Cambio Climático y Gestión Del Riesgo Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR

Mario Abelardo Alfonso Salgado

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Septiembre 2021

Cambio Climático y Gestión Del Riesgo Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR

Mario Abelardo Alfonso Salgado

Mabel Lucero Prada Soto, Msc. Energías Renovables y Sostenibilidad

Asesor Interno, UNAD CEAD Tunja

Edgar Ivan López, Ingeniero Civil

Asesor Externo, Corpochivor

Supervisor Contrato De Pasantía No. 224-21

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Septiembre 2021

Introducción

Una de las problemáticas ambientales que hoy vive el planeta es el aumento de los gases "efecto invernadero", el cual, según Rodas Monsalve, "constituye una de las mayores preocupaciones internacionales, por sus posibles repercusiones en la alteración de la vida en el planeta a corto plazo (Rodas Monsalve, 1995).

La problemática está representada en el aumento de la temperatura global (cambio climático), el derretimiento del hielo polar y por ende el aumento del nivel del mar que inundaría costas y aumentaría el número de áreas desérticas e infértiles. (Rodas Monsalve, 1995).

La atmósfera recibe continuamente grandes cantidades de emisiones de gases efecto invernadero, entre las que se encuentra el Metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), estos gases fueron objeto de la elaboración de inventarios de emisiones por el tratamiento y eliminación de las aguas residuales municipales en el desarrollo de la pasantía realizada en la Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR.

El siguiente informe contiene los inventarios de GEI producidos por el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas para las zonas urbanas de los 25 municipios de la jurisdicción de CORPOCHIVOR del año 2015 al 2020.

Resumen

El aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ocasionan el llamado "Efecto Invernadero" que aumenta la temperatura global. Este hecho constituye una de las más grandes preocupaciones de los gobiernos de los diferentes países y de la población en general. Antes esta situación se firman convenios internacionales y adquieren compromisos para reducir el nivel de emisiones.

El tratamiento y eliminación de aguas residuales ocasiona la generación de metano y óxido nitroso, más aún si este proceso se efectúa por medio de sistemas anaerobios que producen degradación de materia orgánica y las plantas no cuentan con medidas de mitigación para las emisiones.

Para poder diseñar y aplicar medidas de mitigación se deben elaborar en primera instancia los inventarios de emisiones de GEI, a nivel local, departamental y nacional.

El presente documento contiene los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en los 25 municipios que conforman la jurisdicción de CORPOCHIVOR desde el año 2015 y hasta el año 2020. De acuerdo al análisis de resultados se sugieren algunas alternativas como medidas de mitigación de las emisiones

Palabras clave: metano, óxido nitroso, fuente de emisión, cambio climático

Abstract

The increase in Greenhouse Gas emissions causes the so-called "Greenhouse Effect" that increases global temperature. This fact constitutes one of the greatest concerns of the governments of the different countries and of the population in general. Before this situation, international agreements are signed and commitments are made to reduce the level of emissions.

The treatment and disposal of wastewater causes the generation of methane and nitrous oxide, even more so if this process is carried out through anaerobic systems that cause degradation of organic matter and the plants do not have mitigation measures for emissions.

In order to design and apply mitigation measures, inventories of greenhouse gas emissions must be prepared in the first instance, at the local, departmental and national levels.

This document contains the inventories of greenhouse gas emissions in the 25 municipalities that make up CORPOCHIVOR's jurisdiction from 2015 to 2020. According to the analysis of the results, some alternatives are suggested as mitigation measures for the emissions.

Keywords: methane, nitrous oxide, emission source, climate change

Tabla de Contenido

Definición del problema 10
Justificación 11
Objetivos 13
Objetivo general 13
Objetivos específicos 13
Metodología 14
Cálculo de emisiones de metano 14
Cálculo de emisiones de óxido nitroso 16
Resultados 20
Análisis de resultados 25
Conclusiones 27
Propuesta medidas de mitigación 28
Referencias Bibliográficas 33

Lista de tablas

Tabla 1. Factores empleados 18

Lista de Figuras

Figura 1. Emisiones de Metano municipios con PTAR..... 20
Figura 2. Emisiones de Metano municipios sin PTAR Grupo 1 21
Figura 3. Emisiones de Metano municipios sin PTAR Grupo 2 21
Figura 4. Emisiones de N_2O municipios con PTAR 22
Figura 5. Emisiones de N_2O municipios sin PTAR Grupo 1..... 23
Figura 6. Emisiones de N_2O municipios sin PTAR Grupo 2 23
Figura 7. Esquema básico del progreso de digestión anaerobia 30

Lista de Anexos

Anexo 1. Tabla 2 Factor de emisión para municipios sin PTAR.....34
Anexo 2. Tabla 3 Factor de emisión para municipios con PTAR.....38
Anexo 3. Tabla 4 Total de materia orgánica para municipios sin PTAR 40
Anexo 4. Tabla 5 Total de materia orgánica para municipios con PTAR 44
Anexo 5. Tabla 6 Emisiones de metano para municipios sin PTAR 46
Anexo 6. Tabla 7 Emisiones de metano para municipios con PTAR 50
Anexo 7. Tabla 8 Nitrógeno total en los efluentes para municipios sin PTAR 52
Anexo 8. Tabla 9 Nitrógeno total en los efluentes para municipios con PTAR 56
Anexo 9. Tabla 10 Emisiones de N_2O para municipios sin PTAR.....58
Anexo 10. Tabla 11 Emisiones de N_2O para municipios con PTAR.....62

Definición del problema

El tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas puede producir gases efecto invernadero (GEI), entre ellos el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Debido a la necesidad de obtener los inventarios de GEI de los procesos de tratamiento y eliminación de las aguas residuales municipales en el territorio de jurisdicción de la corporación de los años 2015 al 2020, se plantea la alternativa de realizar una pasantía como opción de grado de un estudiante del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD que pueda solventar los requerimientos de información sobre la temática.

Justificación

La Corporación Autónoma Regional de Chivor CORPOCHIVOR, se ha caracterizado por su constante preocupación, no solo en identificar problemáticas ambientales dentro de su jurisdicción, sino a la búsqueda, formulación y aplicación de medidas de mitigación o corrección de cada una de ellas.

Tanto las aguas residuales, como los lodos que las contienen, pueden producir metano (CH_4) por degradación anaeróbica y la producción depende de la cantidad de materia orgánica degradable, del tipo de sistema de tratamiento y la temperatura. Es de tener en cuenta que el aumento de esta última eleva el índice de producción de CH_4, por eso en los climas cálidos y en los sistemas no controlados la producción es mayor. (IPCC, 2006)

En los sistemas de tratamiento aeróbicos la producción de CH_4 es menor o casi nula, de acuerdo con la profundidad de las lagunas. Así, las que tienen menos de un metro de profundidad ofrecen condiciones aeróbicas y poco o nada de producción de CH_4, mientras que las que tienen 2-3 metros de profundidad ofrecen medios anaeróbicos y la producción de CH_4 es significativa. (IPCC, 2006)

Ahora bien, los parámetros utilizados para determinar el potencial de generación de CH_4 son: el requisito bioquímico de oxígeno (BOD) para sistemas aeróbicos y el requisito químico de oxígeno (COD) para sistemas anaeróbicos y preferencialmente para aguas residuales no domésticas (IPCC, 2006).

En el tratamiento de aguas residuales el N_2O puede estar asociado con la degradación de los componentes nitrogenados (urea, nitratos y proteínas). Durante los procesos de nitrificación y desnitrificación de las aguas residuales pueden producirse emisiones directas de N_2O. Es de

saber que la nitrificación es un proceso aeróbico que convierte el amoniaco y otros compuestos nitrogenados en nitrato (NO_3); mientras que la desnitrificación se produce bajo condiciones anóxicas (sin oxígeno libre) y convierte biológicamente el nitrato en gas di nitrógeno (N_2). El óxido de nitrógeno puede ser un resultado intermedio en ambos procesos, pero se da más en la desnitrificación. (IPCC, 2006)

Ahora bien, los municipios que conforman la jurisdicción de CORPOCHIVOR están en la obligación de presentar su auto declaración de vertimientos de forma anual de acuerdo con el decreto 2667 de 2012 (diciembre 21) y el decreto compilatorio 1076 de 26 de mayo de 2015.

Por último, CORPOCHIVOR como Corporación Autónoma Regional, aporta informes que hacen parte de reportes internacionales para cumplir convenios firmados por Colombia, los cuales deben ser desarrollados y elaborados con el 100% de certeza y veracidad para lo cual se necesita de un trabajo serio, responsable y eficiente basado en fuentes de información autorizadas y actualizadas. Es así como, en cumplimiento de sus funciones y competencias, especialmente las establecidas en la Ley 1931 de 2018 “Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático”, se pretende generar una línea base respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento y eliminación de aguas residuales en las zonas urbanas de la jurisdicción de CORPOCHIVOR.

Objetivos

Objetivo general

Elaborar los inventarios de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento y eliminación de aguas residuales a partir del año 2015 en las zonas urbanas de la jurisdicción de CORPOCHIVOR como línea base para la toma de medidas de mitigación por parte de la entidad.

Objetivos específicos

1. Revisar la información de fuentes primarias y secundarias para la tabulación de datos anuales de acuerdo con la metodología IPCC de 2006.
2. Calcular mediante la metodología IPCC de 2006 las emisiones de GEI.
3. Elaborar los inventarios anuales de GEI con la información consolidada.
4. Analizar los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología IPCC de 2006.
5. Proponer medidas de mitigación de acuerdo con los resultados obtenidos

Metodología

Para cumplir los objetivos propuestos se realizó un estudio exhaustivo con variables cuantitativas. La información sobre los tipos de tratamiento para cada municipio fue suministrada por CORPOCHIVOR y los datos sobre población urbana fue tomada de las bases de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

Las metodologías utilizadas se basan en las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones de GEI. Estas metodologías se fundamentan en el cálculo de emisiones a partir de datos de actividad y factores de emisión para cada país o región. Al no disponer de factores de emisión propios, estos se asumieron por defecto de los suministrados por el IPCC.

Las ecuaciones que se utilizaron para el cálculo del metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) fueron tomados de la metodología IPCC 2006 y se describen a continuación.

Cálculo de emisiones de metano

Ecuación 6.1 Emisiones Totales de CH_4 Procedentes de las Aguas Residuales Domésticas (IPCC 2006, volumen 5, capitulo 6)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i\,j}\left(U_i \times T_{ij} \times EF_j\right)\right](TOW - S) - R$$

Dónde:

TOW= Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, Kg. de BOD/año

S = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, Kg. de BOD/año

U_i= Fracción de la población del grupo de ingresos i en el año de inventario

T_{ij}= Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario

i= Grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos

j= Cada vía o sistema de tratamiento/eliminación

EF_j= Factor de emisión, kg. de CH_4/Kg. de BOD

R = Cantidad de CH_4 recuperada durante el año del inventario, kg. de CH_4/año

Para calcular el factor de emisión EF_j se emplea la Ecuación 6.2 (IPCC 2006, volumen 5, capitulo 6) factor de emisión de CH_4 para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas

$$EF_j = B_O \times MCF_j$$

Dónde:

EF_j= Factor de emisión, kg. de CH_4/kg. de BOD

j= Cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación

B_O= Capacidad máxima de producción de CH_4, Kg. de CH_4/Kg. de COD

MCF_j= Factor corrector para el metano

El total de materia orgánica TOW se calcula de acuerdo con la Ecuación 6.3 Materia Orgánica Degradable en las Aguas Residuales Industriales (IPCC 2006, volumen 5, capitulo 6)

$$TOW = P \times BOD \times 0.001 \times I \times 365$$

Dónde:

TOW= Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, Kg. de BOD/año

P= Población en el año del inventario, (personas)

BOD= Demanda bioquímica de oxígeno per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día

0.001= Conversión de gramos de BOD a kilogramos de BOD

I= Factor de corrección para BOD industrial adicional eliminado en las cloacas (si es recolectado el valor por defecto es 1,25, si no es recolectado el valor por defecto es 1,00.)

Cálculo de emisiones de óxido nitroso

Ecuación 6.7 Emisiones de N_2O Provenientes de las Aguas Residuales Efluentes (IPCC 2006, volumen 5, capitulo 6)

$$Emisiones\ de\ N_2O\ = N_{EFLUENTE} \times EF_{EFLUENTE} \times 44/28$$

Dónde:

$Emisiones\ de\ N_2O$= Emisiones de N_2O durante el año del inventario, kg. de N_2O /año

$N_{EFLUENTE}$ = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/ año

$EF_{EFLUENTE}$= Factor de emisión para las emisiones de N_2O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg. de N2O/kg. de N

El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg. de N_2O-N en kg. de N2O.

Para el cálculo del nitrógeno total de los efluentes se emplea la ecuación 6.8 Nitrógeno Total en los Efluentes (IPCC 2006, volumen 5, capitulo 6)

$$N_{EFLUENTE} = (P \times Proteina \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_{LODO}$$

Dónde:

P= Población humana

$Proteína$= Consumo per cápita anual de proteínas, Kg. /persona/año

F_{NPR}= Fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16, kg. de N/kg. de proteína

$F_{NON-CON}$= Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

$F_{IND-COM}$= Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

N_{LODO}= Nitrógeno separado con el lodo residual (Por defecto = 0), kg. de N/año

Para la estimación de las emisiones y en base a la información suministrada por las empresa o unidades de servicios públicos de los 25 municipios de la jurisdicción, se aclara que la población atendida por las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o conectadas al sistema de alcantarillado corresponde a la población de las cabeceras municipales.

En la siguiente tabla se detallan los factores de emisión utilizados en del desarrollo de las ecuaciones

Tabla 1.

Factores empleados

GEI	Factor Empleado	Fuente
CH_4	Fracción de la población del grupo de ingresos *i* en el año de inventario	Sección 6.2.2.3 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.16. IPCC 2006.
	Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación *j*, para cada fracción de grupo de ingresos *i* en el año del inventario	Sección 6.2.2.3 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.16. IPCC 2006.
	Capacidad máxima de producción de CH_4, Kg. de CH_4/Kg. de COD	Sección 6.2.2.2 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.12. IPCC 2006.
	Factor corrector para el metano (fracción)	Sección 6.2.2.2 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.12. IPCC 2006.
	BOD per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día	Sección 6.2.2.3 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.14. IPCC 2006.
N_2O	Factor de emisión para las emisiones de N2O provenientes de la eliminación en aguas servidas	Sección 6.3.1.2 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.28. IPCC 2006.
	Consumo per cápita anual de proteínas, Kg. /persona/año	a Organización de las Naciones Unidas para la

	Agricultura y la Alimentación (FAO, 2007)
Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales	Sección 6.3.1.3 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.28. IPCC 2006.
Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado	Sección 6.3.1.3 Capítulo 6. Volumen 5. p.6.28. IPCC 2006.

Fuente: Elaboración propia

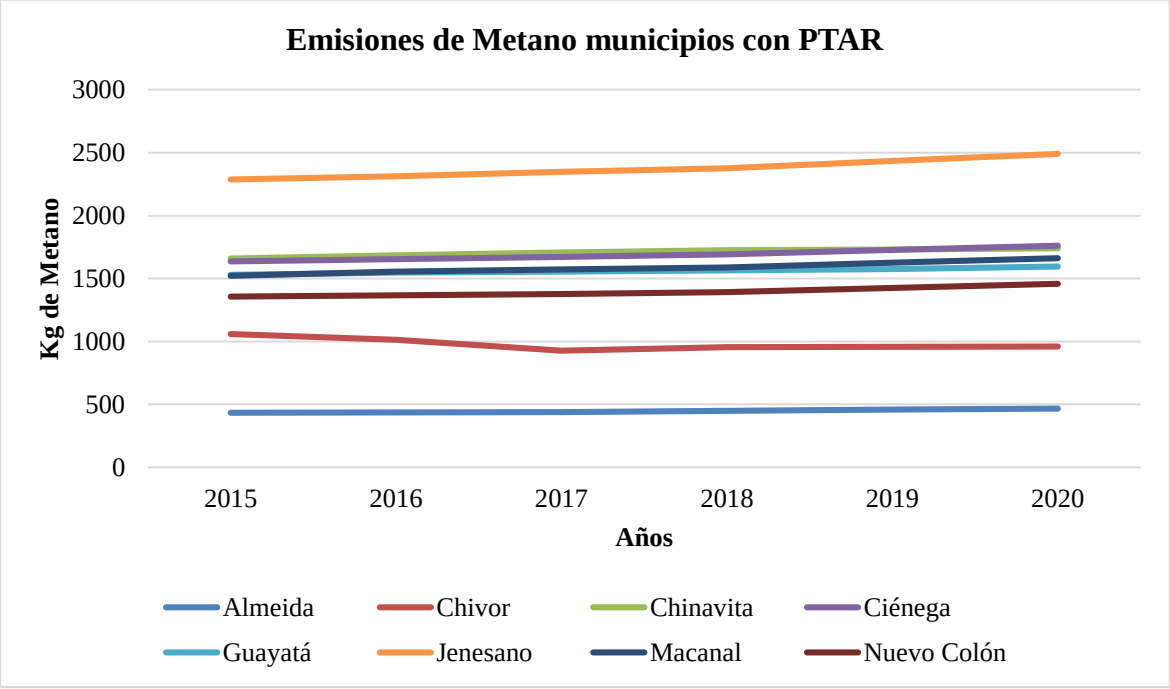
Los valores asignados a cada factor, así como los resultados de los cálculos se relacionan en los anexos.

Resultados

Las siguientes gráficas muestran las emisiones de GEI por año para los 25 municipios de la jurisdicción de CORPOCHIVOR, la representación gráfica para municipios sin PTAR se hizo en dos grupos, debido a la cantidad de información.

Figura 1.

Emisiones de Metano municipios con PTAR

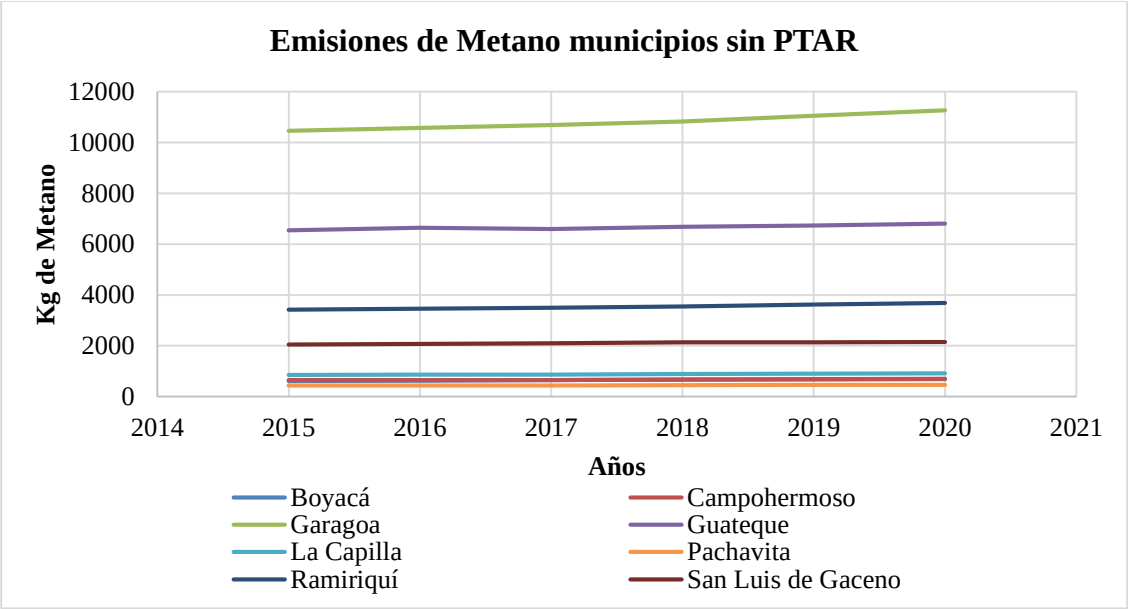


Fuente: Corpochivor/ Elaboración propia

La mayoría de los municipios están dentro del rango 1000 a 2000 Kg/año de metano, solamente uno (Jenesano) supera los 2000 Kg/año y uno está por debajo de los 500 Kg/año (Almeida). Se debe tener en cuenta que este último tiene una población urbana baja, por debajo de 400 habitantes. Chivor presenta un descenso debido a que su población disminuyó en el año 2017 respecto al año 2016.

Figura 2.

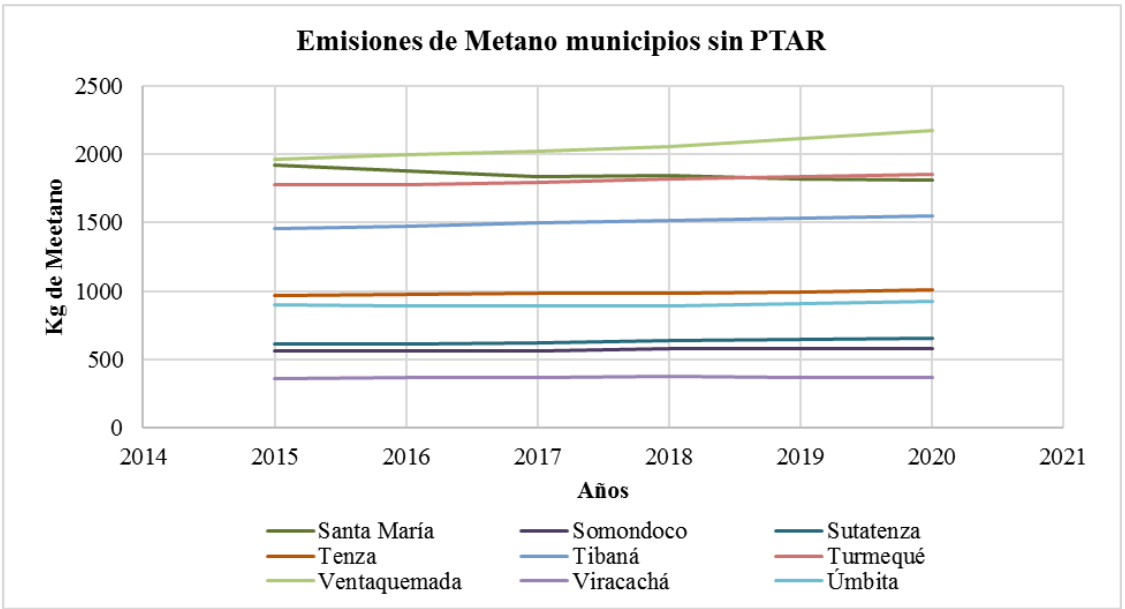
Emisiones de Metano municipios sin PTAR Grupo 1



Fuente: Corpochivor/ Elaboración propia

Figura 3

Emisiones de Metano municipios sin PTAR Grupo 2

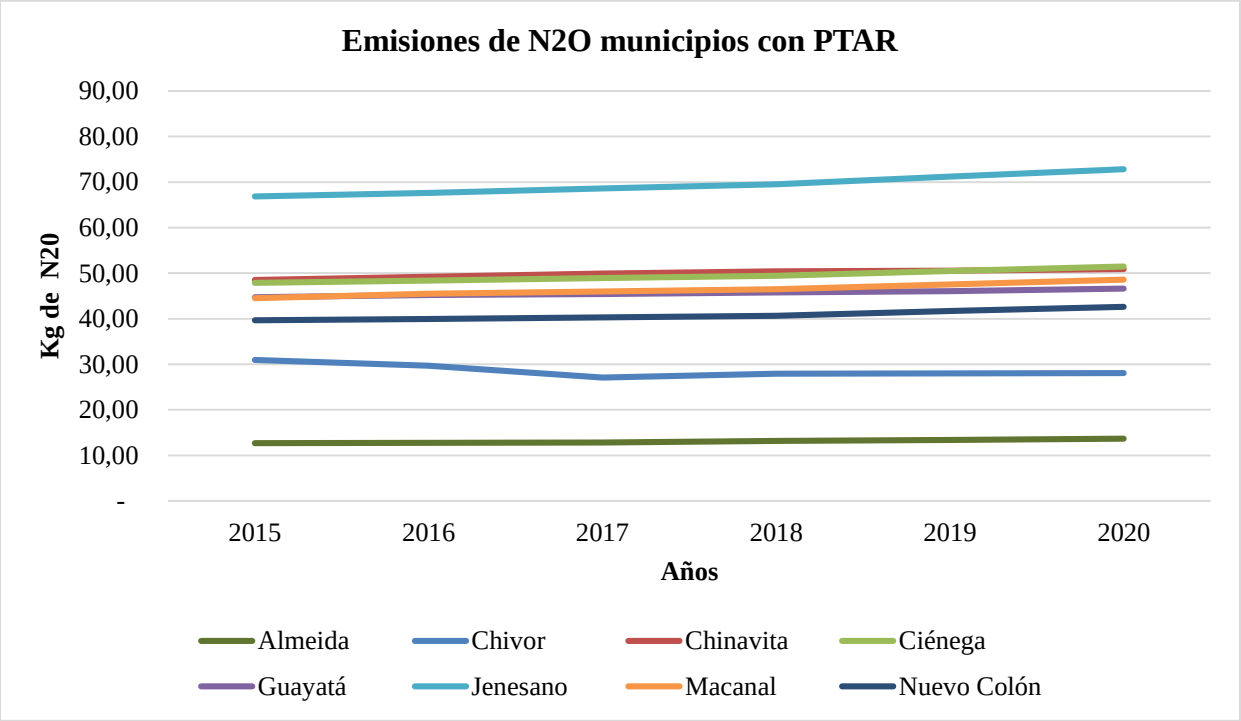


Fuente: Corpochivor/ Elaboración propia

Las emisiones de metano en estos municipios son directamente proporcionales a su población, siendo Garagoa el que tiene mayor índice por ser el más poblado con 12589 habitantes para el año 2020, mientras que Viracachá no alcanza los 400 Kg/año de emisiones de metano por ser el menos poblado de estos dos grupos con 422 habitantes en el año 2020. Ventaquemada presenta un aumento significativo en el año 2019 ya que su población pasó de 2345 a 2417 habitantes. Santa María tiene un descenso año tras año obedeciendo a la disminución de su población.

Figura 4

Emisiones de N_2O municipios con PTAR

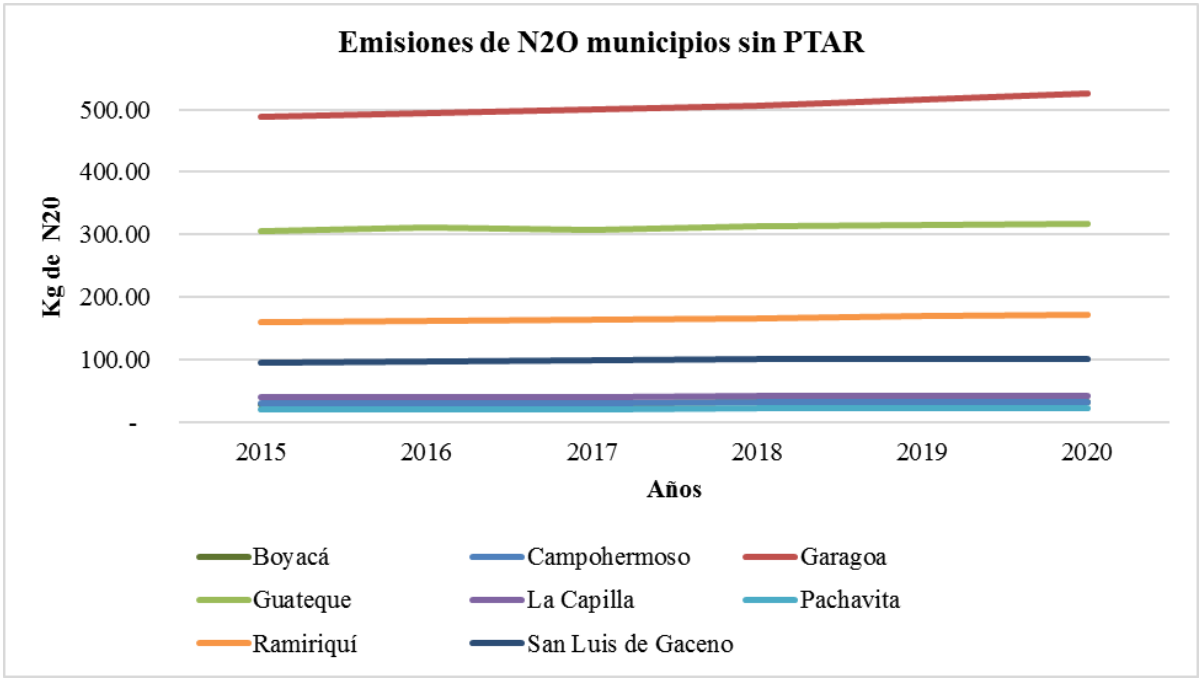


Fuente: Corpochivor/ Elaboración propia

La importancia del tamaño de la población es determinante en el aumento o disminución de las emisiones de N_2O. En la gráfica se observa a Chivor con bajas emisiones a partir del año 2017 debido a que su población disminuyó, mientras que en el resto de los municipios sucedió lo contrario obedeciendo al aumento poblacional.

Figura 5

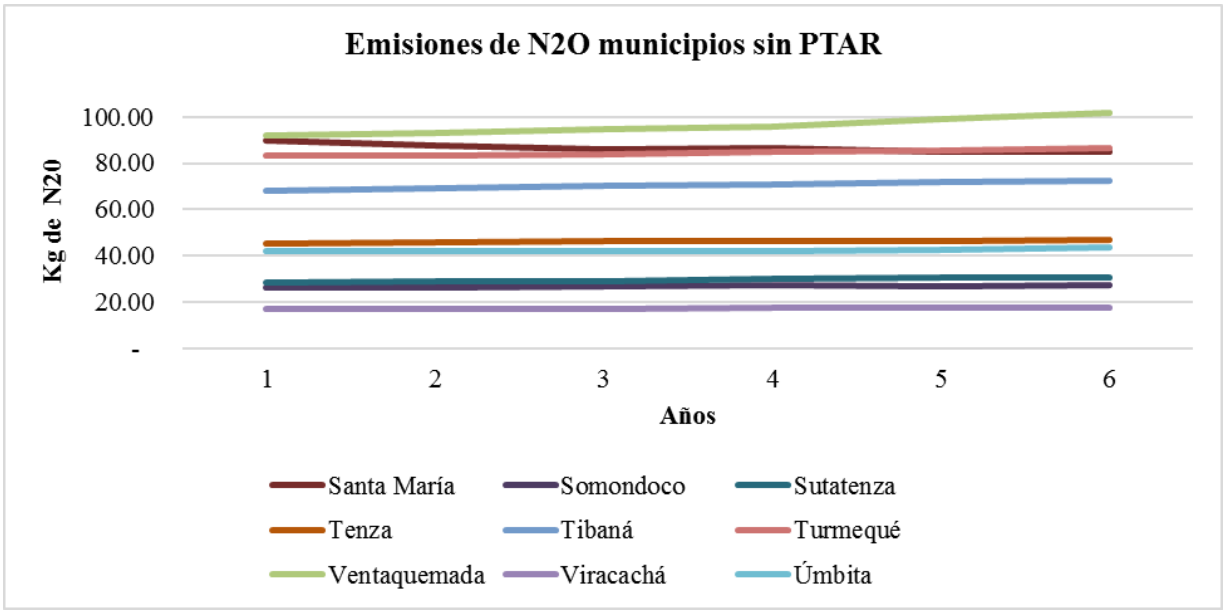
Emisiones de N_2O municipios sin PTAR Grupo 1



Fuente: Corpochivor/ Elaboración propia

Figura 6

Emisiones de N_2O municipios sin PTAR Grupo 2



Fuente: Corpochivor/ Elaboración propia

Los municipios sin PTAR presentan una situación similar a los municipios con PTAR debido a que la variable determinante en el desarrollo de la ecuación 6.8 de la Metodología IPCC de 2006 es el consumo de proteína per cápita, por consiguiente, a mayor número de personas mayor será el Nitrógeno total que se determine con esta metodología.

Análisis de resultados

Se debe destacar en primer lugar, que los 25 municipios objeto de estos inventarios de emisiones de GEI reciben transferencias del sector eléctrico ordenadas por la ley 99 de 1993, los cuales deben ser aplicadas en proyectos de saneamiento básico, entendiéndose estos como la construcción y ampliación de acueductos y alcantarillados urbanos y rurales, pero solamente ocho de ellos cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, los demás vierten las aguas servidas directamente a fuentes hídricas.

También se debe resaltar que casi la totalidad de las plantas en funcionamiento corresponden a sistemas anaerobios, sistemas que producen mayores cantidades de metano.

Aunque parezca paradójico los municipios que no poseen plantas de tratamiento emiten menores cantidades de metano que los que cuentan con PTAR, debido a que en su mayoría estas plantas son anaerobias, permitiendo la degradación de la materia orgánica con una alta producción de metano. Por otra parte, los municipios sin PTAR cuentan con redes de alcantarillado las cuales recogen y entregan sin tratamiento las aguas residuales para ser vertidas al recurso hídrico, punto en el cual se producen las emisiones de metano que tienden a ascender debido a que se relaciona directamente con el crecimiento demográfico del municipio (Mayor número de usuarios conectados al alcantarillado).

Entre los municipios con PTAR, se destaca Almeida con menor cantidad de emisión de metano y conserva un comportamiento uniforme con tendencia ascendente, mientras que en Jenesano la cantidad es más alta alcanzando los 2490 Kg de metano/año. Los demás municipios permanecen dentro del rango de 1000 a 2000 Kg de metano/año.

Aunque se ha dicho que los municipios que no poseen PTAR emiten menos emisiones de metano, cabe aclarar que esto aplica para municipios que en comparación con aquellos que si cuentan con PTAR tienen un número de población similar, un claro ejemplo de esto es lo que ocurre si comparamos el municipio de Somondoco que no cuenta con PTAR y que para el año 2020 tuvo una población de 662 habitantes con emisiones para ese mismo año de 579 Kg de metano, con el municipio de Chivor que cuenta con PTAR y una población similar para ese año de 685 habitantes, el cual generó un total de 960 Kg de metano. Ahora bien, municipios con un alto índice poblacional como es el caso de Garagoa presenta más emisiones sin importar que carezca de PTAR debido a su elevada población.

En cuanto a las emisiones de N_2O el comportamiento es directamente proporcional al número de habitantes y el consumo de proteína per cápita. Según lo reportado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en Colombia el consumo de proteína per cápita es de 65 g/persona/día.

Conclusiones

- Se dio cumplimiento a los objetivos formulados obteniendo como resultado los inventarios de emisiones de GEI del tratamiento y eliminación de aguas residuales en los municipios de la jurisdicción de CORPOCHIVOR los años 2015 a 2020, así como la propuesta de medidas de mitigación originadas del análisis de los resultados.
- Los inventarios de emisiones de GEI son una herramienta necesaria para poder diseñar, formular y aplicar medidas de mitigación que permitan cumplir con los compromisos nacionales e internacionales que tratan de frenar el calentamiento global.
- Luego de analizar los resultados se evidencia que los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas con modelos anaerobios tienen una significativa producción de emisiones de metano, pero se pueden reemplazar por sistemas aerobios o adicionar al proceso de tratamiento mecanismos de mitigación de emisiones.
- Los municipios sin PTAR producen menos emisiones de metano que los municipios con PTAR debido que estos últimos utilizan tecnología anaerobia que genera mayores emisiones que las que se pueden presentar en la red de alcantarillado de los municipios que no cuentan con un sistema de tratamiento. Esto no quiere decir que no se produzcan otras afecciones al medio ambiente como la contaminación del recurso hídrico por la descarga de vertimientos no tratados.

Propuesta medidas de mitigación

La mayor producción de emisiones de metano en sistemas de tratamiento de aguas residuales se da en los que usan sistemas anaeróbicos, ya que estos dependen en gran parte de la cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales y tanto estas como los lodos que contienen pueden producir metano por degradación anaeróbica.

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que los lodos, mediante la acción de un grupo de bacterias y en ausencia de oxígeno, se descomponen en biogás y una mezcla de productos minerales. El producto final de este proceso es el biogás, compuesto principalmente de CH_4 (entre 60 y 70%), CO_2 (un 30%), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), alrededor de 3% cada uno (Bachmann. et. al., 2015)

Una primera alternativa para reducir las emisiones es utilizar sistemas aeróbicos, con los cuales se evita la generación de metano, sin embargo, puede aumentar las emisiones indirectas de GEI por consumo de energía para la aireación. (Nolasco, 2012) más aún cuando 17 municipios de la jurisdicción de CORPOCHIVOR no cuentan con PTAR.

A continuación, se presentan algunas alternativas de sistemas de tratamiento de aguas residuales para mitigar la generación de GEI en los procesos de tratamiento.

a. Lagunas aeróbicas: Tienen la ventaja de no generar metano o si se llega a generar, las cantidades son mínimas porque pueden utilizar sistemas de aireación de superficie, aunque también se pueden diseñar con difusores sumergibles para aumentar al máximo la eficiencia de aireación natural. Para evitar esto último, la laguna debe estar diseñada de acuerdo con la dirección predominante del viento y contar con superficie que supla la necesidad de oxígeno (Huertas, 2012).

Su limitación está en que se requiere mayor superficie porque no puede superar los dos metros de profundidad para que la luz alcance la totalidad del líquido ya que depende únicamente de procesos fotosintéticos y de transferencia por superficie. Los requisitos mínimos de diseño se encuentran en el artículo 196 de la Resolución 0330 de 2017.

b. Existen también dispositivos menos complejos de desgasificación en la descarga de efluentes de los reactores anaeróbicos municipales, los cuales se alimentan directamente con las aguas residuales (UASB, filtros anaeróbicos, lecho fluidizado o ampliado, reactores con reflectores) para su tratamiento.

   Por medio de estos sistemas aproximadamente el 30% del metano se pierde como gas disuelto en el afluente tratado. Otra cantidad significativa de metano puede ser capturada y aprovechada o quemada con una columna cerrada con suficiente turbulencia, después del reactor. (Grupo Apoyo Administrativo ASG Iniciativa Global de Metano. 2013, p. 3)

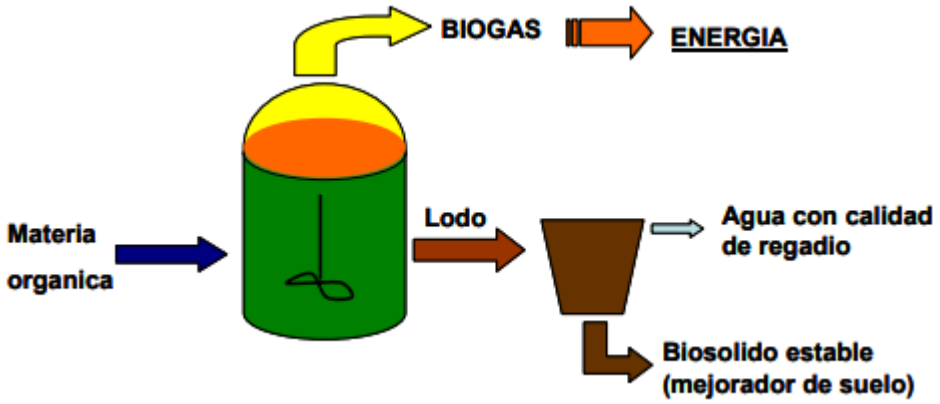
c. Según Vivanco E (2018) Las emisiones se pueden reducir a través de un proceso de digestión anaerobia para la generación de biogás, el cual generalmente se hace en tanques cerrados o reactores. En este sistema y como producto de la degradación de una materia orgánica se obtiene:

   - Biogás de gran poder energético. “El biogás resultante de la descomposición microbiológica está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono” Vivanco E (2018).
   - Lodo estabilizado que es el resultado del crecimiento microbiano resultante del proceso de digestión, así como de sólidos no digeridos que han sido estabilizados y que se pueden utilizar en procesos agrícolas o de recuperación de suelos degradados.

Este proceso de producción de biogás consta de cuatro etapas principales como lo muestran en la siguiente figura:

Figura 7

Esquema básico del proceso de digestión anaerobia.



Fuente: Vivanco E (2018)

Por otra parte, debido a que los 8 municipios que tienen PTAR utilizan sistemas anaerobios, se plantea como medida de mitigación el proceso de captación y utilización del CH_4 como combustible o quemarlo para transformarlo en CO_2 reduciendo de esta forma el potencial de calentamiento; según Nolasco (2010) cada GEI tiene distinta capacidad para absorber la radiación infrarroja emitida por la tierra, la cual le otorga su "Potencial de Calentamiento Global" específico, por esto algunos estudios establecen que un kilogramo de metano puede ser 23 veces más potente que el dióxido de carbono.

A continuación, se describen los pasos de captación y utilización del metano:

1. Generación del biogás: Se genera en los procesos de tratamiento anaerobio y está compuesto en su mayor parte por metano (50-75%) (Nolasco, 2010).
2. Acumulación: Una vez producido el biogás se atrapa en la parte superior del reactor o laguna mediante una cubierta flexible o rígida donde a la vez es acumulado.
3. Captación: Para remover el biogás se genera un vacío en la tubería de conexión por medio de una bomba al final de la tubería. Se debe utilizar también un regulador de presión o gasómetro para propiciar la entrega de gas a una presión constante. (Nolasco, 2010).
4. Conducción: La conducción del biogás se hace por medio de mangueras de PVC las cuales deben estar enterradas o elevadas y pintadas para evitar cualquier daño por razones naturales o antrópicas. (Nolasco, 2010).
5. Condensación: Este proceso sucede cuando el gas entra a la tubería de conducción, en la cual la temperatura disminuye facilitando la condensación del vapor de agua. Es importante aclarar que el vapor debe ser removido por que junto con las partículas que arrastra producen obstrucciones en las tuberías y reducen el rendimiento energético del biogás.

Para la remoción del vapor de agua se utilizan generalmente dos métodos: El primero para tuberías cortas en donde se puede disponer de una pendiente hacia el digestor que facilite que el agua fluya hacia este por simple gravedad; en tuberías largas se utilizan recipientes dispuestos a lo largo de la tubería para recoger el agua condensada y extraerla. (Nolasco, 2010).

Remoción de ácido sulfhídrico (H_2S)

El H_2S se halla en el biogás en pequeñas concentraciones (0.1-0.5%) y se debe remover porque puede producir corrosión en las tuberías e instalaciones, olor fuerte, problemas de salud, y puede generar ácido sulfúrico (H_2SO_4) al combinarse el ácido sulfhídrico con el oxígeno.

Este procedimiento se hace por medio de un tanque de remoción de H_2S, de bajo costo y alta eficiencia, el cual consiste en hacer circular el gas en un recipiente hermético que contiene esponjas de hierro que remueven el ácido por reacción $FeO + H_2S \rightarrow FeS + H_2O$

(Nolasco, 2010)

Uso final del biogás

El biogás se puede utilizar en:

- Combustible para motor o generador.
- Generación de energía térmica.
- Cogeneración de energía térmica y mecánica.
- Quemando el metano cuando por su cantidad o por los precios de la energía su utilización no se justifique.

Este método de captación y utilización del metano trae consigo impactos ambientales tanto positivos como negativos. Entre los primeros se tiene la disminución de olores, la reducción de emisiones de GEI, y el remplazo de combustibles fósiles por renovables. Entre los impactos negativos que pueden ocurrir estaría el peligro de explosiones al manejar un gas inflamable como el metano. Esto se puede prevenir usando las medidas de seguridad pertinentes.

Referencias Bibliográficas

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993.* Bogotá: Ministerio de Ambiente.

DANE. (2005). *Proyecciones de población a nivel departamental, periodo 2005-2017*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion.

DANE. (2018). *Proyecciones de población a nivel muncipal, periodo 2018-2035*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion

Espinisa, C. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo superficial en el tratamiento de aguas residuales de 30000 habitantes.* Obtenido de https://studylib.es/doc/2098585/factibilidad-del-diseno-de-un-humedal-de-flujo-subsuperfi

Grupo de Apoyo Administartivo ASG . (2013). *Iniciativa global de metano.* Obtenido de https://globalmethane.org/documents/ww_fs_spa.pdf

Ministerio de Vivienda. (2000). *Reglamento Técnico del.* Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf

Montañez, L. (s.f.). *Guía para la construcción de un informe de psantía.* Obtenido de https://repository.unad.edu.co/handle/10596/4783

Nolsaco, D. (2010). *Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales.* . Obtenido de https://publications.iadb.org/es/desarrollo-de-proyectos-mdl-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales

Pulido, A. (s.f.). *Informe de inventario nacional de GEI en Colombia.* . Obtenido de https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NIR_BUR2_Colombia.pdf

Michiel. R. et. al (2006). *) Directrices IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de Gases Efecto Invernadero.*

Huertas R. et. al (2012). *Guìa practica para la depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades* . Obtenido de http://www.lis.edu.es/uploads/3a988433_39f0_42ed_b6b4_11b9fdbc7ca3.pdf

Vivanco, E. (s.f.). *Manual Técnico Sobre Tecnologías Biológicas Anaerobias Aplicadas al Tratamiento de Aguas y Residuos Industriales.* . Obtenido de http://www.cyted.org/es/biblioteca/manual-tecnico-sobre-tecnologias-biologicas-anaerobias-aplicadas-al-tratamiento-de-aguas

Anexos

Anexo 1. Tabla 2 Factor de emisión para municipios sin PTAR

Municipio sin PTAR	Año	B_0*	MCF_j**	EF_j
Boyacá	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Campohermoso	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Garagoa	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Guateque	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
La Capilla	2015	0,6	0,5	0,3

	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Pachavita	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Ramiriquí	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
San Luis de Gaceno	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Santa María	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Somondoco	2015	0,6	0,5	0,3

	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Sutatenza	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Tenza	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Tibaná	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Turmequé	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Ventaquemada	2015	0,6	0,5	0,3

	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Viracachá	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3
Úmbita	2015	0,6	0,5	0,3
	2016	0,6	0,5	0,3
	2017	0,6	0,5	0,3
	2018	0,6	0,5	0,3
	2019	0,6	0,5	0,3
	2020	0,6	0,5	0,3

*B_O= Capacidad máxima de producción de CH_4, Kg de CH_4/Kg de COD

*MCF_j= Factor corrector para el metano

Anexo 2. Tabla 3 Factor de emisión para municipios con PTAR

Municipio con PTAR	Año	$B_0{}^*$	MCF_j*	EF_j
Almeida	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Chivor	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Chinavita	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Ciénega	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Guayatá	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48

	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Jenesano	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Macanal	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48
Nuevo Colón	2015	0,6	0,8	0,48
	2016	0,6	0,8	0,48
	2017	0,6	0,8	0,48
	2018	0,6	0,8	0,48
	2019	0,6	0,8	0,48
	2020	0,6	0,8	0,48

*B_O= Capacidad máxima de producción de CH_4, Kg de CH_4/Kg de COD

*MCF_j= Factor corrector para el metano

Anexo 3. Tabla 4 Total de materia orgánica para municipios sin PTAR

Municipio sin PTAR	Año	P*	BOD**	Conversión g de DBO a Kg de DBO	Factor corrección	365	TOW Kg BOD/año
Boyacá	2015	704	40	0,001	1,25	365	12848
	2016	720	40	0,001	1,25	365	13140
	2017	739	40	0,001	1,25	365	13486,75
	2018	761	40	0,001	1,25	365	13888,25
	2019	777	40	0,001	1,25	365	14180,25
	2020	792	40	0,001	1,25	365	14454
Campohermoso	2015	739	40	0,001	1,25	365	13486,75
	2016	740	40	0,001	1,25	365	13505
	2017	748	40	0,001	1,25	365	13651
	2018	767	40	0,001	1,25	365	13997,75
	2019	783	40	0,001	1,25	365	14289,75
	2020	798	40	0,001	1,25	365	14563,5
Garagoa	2015	11939	40	0,001	1,25	365	217886,75
	2016	12071	40	0,001	1,25	365	220295,75
	2017	12199	40	0,001	1,25	365	222631,75
	2018	12358	40	0,001	1,25	365	225533,5
	2019	12619	40	0,001	1,25	365	230296,75
	2020	12859	40	0,001	1,25	365	234676,75
Guateque	2015	7476	40	0,001	1,25	365	136437
	2016	7585	40	0,001	1,25	365	138426,25
	2017	7524	40	0,001	1,25	365	137313
	2018	7631	40	0,001	1,25	365	139265,75
	2019	7691	40	0,001	1,25	365	140360,75
	2020	7767	40	0,001	1,25	365	141747,75
La Capilla	2015	979	40	0,001	1,25	365	17866,75
	2016	986	40	0,001	1,25	365	17994,5

	2017	996	40	0,001	1,25	365	18177
	2018	1012	40	0,001	1,25	365	18469
	2019	1026	40	0,001	1,25	365	18724,5
	2020	1041	40	0,001	1,25	365	18998,25
Pachavita	2015	500	40	0,001	1,25	365	9125
	2016	501	40	0,001	1,25	365	9143,25
	2017	502	40	0,001	1,25	365	9161,5
	2018	520	40	0,001	1,25	365	9490
	2019	524	40	0,001	1,25	365	9563
	2020	530	40	0,001	1,25	365	9672,5
Ramiriquí	2015	3913	40	0,001	1,25	365	71412,25
	2016	3957	40	0,001	1,25	365	72215,25
	2017	3998	40	0,001	1,25	365	72963,5
	2018	4053	40	0,001	1,25	365	73967,25
	2019	4134	40	0,001	1,25	365	75445,5
	2020	4210	40	0,001	1,25	365	76832,5
San Luis de Gaceno	2015	2339	40	0,001	1,25	365	42686,75
	2016	2368	40	0,001	1,25	365	43216
	2017	2404	40	0,001	1,25	365	43873
	2018	2444	40	0,001	1,25	365	44603
	2019	2441	40	0,001	1,25	365	44548,25
	2020	2450	40	0,001	1,25	365	44712,5
Santa María	2015	2191	40	0,001	1,25	365	39985,75
	2016	2144	40	0,001	1,25	365	39128
	2017	2095	40	0,001	1,25	365	38233,75
	2018	2107	40	0,001	1,25	365	38452,75
	2019	2078	40	0,001	1,25	365	37923,5
	2020	2068	40	0,001	1,25	365	37741
Somondoco	2015	639	40	0,001	1,25	365	11661,75
	2016	642	40	0,001	1,25	365	11716,5

	2017	646	40	0,001	1,25	365	11789,5
	2018	665	40	0,001	1,25	365	12136,25
	2019	657	40	0,001	1,25	365	11990,25
	2020	662	40	0,001	1,25	365	12081,5
Sutatenza	2015	697	40	0,001	1,25	365	12720,25
	2016	703	40	0,001	1,25	365	12829,75
	2017	708	40	0,001	1,25	365	12921
	2018	732	40	0,001	1,25	365	13359
	2019	739	40	0,001	1,25	365	13486,75
	2020	748	40	0,001	1,25	365	13651
Tenza	2015	1100	40	0,001	1,25	365	20075
	2016	1112	40	0,001	1,25	365	20294
	2017	1124	40	0,001	1,25	365	20513
	2018	1127	40	0,001	1,25	365	20567,75
	2019	1136	40	0,001	1,25	365	20732
	2020	1148	40	0,001	1,25	365	20951
Tibaná	2015	1664	40	0,001	1,25	365	30368
	2016	1683	40	0,001	1,25	365	30714,75
	2017	1709	40	0,001	1,25	365	31189,25
	2018	1729	40	0,001	1,25	365	31554,25
	2019	1749	40	0,001	1,25	365	31919,25
	2020	1770	40	0,001	1,25	365	32302,5
Turmequé	2015	2028	40	0,001	1,25	365	37011
	2016	2033	40	0,001	1,25	365	37102,25
	2017	2049	40	0,001	1,25	365	37394,25
	2018	2072	40	0,001	1,25	365	37814
	2019	2091	40	0,001	1,25	365	38160,75
	2020	2114	40	0,001	1,25	365	38580,5
Ventaquemada	2015	2241	40	0,001	1,25	365	40898,25
	2016	2274	40	0,001	1,25	365	41500,5

	2017	2311	40	0,001	1,25	365	42175,75
	2018	2345	40	0,001	1,25	365	42796,25
	2019	2417	40	0,001	1,25	365	44110,25
	2020	2479	40	0,001	1,25	365	45241,75
Viracachá	2015	414	40	0,001	1,25	365	7555,5
	2016	416	40	0,001	1,25	365	7592
	2017	417	40	0,001	1,25	365	7610,25
	2018	426	40	0,001	1,25	365	7774,5
	2019	423	40	0,001	1,25	365	7719,75
	2020	422	40	0,001	1,25	365	7701,5
Úmbita	2015	1025	40	0,001	1,25	365	18706,25
	2016	1018	40	0,001	1,25	365	18578,5
	2017	1018	40	0,001	1,25	365	18578,5
	2018	1019	40	0,001	1,25	365	18596,75
	2019	1041	40	0,001	1,25	365	18998,25
	2020	1060	40	0,001	1,25	365	19345

* P: Población (habitantes de la zona urbana del municipio)

**BOD: Demanda Bioquímica de Oxígeno (Biochemical Oxygen Demand por sus siglas en inglés)

Anexo 4. Tabla 5 Total de materia orgánica para municipios con PTAR

Municipio con PTAR	Año	P*	BOD**	Conversión g de DBO a Kg de DBO	Factor corrección	365	TOW Kg BOD/año
Almeida	2015	310	40	0,001	1,25	365	5657,5
	2016	312	40	0,001	1,25	365	5694
	2017	313	40	0,001	1,25	365	5712,25
	2018	321	40	0,001	1,25	365	5858,25
	2019	327	40	0,001	1,25	365	5967,75
	2020	333	40	0,001	1,25	365	6077,25
Chivor	2015	755	40	0,001	1,25	365	13778,75
	2016	724	40	0,001	1,25	365	13213
	2017	661	40	0,001	1,25	365	12063,25
	2018	681	40	0,001	1,25	365	12428,25
	2019	684	40	0,001	1,25	365	12483
	2020	685	40	0,001	1,25	365	12501,25
Chinavita	2015	1184	40	0,001	1,25	365	21608
	2016	1202	40	0,001	1,25	365	21936,5
	2017	1218	40	0,001	1,25	365	22228,5
	2018	1231	40	0,001	1,25	365	22465,75
	2019	1234	40	0,001	1,25	365	22520,5
	2020	1242	40	0,001	1,25	365	22666,5
Ciénega	2015	1168	40	0,001	1,25	365	21316
	2016	1181	40	0,001	1,25	365	21553,25
	2017	1194	40	0,001	1,25	365	21790,5
	2018	1207	40	0,001	1,25	365	22027,75
	2019	1233	40	0,001	1,25	365	22502,25
	2020	1256	40	0,001	1,25	365	22922
Guayatá	2015	1091	40	0,001	1,25	365	19910,75
	2016	1104	40	0,001	1,25	365	20148

	2017	1109	40	0,001	1,25	365	20239,25
	2018	1117	40	0,001	1,25	365	20385,25
	2019	1125	40	0,001	1,25	365	20531,25
	2020	1138	40	0,001	1,25	365	20768,5
Jenesano	2015	1632	40	0,001	1,25	365	29784
	2016	1651	40	0,001	1,25	365	30130,75
	2017	1675	40	0,001	1,25	365	30568,75
	2018	1696	40	0,001	1,25	365	30952
	2019	1738	40	0,001	1,25	365	31718,5
	2020	1777	40	0,001	1,25	365	32430,25
Macanal	2015	1086	40	0,001	1,25	365	19819,5
	2016	1110	40	0,001	1,25	365	20257,5
	2017	1123	40	0,001	1,25	365	20494,75
	2018	1134	40	0,001	1,25	365	20695,5
	2019	1161	40	0,001	1,25	365	21188,25
	2020	1186	40	0,001	1,25	365	21644,5
Nuevo Colón	2015	968	40	0,001	1,25	365	17666
	2016	975	40	0,001	1,25	365	17793,75
	2017	983	40	0,001	1,25	365	17939,75
	2018	993	40	0,001	1,25	365	18122,25
	2019	1018	40	0,001	1,25	365	18578,5
	2020	1041	40	0,001	1,25	365	18998,25

* P: Población (habitantes de la zona urbana del municipio)

**BOD: Demanda Bioquímica de Oxígeno (Biochemical Oxygen Demand por sus siglas en inglés)

Anexo 5. Tabla 6 Emisiones de metano para municipios sin PTAR

Municipio sin PTAR	Año	TOW*	S**	U_i***	T_{ij}****	E_{fj}*****	R******	Kg de metano
Boyacá	2015	12848	0	0,2	0,8	0,3	0	**616,704**
	2016	13140	0	0,2	0,8	0,3	0	**630,72**
	2017	13486,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**647,364**
	2018	13888,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**666,636**
	2019	14180,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**680,652**
	2020	14454	0	0,2	0,8	0,3	0	**693,792**
Campohermoso	2015	13486,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**647,364**
	2016	13505	0	0,2	0,8	0,3	0	**648,24**
	2017	13651	0	0,2	0,8	0,3	0	**655,248**
	2018	13997,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**671,892**
	2019	14289,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**685,908**
	2020	14563,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**699,048**
Garagoa	2015	217886,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**10458,564**
	2016	220295,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**10574,196**
	2017	222631,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**10686,324**
	2018	225533,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**10825,608**
	2019	230296,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**11054,244**
	2020	234676,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**11264,484**
Guateque	2015	136437	0	0,2	0,8	0,3	0	**6548,976**
	2016	138426,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**6644,46**
	2017	137313	0	0,2	0,8	0,3	0	**6591,024**
	2018	139265,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**6684,756**
	2019	140360,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**6737,316**
	2020	141747,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**6803,892**
La Capilla	2015	17866,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**857,604**
	2016	17994,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**863,736**
	2017	18177	0	0,2	0,8	0,3	0	**872,496**

	2018	18469	0	0,2	0,8	0,3	0	**886,512**
	2019	18724,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**898,776**
	2020	18998,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**911,916**
Pachavita	2015	9125	0	0,2	0,8	0,3	0	**438**
	2016	9143,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**438,876**
	2017	9161,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**439,752**
	2018	9490	0	0,2	0,8	0,3	0	**455,52**
	2019	9563	0	0,2	0,8	0,3	0	**459,024**
	2020	9672,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**464,28**
Ramiriquí	2015	71412,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**3427,788**
	2016	72215,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**3466,332**
	2017	72963,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**3502,248**
	2018	73967,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**3550,428**
	2019	75445,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**3621,384**
	2020	76832,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**3687,96**
San Luis de Gaceno	2015	42686,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**2048,964**
	2016	43216	0	0,2	0,8	0,3	0	**2074,368**
	2017	43873	0	0,2	0,8	0,3	0	**2105,904**
	2018	44603	0	0,2	0,8	0,3	0	**2140,944**
	2019	44548,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**2138,316**
	2020	44712,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**2146,2**
Santa María	2015	39985,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**1919,316**
	2016	39128	0	0,2	0,8	0,3	0	**1878,144**
	2017	38233,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**1835,22**
	2018	38452,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**1845,732**
	2019	37923,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**1820,328**
	2020	37741	0	0,2	0,8	0,3	0	**1811,568**
Somondoco	2015	11661,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**559,764**
	2016	11716,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**562,392**
	2017	11789,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**565,896**

	2018	12136,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**582,54**
	2019	11990,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**575,532**
	2020	12081,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**579,912**
Sutatenza	2015	12720,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**610,572**
	2016	12829,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**615,828**
	2017	12921	0	0,2	0,8	0,3	0	**620,208**
	2018	13359	0	0,2	0,8	0,3	0	**641,232**
	2019	13486,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**647,364**
	2020	13651	0	0,2	0,8	0,3	0	**655,248**
Tenza	2015	20075	0	0,2	0,8	0,3	0	**963,6**
	2016	20294	0	0,2	0,8	0,3	0	**974,112**
	2017	20513	0	0,2	0,8	0,3	0	**984,624**
	2018	20567,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**987,252**
	2019	20732	0	0,2	0,8	0,3	0	**995,136**
	2020	20951	0	0,2	0,8	0,3	0	**1005,648**
Tibaná	2015	30368	0	0,2	0,8	0,3	0	**1457,664**
	2016	30714,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**1474,308**
	2017	31189,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**1497,084**
	2018	31554,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**1514,604**
	2019	31919,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**1532,124**
	2020	32302,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**1550,52**
Turmequé	2015	37011	0	0,2	0,8	0,3	0	**1776,528**
	2016	37102,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**1780,908**
	2017	37394,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**1794,924**
	2018	37814	0	0,2	0,8	0,3	0	**1815,072**
	2019	38160,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**1831,716**
	2020	38580,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**1851,864**
Ventaquemada	2015	40898,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**1963,116**
	2016	41500,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**1992,024**
	2017	42175,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**2024,436**

	2018	42796,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**2054,22**
	2019	44110,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**2117,292**
	2020	45241,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**2171,604**
Viracachá	2015	7555,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**362,664**
	2016	7592	0	0,2	0,8	0,3	0	**364,416**
	2017	7610,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**365,292**
	2018	7774,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**373,176**
	2019	7719,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**370,548**
	2020	7701,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**369,672**
Úmbita	2015	18706,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**897,9**
	2016	18578,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**891,768**
	2017	18578,5	0	0,2	0,8	0,3	0	**891,768**
	2018	18596,75	0	0,2	0,8	0,3	0	**892,644**
	2019	18998,25	0	0,2	0,8	0,3	0	**911,916**
	2020	19345	0	0,2	0,8	0,3	0	**928,56**

*TOW: Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO/año

**S = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg de BOD/año

***U_i= Fracción de la población del grupo de ingresos i en el año de inventario

****T_{ij}= Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario

*****EF_j= Factor de emisión, kg. de CH_4/Kg de BOD

******R= Cantidad de CH_4 recuperada durante el año del inventario, kg de CH_4/año

Anexo 6. Tabla 7 Emisiones de metano para municipios con PTAR

Municipio con PTAR	Año	TOW*	S**	U_i***	T_{ij}****	E_{fj}*****	R******	Kg de metano
Almeida	2015	5657,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**434,496**
	2016	5694	0	0,2	0,8	0,48	0	**437,2992**
	2017	5712,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**438,7008**
	2018	5858,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**449,9136**
	2019	5967,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**458,3232**
	2020	6077,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**466,7328**
Chivor	2015	13778,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1058,208**
	2016	13213	0	0,2	0,8	0,48	0	**1014,7584**
	2017	12063,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**926,4576**
	2018	12428,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**954,4896**
	2019	12483	0	0,2	0,8	0,48	0	**958,6944**
	2020	12501,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**960,096**
Chinavita	2015	21608	0	0,2	0,8	0,48	0	**1659,4944**
	2016	21936,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1684,7232**
	2017	22228,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1707,1488**
	2018	22465,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1725,3696**
	2019	22520,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1729,5744**
	2020	22666,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1740,7872**
Ciénega	2015	21316	0	0,2	0,8	0,48	0	**1637,0688**
	2016	21553,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1655,2896**
	2017	21790,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1673,5104**
	2018	22027,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1691,7312**
	2019	22502,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1728,1728**
	2020	22922	0	0,2	0,8	0,48	0	**1760,4096**
Guayatá	2015	19910,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1529,1456**
	2016	20148	0	0,2	0,8	0,48	0	**1547,3664**
	2017	20239,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1554,3744**

	2018	20385,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1565,5872**
	2019	20531,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1576,8**
	2020	20768,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1595,0208**
Jenesano	2015	29784	0	0,2	0,8	0,48	0	**2287,4112**
	2016	30130,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**2314,0416**
	2017	30568,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**2347,68**
	2018	30952	0	0,2	0,8	0,48	0	**2377,1136**
	2019	31718,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**2435,9808**
	2020	32430,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**2490,6432**
Macanal	2015	19819,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1522,1376**
	2016	20257,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1555,776**
	2017	20494,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1573,9968**
	2018	20695,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1589,4144**
	2019	21188,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1627,2576**
	2020	21644,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1662,2976**
Nuevo Colón	2015	17666	0	0,2	0,8	0,48	0	**1356,7488**
	2016	17793,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1366,56**
	2017	17939,75	0	0,2	0,8	0,48	0	**1377,7728**
	2018	18122,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1391,7888**
	2019	18578,5	0	0,2	0,8	0,48	0	**1426,8288**
	2020	18998,25	0	0,2	0,8	0,48	0	**1459,0656**

*TOW: Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO/año

**S = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg de BOD/año

***U_i= Fracción de la población del grupo de ingresos i en el año de inventario

****T_{ij}= Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario

*****EF_j= Factor de emisión, kg. de CH_4/Kg de BOD

******R= Cantidad de CH_4 recuperada durante el año del inventario, kg de CH_4/año

Anexo 7. Tabla 8 Nitrógeno total en los efluentes para municipios sin PTAR

Municipio sin PTAR	Año	P	Proteína	F_{NPR} *	$F_{NON-CON}$ **	$F_{IND-COM}$ ***	N_{LODO} ****	$N_{efluente}$
Boyacá	2015	704	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3670,656
	2016	720	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3754,08
	2017	739	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3853,146
	2018	761	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3967,854
	2019	777	23,7	0,16	1,1	1,25	0	4051,278
	2020	792	23,7	0,16	1,1	1,25	0	4129,488
Campohermoso	2015	739	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3853,146
	2016	740	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3858,36
	2017	748	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3900,072
	2018	767	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3999,138
	2019	783	23,7	0,16	1,1	1,25	0	4082,562
	2020	798	23,7	0,16	1,1	1,25	0	4160,772
Garagoa	2015	11939	23,7	0,16	1,1	1,25	0	62249,946
	2016	12071	23,7	0,16	1,1	1,25	0	62938,194
	2017	12199	23,7	0,16	1,1	1,25	0	63605,586
	2018	12358	23,7	0,16	1,1	1,25	0	64434,612
	2019	12619	23,7	0,16	1,1	1,25	0	65795,466
	2020	12859	23,7	0,16	1,1	1,25	0	67046,826
Guateque	2015	7476	23,7	0,16	1,1	1,25	0	38979,864
	2016	7585	23,7	0,16	1,1	1,25	0	39548,19
	2017	7524	23,7	0,16	1,1	1,25	0	39230,136
	2018	7631	23,7	0,16	1,1	1,25	0	39788,034
	2019	7691	23,7	0,16	1,1	1,25	0	40100,874
	2020	7767	23,7	0,16	1,1	1,25	0	40497,138
La Capilla	2015	979	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5104,506
	2016	986	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5141,004

	2017	996	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5193,144
	2018	1012	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5276,568
	2019	1026	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5349,564
	2020	1041	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5427,774
Pachavita	2015	500	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2607
	2016	501	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2612,214
	2017	502	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2617,428
	2018	520	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2711,28
	2019	524	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2732,136
	2020	530	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2763,42
Ramiriquí	2015	3913	23,7	0,16	1,1	1,25	0	20402,382
	2016	3957	23,7	0,16	1,1	1,25	0	20631,798
	2017	3998	23,7	0,16	1,1	1,25	0	20845,572
	2018	4053	23,7	0,16	1,1	1,25	0	21132,342
	2019	4134	23,7	0,16	1,1	1,25	0	21554,676
	2020	4210	23,7	0,16	1,1	1,25	0	21950,94
San Luis de Gaceno	2015	2339	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12195,546
	2016	2368	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12346,752
	2017	2404	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12534,456
	2018	2444	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12743,016
	2019	2441	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12727,374
	2020	2450	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12774,3
Santa María	2015	2191	23,7	0,16	1,1	1,25	0	11423,874
	2016	2144	23,7	0,16	1,1	1,25	0	11178,816
	2017	2095	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10923,33
	2018	2107	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10985,898
	2019	2078	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10834,692
	2020	2068	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10782,552
Somondoco	2015	639	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3331,746
	2016	642	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3347,388

	2017	646	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3368,244
	2018	665	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3467,31
	2019	657	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3425,598
	2020	662	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3451,668
Sutatenza	2015	697	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3634,158
	2016	703	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3665,442
	2017	708	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3691,512
	2018	732	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3816,648
	2019	739	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3853,146
	2020	748	23,7	0,16	1,1	1,25	0	3900,072
Tenza	2015	1100	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5735,4
	2016	1112	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5797,968
	2017	1124	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5860,536
	2018	1127	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5876,178
	2019	1136	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5923,104
	2020	1148	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5985,672
Tibaná	2015	1664	23,7	0,16	1,1	1,25	0	8676,096
	2016	1683	23,7	0,16	1,1	1,25	0	8775,162
	2017	1709	23,7	0,16	1,1	1,25	0	8910,726
	2018	1729	23,7	0,16	1,1	1,25	0	9015,006
	2019	1749	23,7	0,16	1,1	1,25	0	9119,286
	2020	1770	23,7	0,16	1,1	1,25	0	9228,78
Turmequé	2015	2028	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10573,992
	2016	2033	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10600,062
	2017	2049	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10683,486
	2018	2072	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10803,408
	2019	2091	23,7	0,16	1,1	1,25	0	10902,474
	2020	2114	23,7	0,16	1,1	1,25	0	11022,396
Ventaquemada	2015	2241	23,7	0,16	1,1	1,25	0	11684,574
	2016	2274	23,7	0,16	1,1	1,25	0	11856,636

	2017	2311	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12049,554
	2018	2345	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12226,83
	2019	2417	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12602,238
	2020	2479	23,7	0,16	1,1	1,25	0	12925,506
Viracachá	2015	414	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2158,596
	2016	416	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2169,024
	2017	417	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2174,238
	2018	426	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2221,164
	2019	423	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2205,522
	2020	422	23,7	0,16	1,1	1,25	0	2200,308
Úmbita	2015	1025	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5344,35
	2016	1018	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5307,852
	2017	1018	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5307,852
	2018	1019	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5313,066
	2019	1041	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5427,774
	2020	1060	23,7	0,16	1,1	1,25	0	5526,84

*F_{NPR}= Fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16 kg de N/kg de proteína

**$F_{NON-CON}$= Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

***$F_{IND-COM}$= Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

****N_{LODO}= Nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg de N/año

Anexo 8. Tabla 9 Nitrógeno total en los efluentes para municipios con PTAR

Municipio con PTAR	Año	P	Proteína	F_{NPR} *	$F_{NON-CON}$ **	$F_{IND-COM}$ ***	N_{LODO} ****	$N_{efluente}$
Almeida	2015	5657,5	0	0,2	0,8	0,48	0	434,496
	2016	5694	0	0,2	0,8	0,48	0	437,2992
	2017	5712,25	0	0,2	0,8	0,48	0	438,7008
	2018	5858,25	0	0,2	0,8	0,48	0	449,9136
	2019	5967,75	0	0,2	0,8	0,48	0	458,3232
	2020	6077,25	0	0,2	0,8	0,48	0	466,7328
Chivor	2015	13778,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1058,208
	2016	13213	0	0,2	0,8	0,48	0	1014,7584
	2017	12063,25	0	0,2	0,8	0,48	0	926,4576
	2018	12428,25	0	0,2	0,8	0,48	0	954,4896
	2019	12483	0	0,2	0,8	0,48	0	958,6944
	2020	12501,25	0	0,2	0,8	0,48	0	960,096
Chinavita	2015	21608	0	0,2	0,8	0,48	0	1659,4944
	2016	21936,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1684,7232
	2017	22228,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1707,1488
	2018	22465,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1725,3696
	2019	22520,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1729,5744
	2020	22666,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1740,7872
Ciénega	2015	21316	0	0,2	0,8	0,48	0	1637,0688
	2016	21553,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1655,2896
	2017	21790,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1673,5104
	2018	22027,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1691,7312
	2019	22502,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1728,1728
	2020	22922	0	0,2	0,8	0,48	0	1760,4096
Guayatá	2015	19910,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1529,1456
	2016	20148	0	0,2	0,8	0,48	0	1547,3664

	2017	20239,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1554,3744
	2018	20385,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1565,5872
	2019	20531,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1576,8
	2020	20768,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1595,0208
Jenesano	2015	29784	0	0,2	0,8	0,48	0	2287,4112
	2016	30130,75	0	0,2	0,8	0,48	0	2314,0416
	2017	30568,75	0	0,2	0,8	0,48	0	2347,68
	2018	30952	0	0,2	0,8	0,48	0	2377,1136
	2019	31718,5	0	0,2	0,8	0,48	0	2435,9808
	2020	32430,25	0	0,2	0,8	0,48	0	2490,6432
Macanal	2015	19819,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1522,1376
	2016	20257,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1555,776
	2017	20494,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1573,9968
	2018	20695,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1589,4144
	2019	21188,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1627,2576
	2020	21644,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1662,2976
Nuevo Colón	2015	17666	0	0,2	0,8	0,48	0	1356,7488
	2016	17793,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1366,56
	2017	17939,75	0	0,2	0,8	0,48	0	1377,7728
	2018	18122,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1391,7888
	2019	18578,5	0	0,2	0,8	0,48	0	1426,8288
	2020	18998,25	0	0,2	0,8	0,48	0	1459,0656

*F_{NPR}= Fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16 kg de N/kg de proteína

**$F_{NON-CON}$= Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

***$F_{IND-COM}$= Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

****N_{LODO}= Nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg de N/año

Anexo 9. Tabla 10 Emisiones de N_2O para municipios sin PTAR

Municipio sin PTAR	Año	$N_{EFLUENTE}$ *	$EF_{EFLUENTE}$ **	Emisiones N_2O
Boyacá	2015	3670,656	0,005	28,84
	2016	3754,08	0,005	29,50
	2017	3853,146	0,005	30,27
	2018	3967,854	0,005	31,18
	2019	4051,278	0,005	31,83
	2020	4129,488	0,005	32,45
Campohermoso	2015	3853,146	0,005	30,27
	2016	3858,36	0,005	30,32
	2017	3900,072	0,005	30,64
	2018	3999,138	0,005	31,42
	2019	4082,562	0,005	32,08
	2020	4160,772	0,005	32,69
Garagoa	2015	62249,946	0,005	489,11
	2016	62938,194	0,005	494,51
	2017	63605,586	0,005	499,76
	2018	64434,612	0,005	506,27
	2019	65795,466	0,005	516,96
	2020	67046,826	0,005	526,80
Guateque	2015	38979,864	0,005	306,27
	2016	39548,19	0,005	310,74
	2017	39230,136	0,005	308,24
	2018	39788,034	0,005	312,62
	2019	40100,874	0,005	315,08
	2020	40497,138	0,005	318,19
La Capilla	2015	5104,506	0,005	40,11
	2016	5141,004	0,005	40,39
	2017	5193,144	0,005	40,80

	2018	5276,568	0,005	41,46
	2019	5349,564	0,005	42,03
	2020	5427,774	0,005	42,65
Pachavita	2015	2607	0,005	20,48
	2016	2612,214	0,005	20,52
	2017	2617,428	0,005	20,57
	2018	2711,28	0,005	21,30
	2019	2732,136	0,005	21,47
	2020	2763,42	0,005	21,71
Ramiriquí	2015	20402,382	0,005	160,30
	2016	20631,798	0,005	162,11
	2017	20845,572	0,005	163,79
	2018	21132,342	0,005	166,04
	2019	21554,676	0,005	169,36
	2020	21950,94	0,005	172,47
San Luis de Gaceno	2015	12195,546	0,005	95,82
	2016	12346,752	0,005	97,01
	2017	12534,456	0,005	98,49
	2018	12743,016	0,005	100,12
	2019	12727,374	0,005	100,00
	2020	12774,3	0,005	100,37
Santa María	2015	11423,874	0,005	89,76
	2016	11178,816	0,005	87,83
	2017	10923,33	0,005	85,83
	2018	10985,898	0,005	86,32
	2019	10834,692	0,005	85,13
	2020	10782,552	0,005	84,72
Somondoco	2015	3331,746	0,005	26,18
	2016	3347,388	0,005	26,30
	2017	3368,244	0,005	26,46

	2018	3467,31	0,005	27,24
	2019	3425,598	0,005	26,92
	2020	3451,668	0,005	27,12
Sutatenza	2015	3634,158	0,005	28,55
	2016	3665,442	0,005	28,80
	2017	3691,512	0,005	29,00
	2018	3816,648	0,005	29,99
	2019	3853,146	0,005	30,27
	2020	3900,072	0,005	30,64
Tenza	2015	5735,4	0,005	45,06
	2016	5797,968	0,005	45,56
	2017	5860,536	0,005	46,05
	2018	5876,178	0,005	46,17
	2019	5923,104	0,005	46,54
	2020	5985,672	0,005	47,03
Tibaná	2015	8676,096	0,005	68,17
	2016	8775,162	0,005	68,95
	2017	8910,726	0,005	70,01
	2018	9015,006	0,005	70,83
	2019	9119,286	0,005	71,65
	2020	9228,78	0,005	72,51
Turmequé	2015	10573,992	0,005	83,08
	2016	10600,062	0,005	83,29
	2017	10683,486	0,005	83,94
	2018	10803,408	0,005	84,88
	2019	10902,474	0,005	85,66
	2020	11022,396	0,005	86,60
Ventaquemada	2015	11684,574	0,005	91,81
	2016	11856,636	0,005	93,16
	2017	12049,554	0,005	94,68

	2018	12226,83	0,005	96,07
	2019	12602,238	0,005	99,02
	2020	12925,506	0,005	101,56
Viracachá	2015	2158,596	0,005	16,96
	2016	2169,024	0,005	17,04
	2017	2174,238	0,005	17,08
	2018	2221,164	0,005	17,45
	2019	2205,522	0,005	17,33
	2020	2200,308	0,005	17,29
Úmbita	2015	5344,35	0,005	41,99
	2016	5307,852	0,005	41,70
	2017	5307,852	0,005	41,70
	2018	5313,066	0,005	41,75
	2019	5427,774	0,005	42,65
	2020	5526,84	0,005	43,43

*$N_{EFLUENTE}$ = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/ año

**$EF_{EFLUENTE}$= Factor de emisión para las emisiones de N_2O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg de N_2O/kg de N

Anexo 10. Tabla 11 Emisiones de N_2O para municipios con PTAR

Municipio con PTAR	Año	$N_{EFLUENTE}$*	$EF_{EFLUENTE}$**	Emisiones N_2O
Almeida	2015	1616,34	0,005	12,70
	2016	1626,768	0,005	12,78
	2017	1631,982	0,005	12,82
	2018	1673,694	0,005	13,15
	2019	1704,978	0,005	13,40
	2020	1736,262	0,005	13,64
Chivor	2015	3936,57	0,005	30,93
	2016	3774,936	0,005	29,66
	2017	3446,454	0,005	27,08
	2018	3550,734	0,005	27,90
	2019	3566,376	0,005	28,02
	2020	3571,59	0,005	28,06
Chinavita	2015	6173,376	0,005	48,51
	2016	6267,228	0,005	49,24
	2017	6350,652	0,005	49,90
	2018	6418,434	0,005	50,43
	2019	6434,076	0,005	50,55
	2020	6475,788	0,005	50,88
Ciénega	2015	6089,952	0,005	47,85
	2016	6157,734	0,005	48,38
	2017	6225,516	0,005	48,91
	2018	6293,298	0,005	49,45
	2019	6428,862	0,005	50,51
	2020	6548,784	0,005	51,45
Guayatá	2015	5688,474	0,005	44,70
	2016	5756,256	0,005	45,23
	2017	5782,326	0,005	45,43

	2018	5824,038	0,005	45,76
	2019	5865,75	0,005	46,09
	2020	5933,532	0,005	46,62
Jenesano	2015	8509,248	0,005	66,86
	2016	8608,314	0,005	67,64
	2017	8733,45	0,005	68,62
	2018	8842,944	0,005	69,48
	2019	9061,932	0,005	71,20
	2020	9265,278	0,005	72,80
Macanal	2015	5662,404	0,005	44,49
	2016	5787,54	0,005	45,47
	2017	5855,322	0,005	46,01
	2018	5912,676	0,005	46,46
	2019	6053,454	0,005	47,56
	2020	6183,804	0,005	48,59
Nuevo Colón	2015	5047,152	0,005	39,66
	2016	5083,65	0,005	39,94
	2017	5125,362	0,005	40,27
	2018	5177,502	0,005	40,68
	2019	5307,852	0,005	41,70
	2020	5427,774	0,005	42,65

*$N_{EFLUENTE}$ = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/ año

**$EF_{EFLUENTE}$= Factor de emisión para las emisiones de N_2O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg de N_2O/kg de N