-
El Marqués	1.257	0.512	0.062	0.023
Pedro Escobedo	0.423	0.145	0.025	0.007
Peñamiller	0.103	0.02	-	0
Querétaro	10.589	4.172	0.778	0.424
San Joaquín	0.057	0.015	0.003	0
San Juan del Río	2.047	0.659	0.229	0.053
Tequisquiapan	0.479	0.128	0.105	0.01
Tolimán	0.134	0.021	0.006	0.001
Estatal	**19.445**	**7.029**	**1.474**	**0.596**

Fuente: Elaboración propia con información de SENER[17]

[17] SENER, 2021. Sistema de información energética.

De acuerdo con la metodología IPCC 2006, el cálculo de emisiones de autotransporte puede basarse en el combustible consumido (representado por el combustible vendido) o en los kilómetros recorridos por tipo y número de vehículos, donde se considera la cantidad y el tipo de combustible quemado (que se considera igual al combustible vendido) como la mejor forma de calcular las emisiones de CO_2. La estimación se realizó con las dos metodologías, sin embargo, los resultados que se presentan fueron los referentes al combustible consumido, considerando que para el año 2021 las actividades económicas aún no se llevaban a cabo al cien por ciento, por lo que la flota vehicular no estaba activa en su totalidad, asumiendo que los volúmenes de venta de combustibles para ese año, representan mejor a esta actividad.

Los datos de actividad se obtuvieron del volumen de venta de petrolíferos. Correspondientes a la superintendencia de ventas de Querétaro. El consumo de gas LP y gas natural para este sector se estimó a partir de lo publicado en el Balance Nacional de Energía 2021[18]. Para la disgregación por municipio se emplea el padrón vehicular[19]. Padrón de vehículos de motor registrados en circulación, por municipio.

Ferrocarriles

Para el consumo de combustible del sector Transporte Ferroviario se consideraron los registros de la demanda de combustible en el estado, reportados por la Secretaría de Energía en el Sistema de Información Energética (SIE), considerando la proporción de la longitud de las vías férreas para su desagregación por municipio. De acuerdo con SIE en el estado de Querétaro durante 2021 el sector ferroviario consumió 0.35 PJ de diésel.

El dato de actividad de consumo de diésel se obtuvo a partir de lo reportado por la SENER en el Sistema de Información Energético, referente a la Demanda Interna de Diésel por Estado en el Sector Transporte Ferroviario en 2021[20]. Para la determinar el consumo para cada uno de los municipios del estado se consideró la longitud de vías férreas troncales por municipio en proporción con las vías férreas en el estado[21].

Aviación

El combustible utilizado por esta subcategoría es la turbosina y gas avión. Para esta subcategoría las emisiones se estimaron mediante el software Emissions and Dispersion Modeling Systems (EDMS 5.1.1) desarrollado por la Federal Aviation Administration (FAA) con

[18] SENER, 2022. Balance Nacional de Energía 2021
[19] SF-SPFI, 2021
[20] SIE-SENER, 2021
[21] SCT, 2021. Anuario Estadístico del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes 2021.

base en el número total de operaciones anuales por tipo de aeronave, debido a que cuenta con una mayor precisión al utilizar datos de número de operaciones considerando el aterrizaje, carreteo de entrada, arranque de motor, carreteo de salida, despegue y la elevación, además de estimar las emisiones por el uso de equipos auxiliares.

Los factores de emisión utilizados fueron los precargados en el programa EDMS 5.1.1, generados con información de fabricantes de motores (GE, Honeywell, Rolls Royce, etc.) para cada tipo de aeronave de acuerdo con EPA AP-42, ICAO, AESO, entre otros.

4. Otros sectores

Comercial

En la subcategoría comercial o de servicios los combustibles utilizados fueron el gas licuado de petróleo, gas natural, leña y energía eléctrica. El consumo de combustibles considerado fue el reportado en el Balance Nacional de Energía 2021. El consumo total estimado para esta subcategoría fue de 3.13 PJ.

La proporción de establecimientos que consumen gas natural y gas LP se estimó con base en el consumo de energía (PJ) publicado en el Balance de Nacional de Energía 2021[22]. Para la estimación de consumo de gas natural se tomaron como base los datos publicados en el Balance Nacional de Energía 2021, considerando la fracción de consumo estatal con respecto al nacional a partir de los datos de la demanda interna de gas natural[23].

Para la disgregación por municipio se consideró el número de establecimientos por tamaño de acuerdo con lo reportado en el DENUE por INEGI, considerando a los municipios con potencial de consumo de gas natural a los que se encuentran dentro de la Zona Geográfica de Querétaro[24]. El consumo de Gas LP del sector Comercial también se basa en información publicada en el Balance Nacional de Energía 2021 considerando la fracción de consumo en el estado a partir de la demanda interna de gas L.P. por estado[25].

La obtención de los datos de actividad del consumo de leña se realizó a partir de los resultados de encuestas aplicadas de manera aleatoria en los municipios de la zona metropolitana de Querétaro a los establecimientos con potencial de consumo de este combustible.

[22] SENER, 2022. Balance Nacional de Energía 2021.
[23] SIE-SENER 2022. IMP: Sectores Residencial, Servicios y Autotransporte, 2021. por estado publicado
[24] Comisión Reguladora de Energía (CRE) (CRE, 2023
[25] SIE-SENER, 2022. IMP: Demanda interna de Gas LP por Estado, 2021

Residencial

La subcategoría residencial demanda el uso de gas natural, gas LP, leña y energía eléctrica. La estimación de consumo en este sector se consideró en base a lo reportado en el Balance Nacional de Energía 2021, estimando un consumo total por esta subcategoría de 11.62 PJ.

Para el número de viviendas y viviendas por tipo de combustible más utilizado fue en base a INEGI[26,27,28], asumiendo que la tendencia se mantuvo para 2021, asumiendo que cada vivienda sólo consume un tipo de combustible.

El consumo de Leña se obtuvo con base en lo reportado en el Balance Nacional de Energía 2021, así como en la fracción del número de viviendas que la utilizan leña para cocinar en el estado con respecto al nacional, considerando la fracción de viviendas por municipio[28].

Agropecuario

El consumo de combustible del sector Agrícola se basa en lo reportado en el Balance Nacional de Energía 2021 de la Secretaría de Energía, considerando la superficie mecanizada y las toneladas de producción para la desagregación por municipio. El consumo energético total por esta subcategoría es de 2.47 PJ.

Para el subsector agropecuario se consideran los combustibles de gas LP y diésel, asumiendo que el gas se utiliza principalmente para la producción en invernaderos y que el diésel se utiliza en maquinaria y equipos agrícolas de combustión. El consumo de combustible se estima en base a lo reportado en el Balance Nacional de Energía 2021[29], así como en los datos de superficie mecanizada y producción en invernadero[30].

Factores de emisión para la categoría de energía

Los factores de emisión utilizados para estimación de CO_2 fueron los propuestos por el INECC para los combustibles que se consumen en México[31], factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México para todas las

[26] Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH 2020).
[27] INEGI, 202. Viviendas particulares habitadas por entidad federativa, serie de años censales de 1990 a 2020
[28] INEGI, 2015. Encuesta intercensal.
[29] SENER, 2022. Balance Nacional de Energía 2021
[30] SIACON, 2021. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
[31] INECC, 2014. Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México

subcategorías, con excepción de los usados en la aviación civil donde se consideran los específicos por cada tipo de aeronave.

Los factores de emisión para metano (CH_4) y para óxido nitroso (N_2O) fueron los publicados en acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero[32]. En combinación con los factores por defecto publicados en las directrices del IPCC. [33]

IV.1.2 Emisiones de GEI del sector de Energía

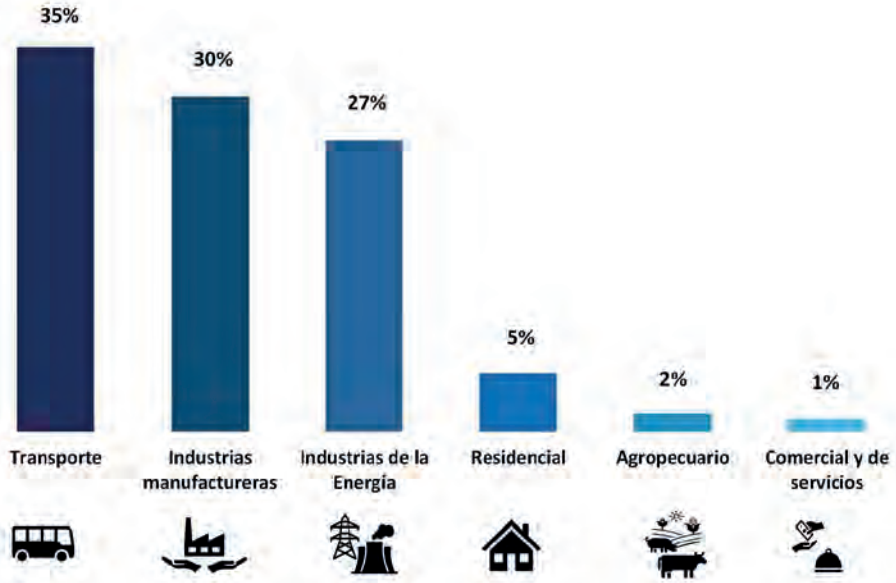
Las emisiones anuales de gases de efecto invernadero de la categoría de energía para Querétaro 2021, expresadas en CO_2e, fueron de un total de 7,166.97 Gg. Tabla 13.

Tabla 13. Emisiones de GEI de la categoría de energía por subcategoría, 2021.

Subcategoría	Gg/a			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2 e
Industrias de la energía	1,894.13	0.03	0.003	1,895.94
Transporte	2,449.88	0.26	0.17	2,503.49
Industrias manufactureras	2,180.28	0.04	0.004	2,182.47
Residencial	354.74	0.83	0.01	381.05
Comercial y de servicios	84.69	0.007	1.435E-04	84.93
Agropecuario	109.08	0.007	0.036	119.08

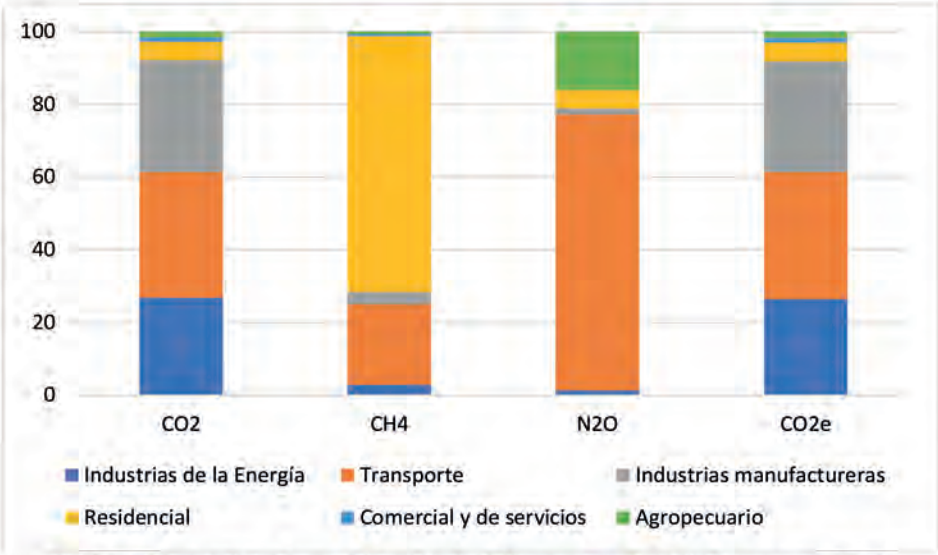
[32] Diario Oficial de la Federación, 2015.
[33] Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Para el cálculo del porcentaje de contribución por subcategoría se consideran las emisiones de CO_2e, obteniendo que el transporte representa el 35% de la emisión de GEI de la categoría de energía, seguido de las industrias manufactureras con el 30% y las industrias de la energía con 27%. Gráfica 8.



Gráfica 8. Emisiones de GEI de la categoría de energía por subcategoría,2021.

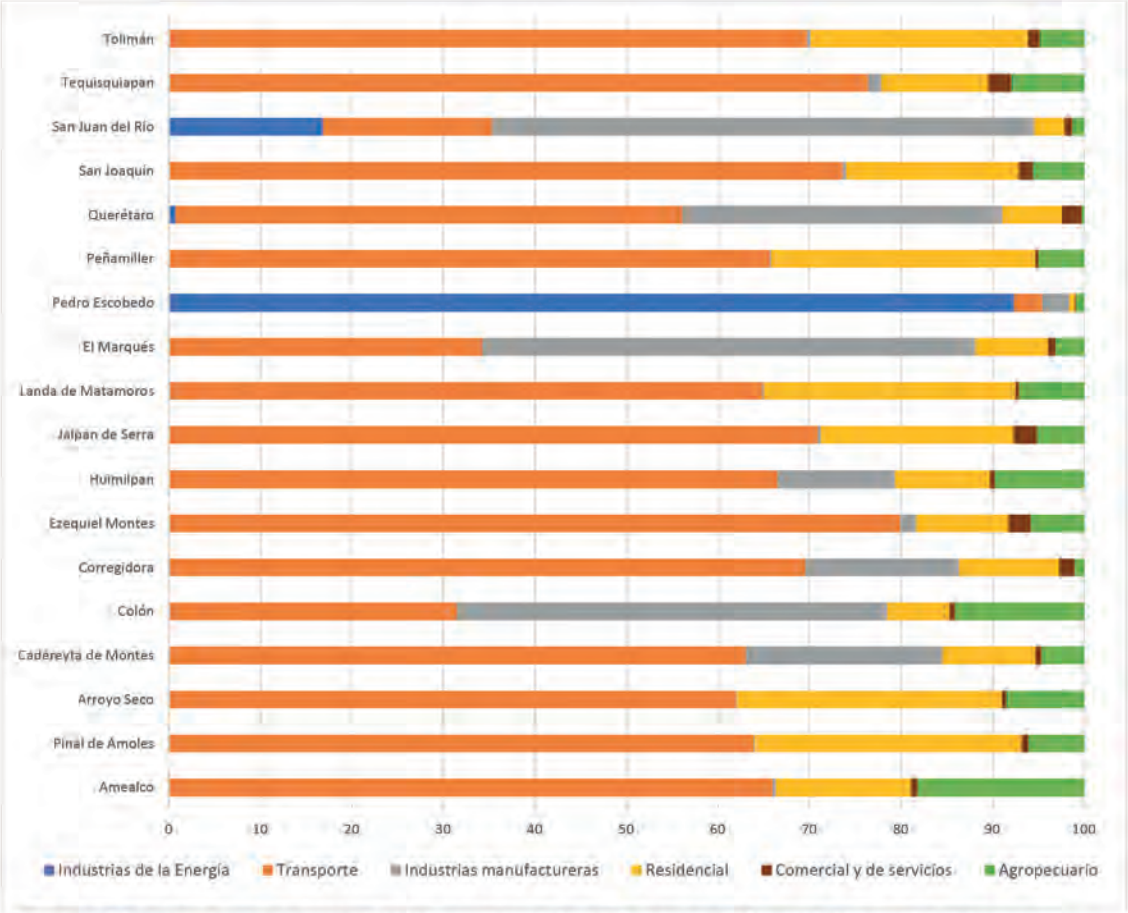
Respecto a las emisiones por tipo de GEI, el sector transporte contribuye principalmente en emisiones de CO_2, N_2O y el sector residencial en emisiones de CH_4. Gráfica 9.



Gráfica 9. Porcentaje de contribución de GEI por subcategoría de energía, 2021.

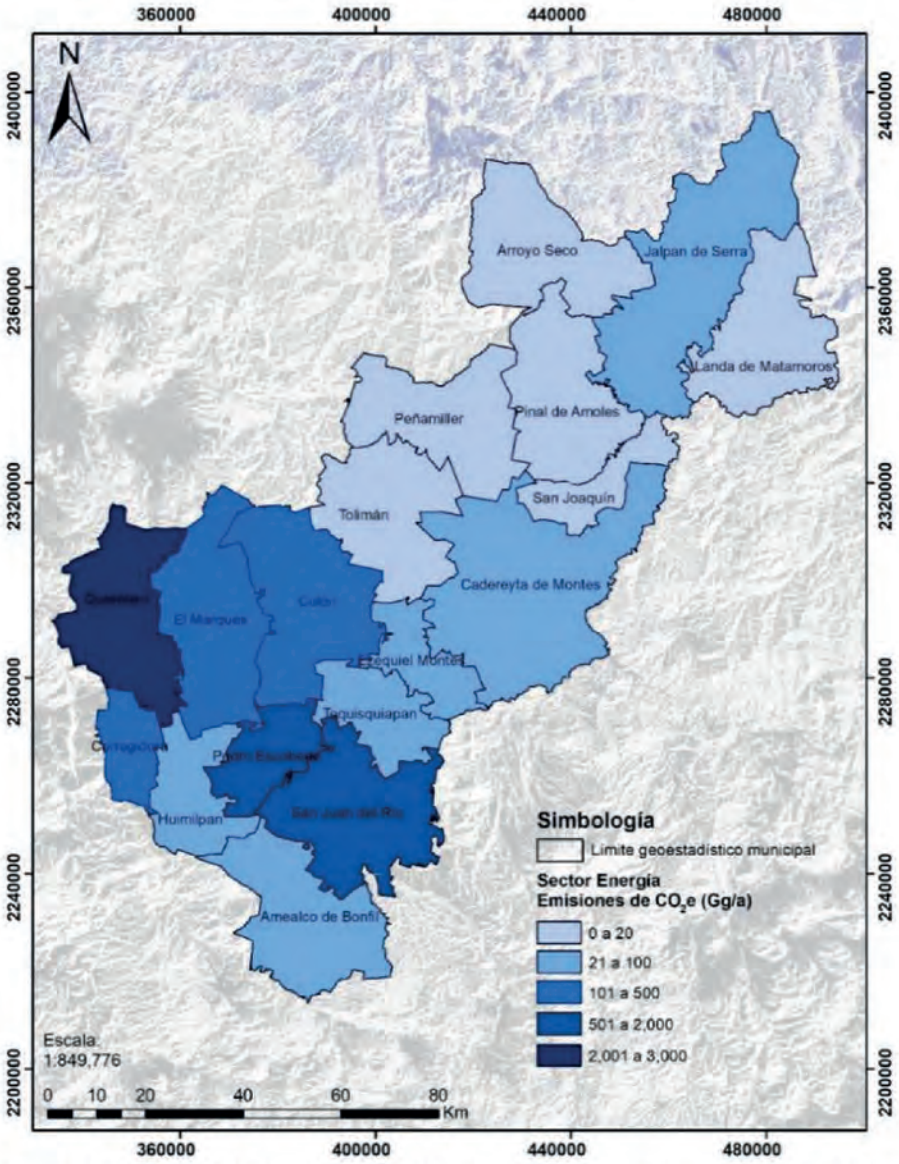
IV.1.3 Emisiones de GEI del sector de Energía por municipio

En cuanto a las emisiones por municipio de la subcategoría de energía en la gráfica 10 se observa la contribución de cada una de las subcategorías.



Gráfica 10. Contribución porcentual de emisiones de CO_2e por subcategoría de energía, por municipio.

En el mapa 13 se aprecia que el municipio de Querétaro es el que tienen la mayor aportación de emisiones de GEI en la categoría de energía, seguido de Pedro Escobedo y San Juan del Rio.



Mapa 13.Distribución de emisiones de CO_2e del sector energía para el Estado, 2021.

IV.2 Procesos industriales y uso de productos (IPPU)

La categoría de procesos industriales y uso de productos (PPU por sus siglas en inglés, IPPU, Industrial Processes and Product Use) considera las emisiones generadas por descargas provenientes de la fabricación de productos que transforman materias por medios químicos o físicos en industria como la de los minerales, la industria química y la metalúrgica. En algunos casos, sustancias de efecto invernadero se producen o consumen en productos que se fugan durante un periodo, como sucede en equipos eléctricos, refrigeradores o en agentes espumantes.

Para esta categoría, se recopilo información del sector industrial a través de las Cédulas de Operación Anual (COA) estatal y federal, proporcionadas por la SEDESU y la SEMARNAT. Identificando algunos de los giros industriales que, de conformidad con el IPCC 2006, están en posibilidad de ser evaluadas respecto de su contribución de GEI debido a las características de sus procesos. (Imagen 2)

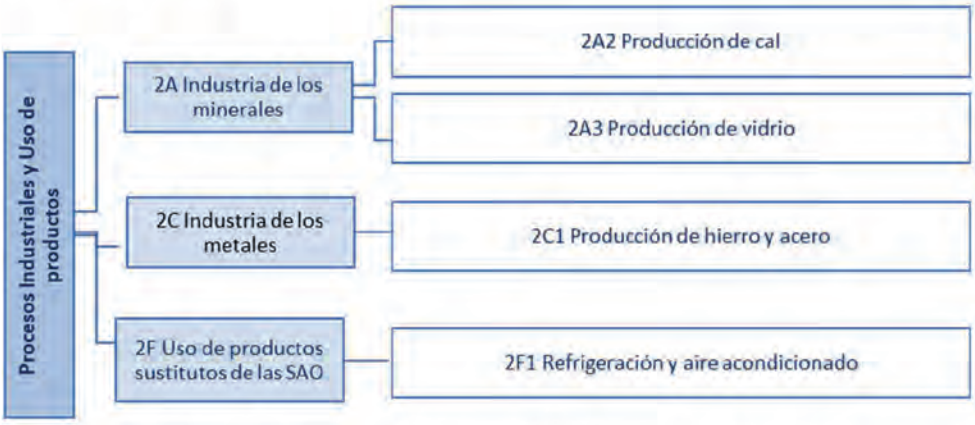


Imagen 2. Subcategorías del sector procesos industriales y uso de productos.

El procedimiento para obtener las emisiones de GEI se realizó siguiendo la categorización de la información que establece el IPCC y empleando los factores de emisión establecidos. Asimismo, se reportan aquellas emisiones que posean potenciales de calentamiento global en CO_2 equivalente.

Como parte de los procedimientos generales de control de calidad en este sector se realizó la verificación de los datos de actividad, revisando la correspondencia de los datos con el grado de actividad en cada uno de los establecimientos reportados en las COA's, así como la verificación cruzada de datos para detectar errores de transcripción; además, se realiza el control de unidades, factores de conversión, referencias bibliográficas y de los métodos de cálculo en las distintas subcategorías.

IV.2.1 Metodología y consideraciones en el sector IPPU

1. Industria de los minerales

Producción de cal

El óxido de calcio (CaO) o cal se obtiene por medio del calentamiento de la piedra caliza para descomposición de los carbonatos; este procedimiento se lleva a cabo en hornos rotatorios a alta temperatura y el proceso libera CO_2 dependiendo de los requerimientos del producto (por ejemplo metalurgia, papel, materiales de construcción, tratamiento de efluentes, suavizado de agua, control de pH, y estabilización de suelos), se utiliza principalmente la piedra caliza con fuerte proporción de calcio (calcita).

La información de la producción de cal en el estado de Querétaro se obtuvo de las cédulas de operación anual proporcionada por SEMARNAT[34] para el año de actividad 2021 se identificaron dos establecimientos que producen cal, uno en el municipio de Cadereyta de Montes y otro en Tolimán. Además, se identificó la producción de cal hidratada en los municipios de Ezequiel Montes y Tolimán, sin embargo, no se reportan emisiones de estas últimas debido a que no se incineran carbonatos en el proceso para la producción de la cal. Obteniendo la cantidad de cal producida se utilizó el método de estimación de tier nivel 2. Para la elección del factor de emisión se tomó el de por defecto para la producción de cal.[35]

Producción de vidrio

En la fabricación del vidrio, las principales materias primas del vidrio son las que emiten CO_2 durante el proceso de fundición como: la piedra caliza ($CaCO_3$), la dolomita $CaMg(CO_3)_2$ y la ceniza de sosa (Na_2CO_3). La información de la producción de vidrio en el Estado se obtuvo de la Cédula de Operación Anual presentada a la SEMARNAT para el año de actividad 2021[34]. Dentro del estado se identifica una empresa con producción de vidrio en El Marqués y una dedicada a la producción de envases de vidrio en el municipio de Querétaro.

Para el cálculo de las emisiones de CO_2 se cuenta con datos de producción de vidrio en toneladas, por lo que se optó por el Método de tier Nivel 2 emisiones basadas en la masa de vidrio producido.

[34] SEMARNAT, 20223. Cedulas de Operación Anual de Jurisdicción Federal en el Estado de Querétaro para el año de actividad 2021.
[35] IPCC, 2006. Volumen 3.

2. Industria de los metales

Producción de acero.

En el estado de Querétaro la producción de acero se hace a través de la fundición de chatarra de acero; de acuerdo con la información proporcionada en la cédula de operación anual para el año de actividad 2021, existe una empresa dedicada a esta actividad[36.] en el municipio de San Juan del Río. Para la estimación de emisiones de CO_2 para esta subcategoría se utilizó el método de tier Nivel 1 dado que se cuenta con datos sobre la producción acero, por lo que se utilizaron factores de emisión por defecto.

3. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

Refrigeración y aire acondicionado estacionario y móvil

Los sistemas de refrigeración se clasifican en seis dominios de acuerdo con las directrices del IPCC correspondientes a las sub-aplicaciones de refrigeración doméstica, refrigeración comercial, procesos industriales, transporte refrigerado, sistemas de aire acondicionado estacionario y sistemas de aire acondicionado móvil. Para la estimación se tomó la información presentada en las COA's estatales y federales donde se consideró la cantidad de sustancias empleadas para refrigeración y el número de equipos para refrigeración producidos.

Para la estimación de CO_2 se utilizó el factor de emisión en porcentaje de la carga inicial proporcionados por el IPCC 2006. Además, se consideró el potencial de calentamiento global del refrigerante[37].

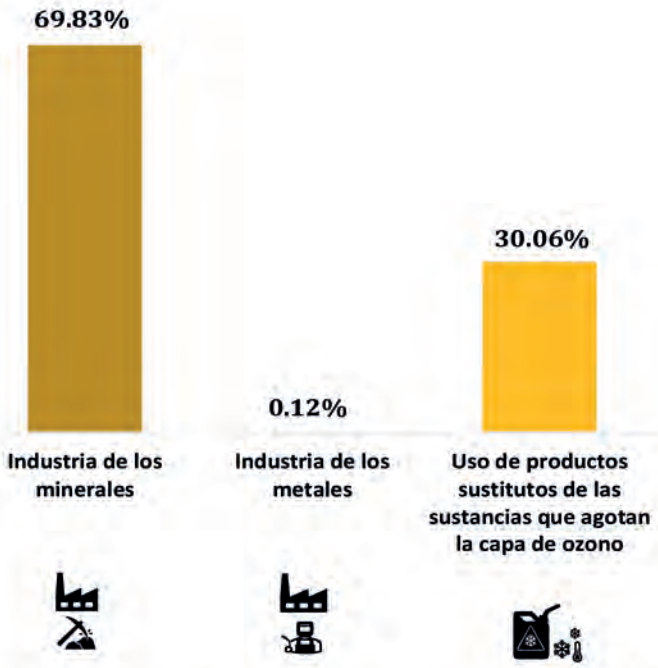
IV.2.2 Emisiones de GEI del sector IPPU

Las emisiones de CO_2e generadas en el Estado de Querétaro en 2021 por esta subcategoría son de 234.47 Gg/a. Siendo la industria de los minerales la de mayor aportación (69.83%) de está subcategoría la producción de vidrio contribuye con el (49%) y producción de cal con el (21%).%), la subcategoría de refrigeración y aire acondicionado (30%). Tabla 14 y gráfica 11.

[36] SEMARNAT, 2023. Cedulas de Operación Anual de Jurisdicción Federal en el Estado de Querétaro para el año de actividad 2021.
[37] IPCC's 2006. Sixth Assessment Report, 2022 (AR6).

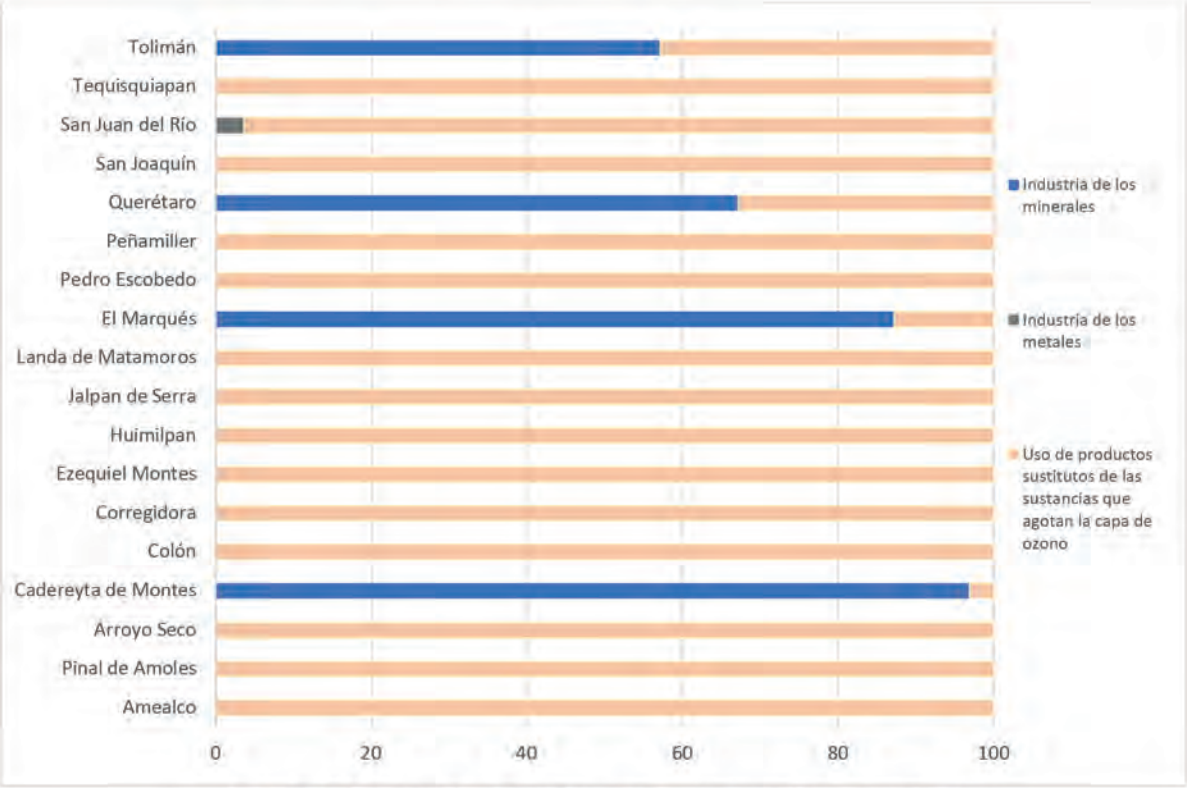
Tabla 14. Emisiones por subcategoría del sector IPPU

Subcategoría		Emisiones de CO_2e (Gg/a)		
		CO_2	HCF's	CO_2e
Industria de los minerales	Producción de cal	48.74	-	48.74
	Producción de vidrio	114.99	-	114.99
Industria de los metales	Producción de hierro y acero	0.28	-	0.28
Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	Refrigeración residencial	-	0.54	0.54
	Aire acondicionado residencial	-	2.89	2.89
	Aire acondicionado industrial	-	1.48	1.48
	Aire acondicionado móvil	.	65.57	65.57
Total		164.00	70.47	**234.47**



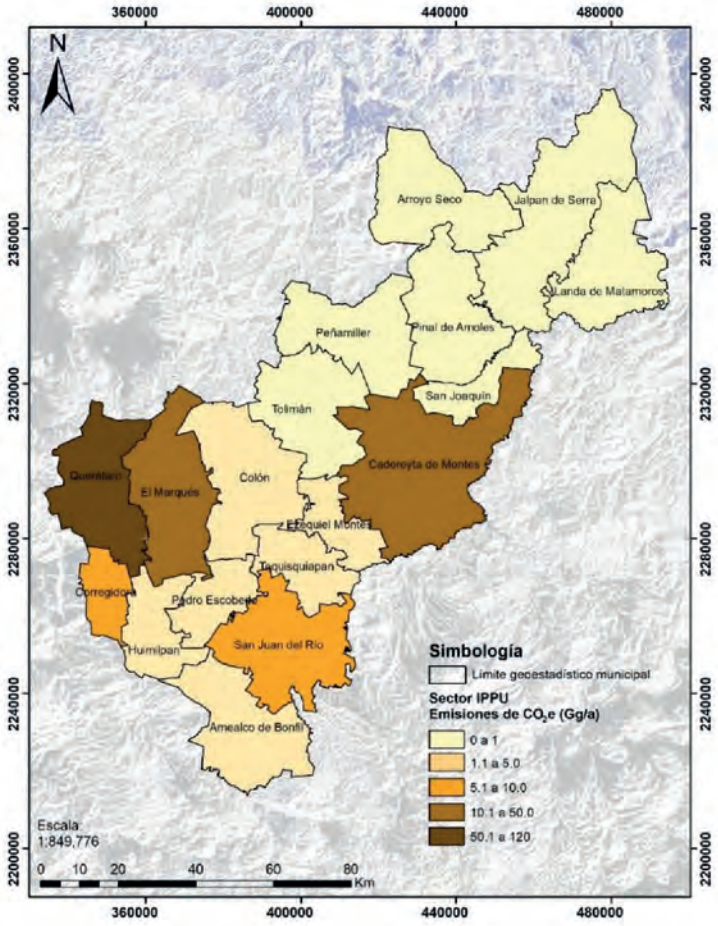
Gráfica 11. Porcentaje de emisiones de CO_2e de IPPU en el Estado, 2021.

IV.2.3 Emisiones de GEI del sector IPPU por municipio



Gráfica 12. Contribución de emisiones por subcategoría por municipio.

El municipio de Querétaro es el que presenta la mayor aportación a las emisiones de CO_2e en la categoría de IPPU, seguido del municipio de El Marqués y Cadereyta de Montes respectivamente. Mapa 14.



Mapa 14. Distribución de emisiones de CO_2e a nivel municipal del sector IPPU, 2021

IV.3 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

La categoría de AFOLU considera la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades antropogénicas relacionadas con el sector productivo primario agropecuario y cambios del uso de suelo. De acuerdo con la metodología de IPCC 2006, se identifican los tipos de actividades que se deben evaluar en el Estado (Imagen 3).

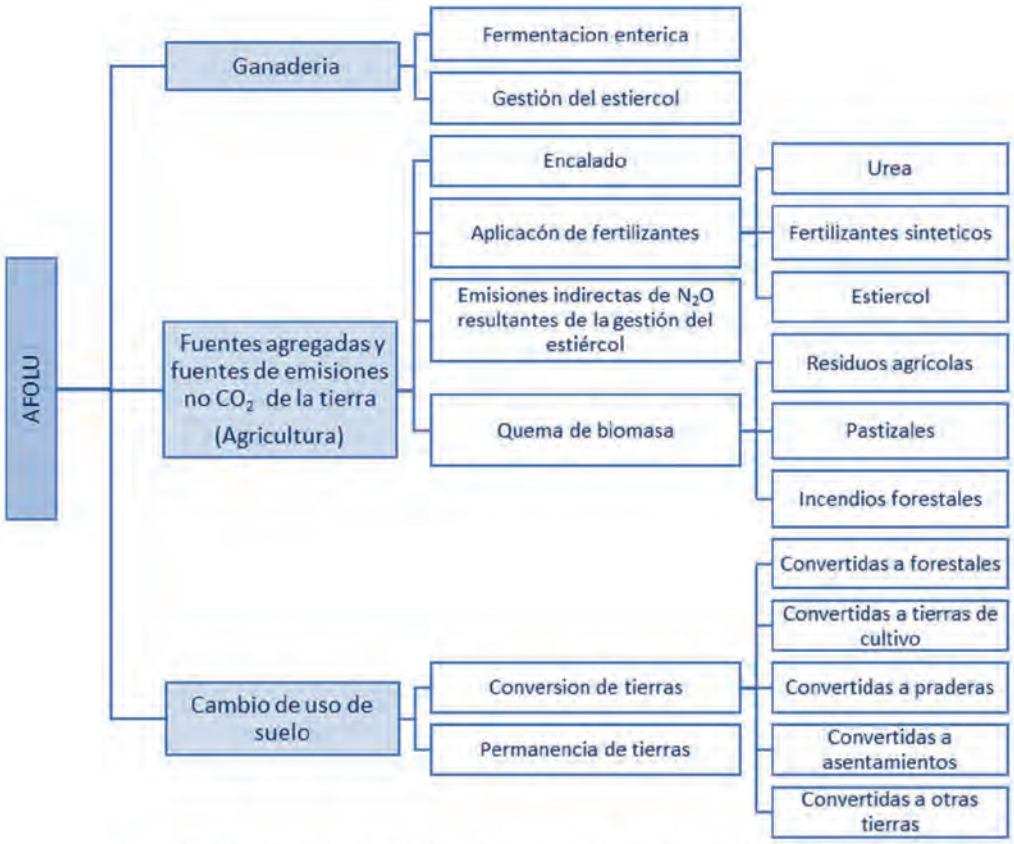


Imagen 3. Subcategorías del sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU).

El procedimiento para el control de calidad en este sector incluyó actividades para asegurar la precisión de la información obtenida, su tratamiento y procesamiento, así como para la construcción y generación de las bases de datos tal y como son requeridas por la guía metodológica aplicada en el INEGyCEI[38].

[38] SEMARNAT, 2018. Inventario Nacional de Emisiones de GyCEI.

Una vez obtenida la información, se hizo un cruce verificando que los datos recopilados de los sistemas oficiales no diferían en gran medida de los proporcionados por las dependencias a las que se les solicito de manera directa la información.

Se realizó, además, la revisión bibliográfica para la actualización de factores de emisión en el país. Para las estimaciones de emisiones, se realizó la revisión reiterada de los cálculos.

IV.3.1 Metodología, control de calidad y consideraciones en el sector AFOLU

La metodología considerada para las estimaciones de AFOLU es la indicada por el IPCC 2006, así como las recomendaciones propuestas en el INEGyCEI 1990-2015 para las emisiones de N_2O por manejo de excreta; asimismo, se consideraron neutras las emisiones de CO_2 por quema de residuos agrícolas y se incluyen las emisiones de N_2O. La estimación de la emisión o absorción de GEI por cambio de uso de suelo, se realizó como establecen las Directrices del IPCC de 2006 para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

1. Ganadería

- **Emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica**

Para esta subcategoría se calculan emisiones de CH_4 y N_2O provenientes de la fermentación entérica y manejo de estiércol. Los datos recopilados para esta categoría fueron proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado (SEDEA,2022), así como del sistema de información Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT).

En la tabla 15 se muestra la distribución de ganado-obtenida para cada municipio, para el 2021 en el Estado de Querétaro.

Tabla 15. Distribución de la población ganadera por municipio, 2021

	Número de cabezas					
Municipio	Ave	Guajolote	Bovino	Caprino	Ovino	Porcino
Amealco de Bonfil	11,241,406	6,485	0	0	8,450	5,881
Arroyo Seco	27,469	192	0	85	265	1,045
Cadereyta de Montes	6,487,857	418	0	0	1,514	7,574
Colon	37,149,039	176	0	0	705	15,760
Corregidora	1,376,668	106	0	0	3,327	7,803
EL Marqués	19,918,797	844	0	0	3,962	62,136

Ezequiel Montes	40,524,046	124	0	826	3,297	16,603
Huimilpan	6,899,975	186	0	0	2,774	41,856
Jalpan de Serra	78,514	232	0	131	521	2,510
Landa de Matamoros	32,326	192	0	115	313	1,074
Pedro Escobedo	4,545,342	625	0	771	1,705	14,661
Peñamiller	18,019	289	592	0	338	1,432
Pinal de Amoles	36,284	264	0	233	356	951
Querétaro	3,840,441	973	0	0	9,302	82,473
San Joaquín	3,523	283	461	127	526	830
San Juan del Río	1,943,733	1,296	0	0	4,185	31,878
Tequisquiapan	43,060,492	636	0	0	2,960	43,605
Tolimán	7,600,475	210	0	0	640	2,453
Total	184,784,406	13,531	1,053	2,288	45,140	340,525

Fuente: Elaboración propia con información de SAGARPA, SEDEA.

Para el cálculo de emisiones de CH_4 y N_2O por manejo de excreta, no se reportaron los sistemas de manejo de excretas, por lo que se tomaron los propuestos en la metodología del INEGyCEI[39], que son los más comunes para México. Asimismo, como se hicieron especificaciones para el ganado por municipio el nivel alcanzado para la fermentación entérica y para emisiones de CH_4 por gestión de estiércol es Tier 2.

- **Emisiones de Fuentes agregadas**

Se obtuvo la cantidad de hectáreas forestales siniestradas de los reportes por parte de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), donde se especificó por estado y tipo de cultivos.
Los factores de emisión y la cantidad de masa disponible para la quema se obtuvieron de las guías metodológicas del IPCC.

Quemas de residuos de cultivo.

Los cultivos reportados que generan residuos que se queman en el estado de Querétaro fueron: Avena forrajera en verde, Café Cereza, Cebada en grano, Elote, Frijol, Garbanzo grano, Maíz forrajero en verde, Maíz grano, Sorgo forrajero en verde, Sorgo grano, Trigo grano, los demás cultivos reportados no generan residuos. Se considero el porcentaje de residuos quemados según la encuesta nacional agropecuaria es de 17.32%. Los factores de emisión utilizados son correspondientes a México[40], para los demás cultivos se empleó el sugerido para los de América latina[41].

[39] INEGyCEI 1990-2015
[40] Santiago-De la Rosa, N., et. Al. 2017
[41] Arias. T. 2008

Encalado

El pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, para mejorar el rendimiento de los suelos productivos agrícolas, es una técnica comúnmente aplicada para mantener el pH del suelo entre 6.5 y 7, en suelos ácidos suele aplicarse cal como mejorador de este; con lo cual se favorece un ambiente propicio para el desarrollo normal de los cultivos principalmente la raíz.

Se verifico la base de datos de costos de producción desarrollada por el SIAP, de acuerdo con la cual para el estado de Querétaro se tienen registros de la aplicación de Cal en el cultivo de maíz para el año 2021.

Aplicación de fertilizantes

Existen diferentes fuentes de nitrógeno aplicadas al suelo, fertilizantes sintéticos, orgánicos y/o estiércol por diferentes vías, que generan emisiones de manera indirecta, los principales procesos son:

- Volatilización de nitrógeno, resultante en deposiciones atmosféricas de amoniaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_X)
- Pérdida de nitrógeno (N) por lixiviación y escorrentía
- Disposición de N contenido en aguas residuales.

Las variables básicas para la estimación de N utilizan la cantidad de nitrógeno (kg N/año) incorporado al suelo, ya sea como fertilizante o como estiércol. Con el objeto de estimar la cantidad que se volatiliza o se lixivia se utilizan diferentes factores por omisión de IPCC, así como datos de la base de costos de producción agrícola de la SAGARPA. Se cuantificaron las emisiones de tres tipos de fertilización: urea, estiércol y aplicación de fertilizantes sintéticos.

Fertilización con Urea

En el caso de la estimación de estas emisiones se obtuvieron las hectáreas de cultivos fertilizadas con fertilizantes químicos, reportados en el Sistema de información agroalimentaria y pecuaria (SIAP), así mismo se hace una asignación de la cantidad de Urea usada por cultivo y por hectárea. El factor de emisión usado es por defecto sugerido en las directrices del IPCC.

Quema de biomasa

La quema de biomasa es una fuente importante de GEI principalmente de CH_4 y CO_2 sin embargo podría presentar una considerable variabilidad especialmente en lo que se refiere a incendios forestales, en tanto que para las cuestiones agrícolas la importancia depende de las técnicas de disposición de los residuos en campo luego de la cosecha. Para fines del Inventario, la metodología IPCC considera neutras las emisiones de CO_2 por quema de residuos agrícolas e incluye en la contabilidad las emisiones de N_2O. Se contabilizaron los residuos quemados en campo de maíz y trigo reportado por SIAP, ya que, de los posibles utilizados como fuente de energía no se cuenta con información.

Para Quema de pastizales e Incendios forestales se utilizó información anual publicada por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en el Sistema Nacional de Información Forestal para el estado de Querétaro en el caso de los pastizales y a nivel municipal para el caso de áreas forestales.

Quemas forestales

Se obtuvo la cantidad de hectáreas forestales siniestradas de los reportes por parte de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), donde se especificó por tipo de cultivos. Los factores de emisión y la cantidad de masa disponible para la quema se obtuvieron de las guías metodológicas del IPCC.

Quemas de residuos de cultivo

Los cultivos reportados que generan residuos que se queman en el estado de Querétaro fueron: Avena forrajera en verde, Café Cereza, Cebada en grano, Elote, Frijol, Garbanzo grano, Maíz forrajero en verde, Maíz grano, Sorgo forrajero en verde, Sorgo grano, Trigo grano, los demás cultivos reportados para el municipio no generan residuos. El porcentaje de residuos quemados según la encuesta nacional agropecuaria es de 17.32%.

- **Cambio de uso de suelo**

Los procesos de deforestación y degradación de bosques por efecto de actividades antropogénicas constituyen una fuente importe de gases de efecto invernadero. Sin embargo, los bosques tienen una gran potencia para convertirse en sumideros de carbono mediante políticas apropiadas e implementación de técnicas silvícolas que mejoren su producción. El análisis de cambio de uso de suelo y vegetación para el Estado de Querétaro y sus municipios requirió básicamente de un insumo fundamental: las cartas de uso de suelo y vegetación elaborados a nivel nacional por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Las cartas utilizadas fueron la Serie VI y Serie VII. La Serie VI fue elaborada entre 2015 y 2017, mientras que la última serie, la Serie VII, entre 2017 y 2021.

Para la homologación de las clases de cobertura vegetal del país con las categorías IPCC (2006) se utilizó la clasificación y estructura jerárquica de la cartografía de INEGI como guía principal. De manera consistente con el inventario incluido en el Reporte Bienal de Actualización (BUR) de actualización para el año 2014 presentado ante la CMNUCC.

El análisis geográfico de las series, que contempló realizar los cortes de las series VI y VII a nivel municipal, y su posterior análisis por interposición, se llevó a cabo mediante el uso del Sistema de Información Geográfica QGis. En la base de datos de cada serie, se generaron los campos para asignar todas las categorías y subcategorías del sistema nacional de tierras aplicable a las seis categorías de uso de la tierra del INEGYCEI. El análisis de cambio de uso de suelo se realizó con la sobreposición e intersección de estas últimas series, con el objetivo de obtener la información relativa al cambio y la permanencia de vegetaciones y usos de suelo para el periodo de tiempo determinado por estas series.

IV.3.2 Emisiones de GEI del sector AFOLU

Las emisiones totales netas de la categoría de AFOLU en el estado de Querétaro en 2021 fue de 1,565.50 Gg de CO_2e, con una absorción de 884.26 Gg/a de CO_2e.

La subcategoría de ganadería contribuyo con 1,260.55 Gg/a de CO_2e, la de fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en tierra 1,189.21 Gg/a de CO_2e y la subcategoría de tierras muestra una absorción de 884.26 Gg/a de CO_2e, (Tabla 16).

Tabla 16.Emisiones de AFOLU por subcategoría en el Estado, 2021.

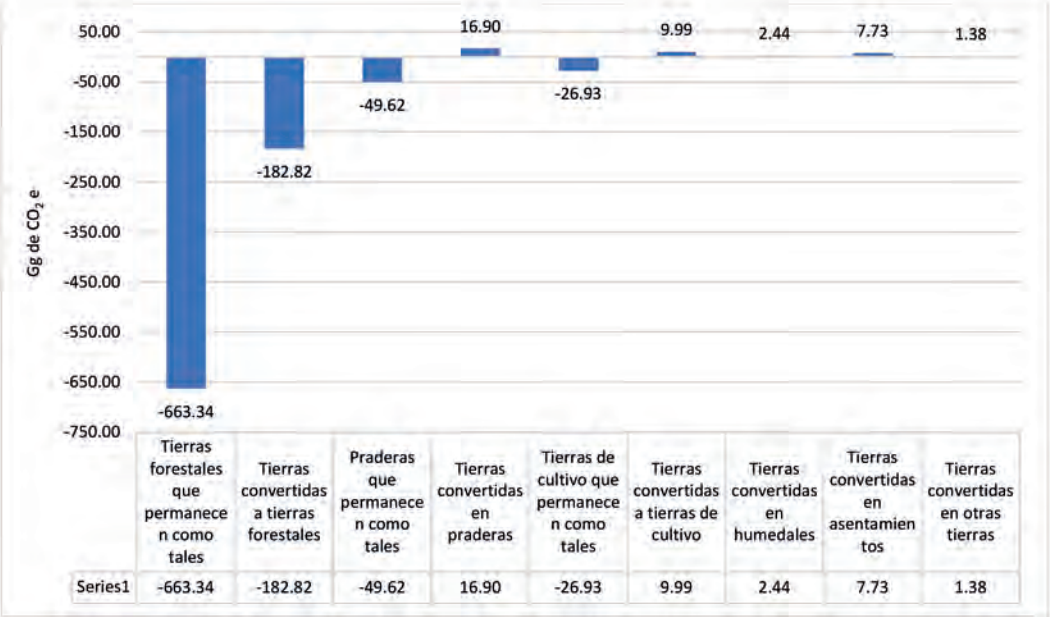
Subteorías	Emisiones CO_2e (Gg/a)
3A - Ganadería	**1,260.55**
(3A1) Fermentación entérica	629.36
(3A2) Gestión del estiércol	631.19
3B - Tierra	**-884.26**
(3B1) Tierras forestales	-846.16
(3B2) Praderas	-32.72
(3B3) Tierras de cultivo	-16.94
(3B4) Humedales	2.44
(3B5) Asentamientos	7.73
(3B6) Otras tierras	1.38
3C - Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra	**1,189.21**
(3C1) Emisiones de la quema de biomasa	67.94
(3C2) Encalado	0.00
(3C3) Aplicación de urea	5.51
(3C4) Emisiones directas de N_2O de los suelos gestionados	908.36
(3C5) Emisiones indirectas de N_2O de los suelos gestionados	108.89
(3C6) Emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión del estiércol	98.51
(3C7) Cultivo de arroz	NE
Total	**1,565.50**

NE, no existe la actividad en el estado.

Se estimaron además emisiones de Carbono Negro (CN) para la subcategoría de quema de biomasa resultando un total de 0.12 Gg/a.

- **Emisiones tierras**

En la subcategoría de tierras, se reportan las emisiones y absorciones, predominando la absorción. Por lo que para 2021 en el Estado de Querétaro, el sector AFOLU tuvo un efecto de sumidero, debido a la absorción de CO_2e de un total de 884.26 Gg/a de CO_2e (Gráfica 13).



Gráfica 13. Emisiones y absorciones de uso de suelo, 2021

Tabla 17.Emisiones por subcategorías

Subcategoría	Gg/a de CO_2e
Ganadería	1,260.55
Tierras	-884.26
Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 en la tierras	1,189.21

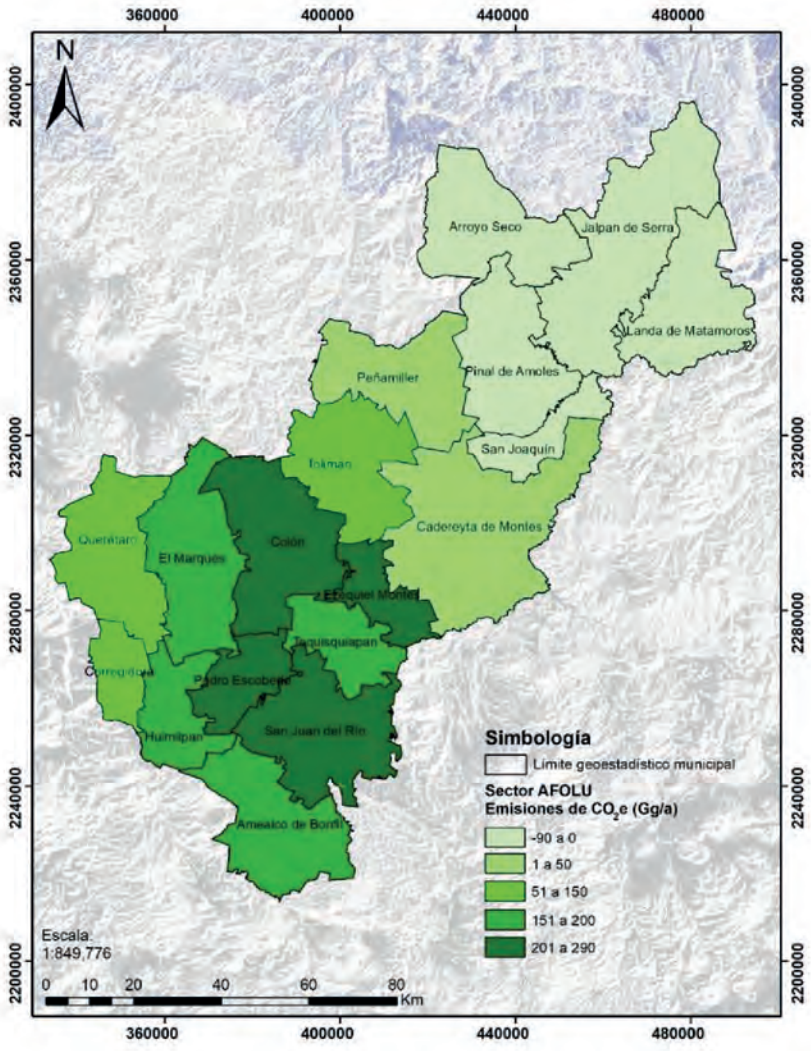
IV.3.3 Emisiones de GEI del sector AFOLU por municipio

Los municipios que tuvieron una mayor contribución de emisiones de GEI en la categoría de AFOLU, fueron Colón, San Juan del Río, Ezequiel Montes y Pedro Escobedo, el de mayor absorción fue el municipio de Pinal de Amoles seguido de Arroyo Seco y Jalpan de Serra respectivamente. Tabla 18.

Tabla 18. Emisiones de GEI por municipio categoría de AFOLU en el Estado, 2021

Municipio	Emisiones de CO_2e (Gg/a)			
	Ganadería	Tierras	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 de la tierra	Emisiones totales
Amealco	82.66	-22.51	116.42	176.58
Pinal de Amoles	24.37	-123.80	10.43	-89.01
Arroyo Seco	43.35	-142.73	16.74	-82.64
Cadereyta de Montes	55.44	-69.59	44.29	30.14
Colón	168.85	-35.70	138.99	272.14
Corregidora	34.12	-4.27	31.82	61.67
Ezequiel Montes	175.49	-12.22	69.89	233.16
Huimilpan	83.71	-14.51	106.15	175.34
Jalpan de Serra	50.20	-157.46	45.44	-61.82
Landa de Matamoros	57.28	-106.79	15.63	-33.88
El Marqués	49.29	-35.48	140.32	154.13
Pedro Escobedo	93.58	-9.92	116.82	200.49
Peñamiller	28.06	-31.97	9.82	5.91
Querétaro	49.64	-20.54	62.48	91.58
San Joaquín	10.05	-26.44	4.91	-11.48
San Juan del Río	104.64	-15.26	132.79	222.16
Tequisquiapan	77.91	-27.79	100.67	150.80
Tolimán	69.92	-24.30	25.61	71.23
Total	**1,258.55**	**-881.26**	**1,189.21**	**1,565.50**

En el Mapa 15 se puede observar la distribución de las emisiones de CO_2e en los municipios de la categoría de AFOLU en el Estado de Querétaro, resaltando que los municipios del norte del estado donde se encuentra la Sierra Gorda fueron los que presentaron mayor absorción.



Mapa 15. Emisiones de CO_2e a nivel municipal del sector AFOLU

IV.4 Residuos

La categoría de desechos es una de las cuatro categorías establecidas en las Directrices del IPCC para la estimación de GEI. Sin embargo, en México el término "desechos" es conocido como "residuos", siendo el termino de residuos el que se aplica en la Legislación Ambiental Mexicana y es utilizado en el INEGyCEI para reportar las emisiones de esta categoría.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas en esta categoría son el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O), los que son emitidos por eliminación y tratamiento de residuos sólidos municipales, tratamiento y eliminación de aguas residuales, incineración de residuos peligrosos y quema de residuos a cielo abierto.

Es importante mencionar que en el estado no se tiene identificadas actividades de tratamiento biológico de residuos sólidos, ni de incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infecciosos.

En la Imagen 4, se muestran las subcategorías que se evalúan en esta categoría, en este caso la categoría de aguas residuales industriales no fue evaluada debido a que no se obtuvo información precisa para la estimación.

Imagen 4. Subcategorías del sector Residuos.

Las actividades para el control de calidad consistieron en verificación de la precisión de la información obtenida, su tratamiento y procesamiento, realizando el cruce de los datos recopilados de los sistemas oficiales con los proporcionados por las dependencias a las que se les solicito de manera directa la información. Se realizó, además, la revisión bibliográfica para la actualización de factores de emisión en el país. Asimismo, para las estimaciones de emisiones, se realizó la revisión reiterada de los cálculos.

IV.4.1 Metodología y consideraciones en el sector Residuos

Para esta categoría se trabajó con las hojas de estimación propuestas por el IPCC, de acuerdo con cada subcategoría. Los factores de emisión usados para disposición de residuos y aguas residuales son los adecuados para México, para la subcategoría de quema de residuos se usaron los propuestos por el IPCC. En las emisiones de N_2O para aguas residuales se usaron los datos reportados por la FAO, referente al consumo per cápita de proteína. Al tener datos precisos de los sitios de disposición final y usar factores de emisión propuestos por las directrices del IPCC, el nivel alcanzado es Tier 2.

- **Residuos sólidos**

Los sitios de eliminación de Residuos sólidos municipales (SEDS), así como los tratamientos de estos, genera emisiones de gas metano CH_4 y producen también dióxido de carbono biogénico CO_2 y óxido nitroso N_2O. Las principales fuentes de CO_2 biogénico es la materia orgánica contenida en los Residuos, esta estimación se delega a la categoría de AFOLU y en el caso de las emisiones de óxido nitroso son tan pequeñas que se consideran despreciables, por lo que el gas estimado significativo es el metano CH_4.

Como se comentó para esta subcategoría se contó con la caracterización específica de los residuos y la cantidad de residuos que se quema a cielo abierto, las fracciones de contenido de carbono y factores de oxidación son los obtenidos por defecto del IPCC.

La cantidad de residuos quemados en vivienda se determinó con el porcentaje de viviendas que queman residuos[42], incorporando los residuos quemados en incendios y que fueron reportados a protección civil como quema de lotes y basureros.

La metodología del IPCC propone la caracterización de los residuos, por lo que se consideró la caracterización empleada de Residuos en México con la cual se realizó el diagnóstico básico del Programa Estatal de Prevención y Gestión Integral de Residuos[43], bajo el supuesto de ser los mismos recolectados y depositados en los sitios, esta misma consideración se extiende en los quemados en lotes y basureros.

En la quema de residuos a cielo abierto, los factores de emisión relacionan la cantidad de Residuos con la emisión de gases efecto invernadero, en el caso del CO_2, esto se aplica a los datos sobre las fracciones de carbono y carbono fósil contenidas en los Residuos.

[42] INEGI, 2020. Censo de Población y vivienda
[43] SEDESU. 2018. Programa Estatal de Prevención y Gestión Integral de Residuos

- **Aguas Residuales**

Los contaminantes estimados en la actividad de recolección y tratamiento de aguas residuales son principalmente el metano CH_4 y óxido nitroso NO_2, también se genera CO_2 sin embargo es biogénico y no se consideran parte de las directrices del IPCC, por lo que no se reportan en el inventario.

El metano producido es debido a la descomposición anaeróbica de materia orgánica degradable, por lo que el dato de actividad debe de proporcionar el parámetro de DBO entrante y removida, así como el caudal tratado.

Las emisiones de óxido nitroso están asociadas a la degradación de los componentes nitrogenados en las aguas residuales en urea, nitrato y proteínas, en este caso es preciso determinar el consumo de proteína per cápita.

Los datos obtenidos para esta categoría fueron proporcionados por la Comisión Estatal del Agua para el desarrollo de inventario[44] y por los municipios de Querétaro, Corregidora, Jalpan de Serra y Landa de Matamoros sobre plantas de tratamiento y caudal de agua residual generado.

Asimismo, es importante comentar que en lo que respecta a aguas residuales industriales, no se obtuvo información de plantas de tratamiento de agua residual industrial, por lo que no fueron estimadas.

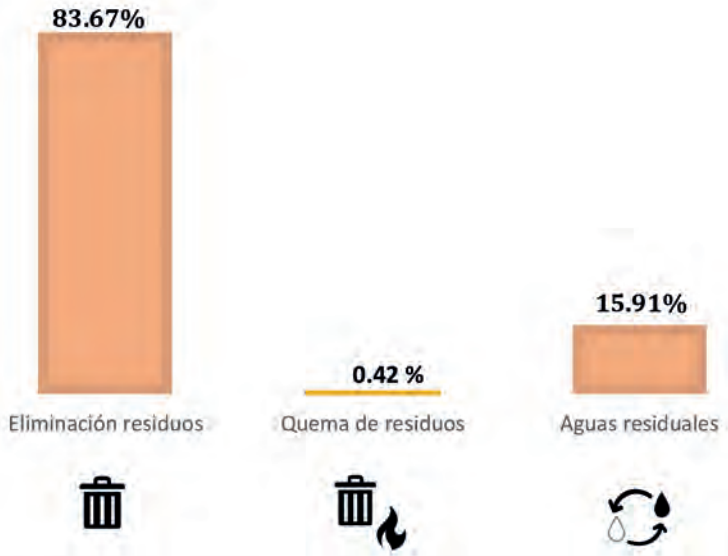
IV.4.2 Emisiones de GEI del sector Residuos

Las emisiones de GEI de la categoría de Residuos para el Estado de Querétaro en 2021 fueron de **738.48Gg de CO_2e**. Tabla 19.

[44] CEA. 2023. Información proporcionada para inventario.

Tabla 19. Emisiones por subcategoría del sector Residuos.

Subcategorías	CH_4	CO_2	N_2O	CO_2e
Eliminación residuos	22.07	-	-	617.92
Quema de residuos	0.06	1.10	0.00	3.07
Aguas residuales municipales	2.90	-	0.14	117.50



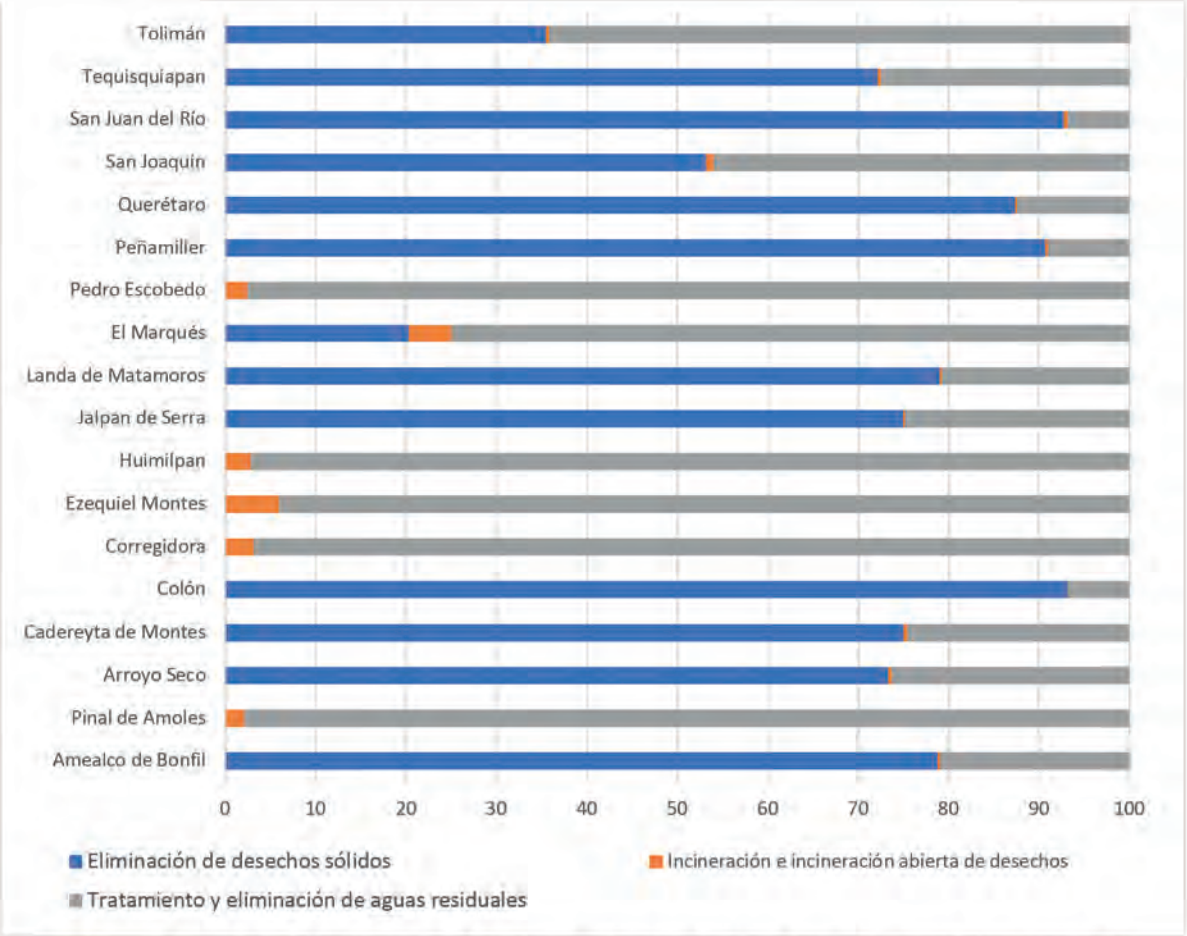
Gráfica 14.Porcentaje de emisiones de CO_2e de Residuos en el Estado, 2021.

IV.4.3 Emisiones de GEI del sector residuos por municipio

El municipio de Querétaro es el que tiene la mayor contribución de emisiones por residuos, seguido de Colón y San Juan de Río respectivamente. Tabla 20.

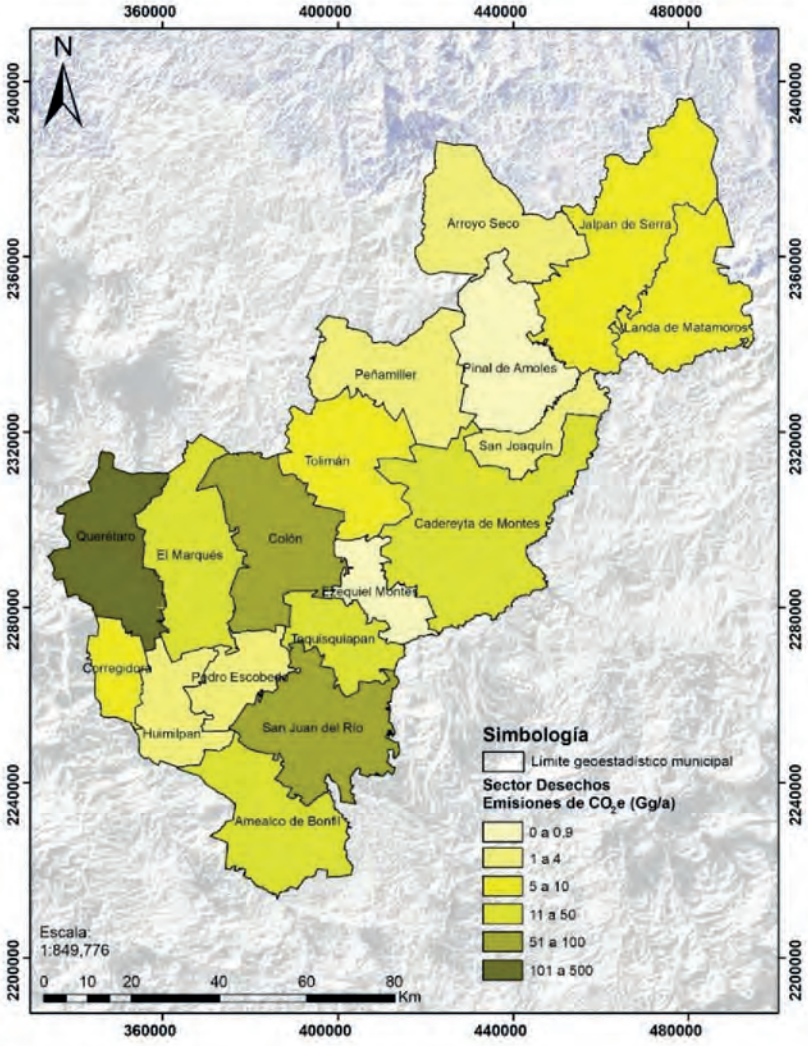
Tabla 20. Emisiones de GEI del sector residuos por municipio

Municipio	Emisiones de CO_2e (Gg/a)
Amealco de Bonfil	16.85
Pinal de Amoles	0.74
Arroyo Seco	1.81
Cadereyta de Montes	14.15
Colón	85.17
Corregidora	7.16
Ezequiel Montes	0.75
Huimilpan	3.37
Jalpan de Serra	6.49
Landa de Matamoros	5.12
El Marqués	17.47
Pedro Escobedo	3.05
Peñamiller	3.33
Querétaro	480.49
San Joaquín	1.52
San Juan del Río	68.12
Tequisquiapan	16.77
Tolimán	6.10
Total	**738.48**



Gráfica 15. Contribución porcentual de emisiones del sector residuos, por subcategoría por municipio.

En el mapa 16 se puede observar la distribución de las emisiones para la categoría de residuos entre los municipios del Querétaro.



Mapa 16. Distribución de emisiones de CO_2e del sector Residuos por municipio, 2021

V. Estimación de Incertidumbres

Conforme lo recomendado por el IPCC, se realizó el cálculo de incertidumbre para cada categoría los cuales están asociadas a los datos de actividad y factores de emisión empleados. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Incertidumbres por categoría y subcategoría para estimaciones 2021.

Categoría	Subcategoría	Fuente	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones estatales en el año t	incertidumbre general en el año	Incertidumbre en la tendencia
Energía	1A1 Industrias de la energía	1A1 Generación de electricidad	7.06	4.8	5.4
	1A2 Industrias manufactureras y de la construcción	1A2 Industrias manufactureras y de la construcción	12.9	4.8	5.4
	1A3 Transporte	1A3a Aviación civil		4.8	5.4
		1A3b Transporte terrestre		4.8	5.4
		1A3c Ferrocarriles	10.22	4.8	5.4
	1A4 Otros sectores	1A4a Comercial / Institucional	12.17	4.8	5.4
		1Ab Residencial	11.84	4.8	5.4
		1A4c Agricultura/Silvicultura	16.7	4.8	5.4
IPPU	2A Industria de los minerales	2A2 Producción de cal	1.71	15.28	3.68
		2A3 Producción de vidrio	1.55	15.28	3.68
	2C Industria de los metales	2C1 Producción de hierro y acero	0.03	15.28	3.68
	2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	15.1	15.28	3.68

AFOLU	3A Ganadería	3A1-Fermentación Entérica	4.79	2.13	2.13
		3A2-Manejo de Estiércol	4.8	2.15	2.15
	3B Tierra	3B - Tierra	-11.95	8.19	8.19
	3C Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra	3C1 Emisiones de la quema de biomasa	11.18	3.39	3.39
		3C3 Aplicación de Urea	0.19	0.07	0.07
		3C4 Emisiones directas de N_2O de los suelos gestionados	50.0	17.14	17.14
		3C6 Emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión del estiércol	2.91	1.01	1.01
Residuos	4A Sitios de Disposición Final	4A Sitios de Disposición Final	3.68	2.43	2.43
	4C Incineración y quema de residuos	4C Incineración y quema de residuos	8.29	0.57	0.57
	4D Tratamiento y descarga de aguas residuales	4D Tratamiento y descarga de aguas residuales	33.1	11.83	6.57

VI. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Las emisiones se estimaron conforme a la metodología IPCC 2006 para los sectores definidos: Energía, Procesos Industriales y uso de productos (IPPU, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) y Residuos.

Las estimaciones obtenidas fueron para gases de efecto invernadero (CO_2 CH_4, N_2O, HFC, PFC y SF_6) de acuerdo con cada categoría y subcategoría, los resultados se presentaron como emisiones de CO_2e conforme a su poder de calentamiento. El nivel de estimación de acuerdo con la información recabada fue el nivel tier 2 para casi todas las subcategorías, únicamente tres subcategorías fuero nivel tier 1: la ganadería en el sector AFOLU y la industria de los metales y el uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono de IPPU.

Las emisiones netas totales de Gases de Efecto Invernadero estimadas para el Estado en el 2021 fueron de 9,806.82 Gg/a de CO2e, y una absorción de 885.95 de CO2e.

El sector Energía fue el de mayor contribución de CO2e (67.68%), seguida de AFOLU (23.13%), Residuos (6.97%) e IPPU (2.21%).
Del sector Energía, el transporte es la que tuvo la mayor contribución (35%), seguido de la industria manufactureras (30.5%) y la industria de la energía (26.5%).

De AFOLU, la ganadería fue la que más contribuyo (37.81%), seguido de las fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 de la tierra (35.67%) y tierra (26.52%).
Para Residuos, la eliminación de residuos sólidos aportó el 83.7%, y el tratamiento y eliminación de aguas residuales el 15.9%.

De IPPU, la industria de los minerales (69.83%), el uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (30.06%).

Los municipios que tienen mayor contribución de CO2e son Querétaro (33.64%), Pedro Escobedo (20.41%), San Juan de Río (17.53%) y El Marqués (7.05%). En todos estos la categoría de energía es la que tiene la mayor contribución.

La absorción se observó principalmente en los municipios de Sierra Gorda: Pinal de Amoles, Arroyo Seco, Jalpan de Serra y Landa de Matamoros.

Recomendaciones

Impulsar la creación de sistemas de información para obtener y sistematizar periódicamente datos actualizados de todas las subcategorías, que permitan precisar la estimación de emisiones, principalmente en subcategorías prioritarias, a través de la coordinación estrecha con autoridades municipales, estatales y federales.

Sector Energía

- Fomentar en los municipios acciones para recopilar información específica del consumo de combustible en sector agropecuario, comercios y servicios, así como fortalecer la información de transporte local y transporte público a través de actualización periódica de registros y/o autorizaciones.
- Impulsar acciones para validación de información de Cédulas de Operación Anual Estatal.
- Reforzar la coordinación con autoridades federales y estatales para obtener información sobre la industria manufactura asentada en el Estado, que permita conocer el porcentaje de regulación, así como su fortalecimiento.

IPPU

- Impulsar acciones para validación de información de Cédulas de Operación Anual, procurando homologar las unidades para mejorar los procesos de aseguramiento de calidad y reduciendo la incertidumbre en los datos de actividad para el caso de las sustancias que agotan la capa de ozono.

AFOLU

- Impulsar acciones para la recopilación exhaustiva de información sobre sistemas de manejo de excretas y tipo de alimentación del ganado en las unidades productoras.
- Fomentar la incorporación de un registro municipal y estatal de cabezas para ganado equino, asnal y mular y la verificación de unidades productoras de conejos.
- Fortalecer la coordinación con autoridades municipales y estatales para generar la recopilación de datos respecto tipo y cantidad de fertilizantes usados en cultivos, con las unidades productoras.
- Impulsar acciones para la recopilación exhaustiva de información sobre actividades de encalado en tierras de cultivo.

Residuos

- Impulsar la recopilación de información sobre plantas de tratamiento de aguas industriales, residuos de manejo especial y residuos industriales.
- Realizar un rastreo respecto de los sitios de disposición de excretas y disposición de lodos de plantas de tratamiento.

Para la generación de siguientes versiones de inventario, es importante cuidar la consistencia de la información y generar series históricas que permitan tener una evolución de las emisiones.

Referencias

- AIQ, 2022. Operaciones por tipo de aeronave en 2021, respuesta mediante Oficio AIQ/AA/185/2022.
- Arias, T et al, 2009. Biofuels Assessment on Technical Opportunities and Research Needs for Latin America; UNAM, CENBIO, INTA, CIEMAT, UCV.
- CEA, 2023, Información sobre plantas de tratamiento de aguas residuales, con locación, caudal tratado, DBO entrante y DBO removida, volumen de residuos generados del tratamiento en los diferentes municipios y datos meteorológicos. información proporcionada mediante correo electrónico del 1 marzo de 2023.
- CONAFOR, 2021. Sistema de Información Forestal. Capa de Incendios año base 2021.
- CONAFOR, 2022. Área afectada por incendios forestales, indicando el tipo de vegetación afectada, superficie de biomasa consumida y duración en los diferentes municipios del estado de Querétaro 2021. Proporcionada mediante oficio CNF-PDFQ-0981-2022
- CRE, 2023. Resolución RES/100/2004. Resolución por la que se modifica la Zona Geográfica de Querétaro para fines de distribución de gas natural y el título de permiso de distribución Núm. G/050/DIS/98 a nombre de TRACTEBEL DIGAQRO, S.A. de C.V.
- Diario Oficial de la Federación, 2015. ACUERDO que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero.
- FAOSTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consumo per cápita de proteína.
- Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sus-Sur. 2014. Metodología para la representación coherente de las tierras para l actualización del Informe Bienal para la categoría de USCUSS.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2019. Chapter 7 Emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances Volume 3: IPPU.
- INECC, 2014. Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México
- INEGI, 2015. Tabulados de la Encuesta Intercensal.
- INEGI, 2017. Cartas de uso de suelo y vegetación Serie VI.
- INEGI, 2018. Encuesta Nacional de los Hogares (ENH) 2017. Tabulados básicos. Precisiones estadísticas.
- INEGI, 2021. Cartas de uso de suelo y vegetación Serie VII
- INEGI, 2021. Censo de Población y Vivienda 2020. Tabulados del Cuestionario Básico.
- INEGI, 2021. Vehículos de motor registrados en circulación.

- SIAP, SIACON, 2022, Sistema de información agroalimentaria y pecuaria.
- SIE-SENER, 2021. IMP: Demanda Interna de Diesel por Estado, Sector Transporte Ferroviario 2021.
- SIE-SENER, 2022. IMP: Demanda interna de Gas LP por Estado, 2021.
- SIE-SENER, 2022. IMP: Demanda Interna de Gas Natural por Estado, Sectores Residencial, Servicios y Autotransporte, 2021.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)
- UNAM, 2022. Unidad de Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad (GITS) del Instituto de Geografía. Infraestructura de Datos Espaciales Abiertos (IDEA).

SECRETARÍA DE DESARROLLO SUSTENTABLE
QUERÉTARO

QUERÉTARO
GOBIERNO DEL ESTADO
Juntos, Adelante.

CONTIGO
TODOS AVANZAMOS

INVENTARIO DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO AÑO BASE 2021

"Este programa es público, ajeno a cualquier partido político.
Queda prohibido el uso para fines distintos a los establecidos en el programa".