

Proyecto edificaciones neto cero-carbono

Línea base de emisiones GEI de las edificaciones en Colombia



Bogotá, archivo Hill

Mayo 14, 2022

Preparado por



Proyecto edificaciones neto cero-carbono

Línea base de emisiones GEI de las edificaciones en Colombia

Autores:

Mónica Espinosa - Hill
José Guevara - Uniandes
John Salazar - Uniandes
Felipe Rivera - Hill
Juan F. Franco - Hill

Contenido

1.	Introducción	1
2.	Marco de referencia para el análisis de emisiones GEI de las edificaciones.....	2
2.1.	Enfoque de ciclo de vida del proyecto AENCC.....	2
2.2.	Etapas del ciclo de vida de las edificaciones.....	2
2.3.	Supuestos transversales	4
3.	Metodología para estimación de emisiones GEI.....	5
3.1.	Proyección de demanda de construcción de edificaciones.....	5
3.1.1.	Sector residencial	5
3.1.2.	Sector terciario.....	10
3.2.	Cuantías de materiales por técnica constructiva.....	11
3.2.1.	Cuantías de materiales de edificaciones formales	11
3.2.2.	Cuantías de materiales de edificaciones informales.....	13
3.3.	Emisiones de CO ₂ eq asociadas a los materiales	14
3.4.	Emisiones de CO ₂ eq por proceso de construcción	15
3.5.	Aproximación a las emisiones de CO ₂ eq por reparaciones, reemplazos y remodelaciones	17
3.6.	Emisiones de CO ₂ eq por operación de las edificaciones	19
3.6.1.	Consumo de electricidad del sector residencial	21
3.6.2.	Consumo de gas natural del sector residencial	24
3.6.3.	Consumo de agua del sector residencial	27
3.6.4.	Consumo de energía y agua en sectores no residenciales	30
3.6.5.	Resultados en emisiones GEI por operación de las edificaciones: residencial y no residencial	31
3.7.	Aproximación a las emisiones de CO ₂ eq por deconstrucción y fin de vida útil	33
4.	Resultados de línea base de emisiones GEI	35
4.1.	Línea base nacional	35
4.2.	Línea base para Bogotá y Cali	40
4.3.	Comparación de la línea base de emisiones GEI de las edificaciones y la línea base total nacional	44
5.	Mensajes finales y próximos pasos.....	45
	Referencias.....	47
	Anexos.....	49
	Anexo 1. Modelo Arima.....	49

Anexo 2. Proyección de viviendas a nivel nacional.....	50
Anexo 3. Proyección de viviendas por estrato.....	51
Anexo 4. Proyección de viviendas por método constructivo.....	54
Anexo 5. Sistemas constructivos.	56
Anexo 6. Participación de viviendas en Colombia, Bogotá y Cali por prototipo.	57
Anexo 7. Proyección del sector no residencial.	59
Anexo 8. Consideraciones sobre análisis GEI de los materiales.....	63
Anexo 9. Análisis sobre consumo de electricidad y gas natural para uso residencial.....	64
Anexo 10. Análisis sobre consumo de electricidad por estrato, ciudad y clima.	65
Anexo 11. Análisis sobre consumo de gas natural por estrato, ciudad y clima.	77
Anexo 12. Análisis sobre consumo de agua por estrato, ciudad y clima.	88

Lista de tablas

Tabla 1. Categorías del ciclo de vida de las edificaciones y áreas de intervención propuestas en el marco de referencia del proyecto AENCC.	2
Tabla 2. Etapas y módulos del ciclo de vida del estándar europeo EN 15978:2011 y relación con las incluidas en el análisis de línea base.	3
Tabla 3. Relación entre categorías del ciclo de vida de las edificaciones y áreas de intervención propuestas en el marco de referencia del proyecto AENCC y estándar EN 15978:2011.	3
Tabla 4. Factores de emisión de los energéticos colombianos.	4
Tabla 5. Número de viviendas proyectadas a nivel Nacional, Bogotá y Cali.	5
Tabla 6. Área construida a nivel nacional 1957-2020.	10
Tabla 7. Área en proceso de construcción a nivel nacional 2020.	10
Tabla 8. Área total construida, en proceso y paralizada 1957- 2020.	10
Tabla 9. Área construida por sector a nivel nacional, Bogotá y Cali a 2020.	11
Tabla 10. Cantidades de material de obra por prototipo de vivienda formal.	12
Tabla 11. Porcentaje de uso de los distintos prototipos de vivienda.	12
Tabla 12. Cantidades de material de obra por prototipo de vivienda informal.	13
Tabla 13. Coeficiente de carbono incorporado de los materiales de construcción considerados en el estudio.	14
Tabla 14. Escenarios de transporte de materiales considerados.	16
Tabla 15. Coeficientes de carbono según el tipo de transporte.	16
Tabla 16. Emisiones asociadas al transporte según escenario.	16
Tabla 17. Consumos de combustibles y energía eléctrica según sistema constructivo.	17
Tabla 18. Consideraciones sobre la vida útil de los componentes incluidos dentro del análisis.	18
Tabla 19. Consideraciones sobre el reemplazo de materiales durante el uso de la edificación.	18
Tabla 20. Consumo operación subsectores no residenciales.	31

Lista de figuras

Figura 1. Distribución de viviendas nacionales por estratos 2012-2020.	6
Figura 2. Distribución de viviendas nacionales por estratos 2020-2050.	7
Figura 3. Distribución de viviendas por sistema constructivo 2012-2020.	8
Figura 4. Distribución viviendas por sistema constructivo 2020-2050.	8
Figura 5. Proporción de viviendas informales según región.	9
Figura 6. Proyección de edificaciones no residenciales por subsector 2020-2050.	11
Figura 7. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de producto en Colombia según el tipo de material - Escenario punto medio (2020-2050).	15
Figura 8. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de proceso de construcción en Colombia - Escenario punto medio (2020-2050).	17
Figura 9. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de proceso de reemplazo de materiales en Colombia - Escenario punto medio (2020-2050).	19
Figura 10. Distribución de municipios por clima.	20
Figura 11. Consumo promedio anual de electricidad por estrato y clima.	22
Figura 12. Consumo promedio anual de electricidad por estrato para Cali y Bogotá.	23
Figura 13. Consumo promedio de electricidad por estrato a nivel nacional.	24

Figura 14. Consumo promedio anual de gas natural por vivienda, estrato y clima.	25
Figura 15. Consumo promedio anual de gas natural por vivienda y estrato para Cali y Bogotá.....	26
Figura 16. Consumo promedio de gas natural por vivienda y estrato a nivel nacional.	26
Figura 17. Consumo promedio anual de agua por estrato y clima.	28
Figura 18. Consumo promedio anual de agua por estrato para Cali y Bogotá.	29
Figura 19. Consumo promedio de agua por estrato nacional.	30
Figura 20. Proyección de emisiones GEI asociadas a la operación a nivel nacional (2020-2050).....	32
Figura 21. Proyección de emisiones GEI asociadas a la operación en Bogotá (2020-2050).	33
Figura 22. Proyección de emisiones GEI asociadas a la operación en Cali (2020-2050).....	33
Figura 23. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de proceso de deconstrucción en Colombia - Escenario punto medio (2020-2050).....	34
Figura 24. Proyección de emisiones GEI en Colombia bajo el escenario punto medio (2020-2050) Fuente: elaboración propia.	36
Figura 25. Proyección de emisiones GEI en Colombia según tipo de fuente y segmento edilicio bajo el escenario punto medio (2020-2050).....	37
Figura 26. Proyección de emisiones GEI en Colombia de edificaciones bajo el escenario punto medio (2020-2050).....	38
Figura 27. Proyección de emisiones GEI en Colombia según escenario (2020-2050)	39
Figura 28. Proyección de emisiones GEI en Bogotá según tipo de fuente y segmento edilicio bajo el escenario punto medio (2020-2050).....	41
Figura 29. Proyección de emisiones GEI en Cali según tipo de fuente y segmento edilicio bajo el escenario punto medio (2020-2050).	42
Figura 30. Proyección de emisiones GEI en Bogotá y Cali según escenario (2020-2050).....	43
Figura 31. Emisiones GEI de las edificaciones y total nacional (2020-2050).....	44

1. Introducción

En este documento se presenta la estimación de línea base de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) del sector de edificaciones en Colombia. El objetivo de la estimación del escenario de línea base de emisiones GEI es conocer el aporte que tienen diferentes procesos y etapas de ciclo de vida de las edificaciones en las emisiones del sector, y así empezar a identificar en dónde están las oportunidades para reducir las emisiones. El escenario de línea base es la referencia respecto a la cual se evalúa el potencial de mitigación de emisiones GEI de diferentes acciones para reducir emisiones. Se desarrolló un escenario de línea base a nivel nacional, y también se estimaron las líneas base de emisiones GEI para las edificaciones de Bogotá y Cali.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: En la **Sección 2** se presenta el marco de referencia para el análisis de las emisiones GEI de las edificaciones. En la **Sección 3** se presenta la metodología y los supuestos que se utilizaron para estimar las emisiones GEI de cada una de las etapas del ciclo de vida de las edificaciones¹. En esta misma sección se presentan resultados intermedios de los análisis desarrollados. En la **Sección 4** se muestran los resultados de emisiones GEI para la línea base de las edificaciones a nivel nacional, para Bogotá y Cali. En la **Sección 5** se presentan mensajes finales sobre el ejercicio de estimación de emisiones GEI de las edificaciones en Colombia.

Este análisis hace parte de los insumos técnicos para la definición de la Hoja de Ruta del Proyecto Acelerador Edificaciones Neto Cero Carbono (AENCC) para Colombia liderado por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.

¹**Nota sobre uso de datos de Ecoinvent:** Para el desarrollo de los análisis, entre otras fuentes de información, se utilizaron datos publicados por la Asociación Ecoinvent a través del Programa Sustainable Recycling Industries (SRI) que es financiado por la Secretaría de Estado de Asuntos Económicos de Suiza (SECO).

2. Marco de referencia para el análisis de emisiones GEI de las edificaciones

2.1. Enfoque de ciclo de vida del proyecto AENCC

Como parte del proyecto Acelerador de Edificaciones Neto Cero Carbono (AENCC) de Colombia se generó un marco de análisis para las emisiones GEI de las edificaciones (CCCS 2021). Lo anterior, como un proceso de construcción y validación dentro del Comité Asesor del Proyecto conformado por Minvivienda, Minambiente, DNP, Minenergía y Camacol.

En la definición adoptada para Colombia de edificaciones neto cero-carbono, se seleccionaron seis categorías del ciclo de vida, a su vez relacionadas con actividades en ocho áreas de intervención (ver Tabla 1). Estas categorías del ciclo de vida y sus áreas de intervención se reflejan en la estimación de la línea base de emisiones GEI que se presenta en este documento.

Tabla 1. Categorías del ciclo de vida de las edificaciones y áreas de intervención propuestas en el marco de referencia del proyecto AENCC.

Categorías del ciclo de vida de las edificaciones	Aprovechamiento y provisión de materiales	Planeación y Diseño	Construcción	Operación	Sistemas de las edificaciones	Energías Limpias
Áreas de intervención	Materiales	Planeación Urbana	Edificaciones nuevas	Edificaciones existentes	Electrodomésticos y otros equipos y sistemas	Fuentes de energía
		Edificaciones nuevas		Operación de edificaciones		

Fuente: elaboración propia.

2.2. Etapas del ciclo de vida de las edificaciones

La estimación de las emisiones de gases efecto invernadero se desarrolló siguiendo las categorías de análisis propuestas por el estándar europeo EN 15978:2011 según la versión adoptada por Reino Unido (European Committee for Standardization 2011).

El estándar provee reglas de contabilidad de emisiones GEI de las edificaciones con un enfoque de análisis de ciclo de vida. Las reglas de contabilidad dan los lineamientos técnicos para saber cuáles fuentes de emisión se incluyen en cada etapa del ciclo de vida.

En la Tabla 2 se presentan las etapas del ciclo de vida del estándar europeo EN 15978:2011. En ésta se detallan los módulos de cada etapa en los que se generan emisiones GEI. En la columna “incluidas” se especifica cuáles están incluidas en la línea base de las edificaciones en Colombia que se presenta en este documento. Este marco de referencia dado por el estándar EN 15978:2011 permite una mejor definición de las etapas y actividades propuestas por el proyecto AENCC.

En la Tabla 3 se presenta la correspondencia entre el marco de referencia del proyecto AENCC y el estándar EN 15978:2011. En esta se observa cómo un área de intervención puede estar asociada a diferentes etapas del ciclo de vida. Las interacciones entre áreas de intervención y su impacto en diferentes etapas del ciclo de vida de las edificaciones muestran la importancia de hacer un análisis integrado que permita identificar

la necesidad de coordinación entre actores y las sinergias en las acciones que se diseñen como parte de la hoja de ruta para edificaciones neto cero-carbono en Colombia.

Tabla 2. Etapas y módulos del ciclo de vida del estándar europeo EN 15978:2011 y relación con las incluidas en el análisis de línea base.

Ciclo de vida de las edificaciones		Incluidas
Etapa: Producto		✓
A1	Suministro de materia prima	✓
A2	Transporte	✓
A3	Manufactura	✓
Etapa: Proceso construcción		✓
A4	Transporte	✓
A5	Proceso de construcción	✓
Etapa: Uso		✓
B1	Uso	
B2	Mantenimiento	
B3	Reparación	
B4	Reemplazo	✓
B5	Remodelación	
B6	Uso de energía	✓
B7	Uso de agua	
Etapa: Fin de vida		✓
C1	Deconstrucción, demolición	✓
C2	Transporte	✓
C3	Procesamiento de residuos	
C4	Disposición	

Fuente: elaboración propia con base en el estándar EN 15978:2011 (European Committee for Standardization 2011).

Tabla 3. Relación entre categorías del ciclo de vida de las edificaciones y áreas de intervención propuestas en el marco de referencia del proyecto AENCC y estándar EN 15978:2011.

Categorías del ciclo de vida de las edificaciones	Aprovechamiento y provisión de materiales	Planeación y Diseño	Construcción	Operación	Sistemas de las edificaciones	Energías Limpias
Áreas de intervención	Materiales	Planeación Urbana	Edificaciones nuevas	Edificaciones existentes	Electrodomésticos y otros equipos y sistemas	Fuentes de energía
		Edificaciones nuevas		Operación de edificaciones		
Relación con etapas del ciclo de vida EN 15978:2011	A1-A4 C1-C4	A1-A5 B1-B7 C1-C4	A4-A5	B1-B7	B1-B7	A1-A5 B1-B7 C1-C4

Fuente: elaboración propia con base en el estándar EN 15978:2011.

El marco de referencia del proyecto AENCC adiciona etapas y fuentes de emisión a las propuestas por el estándar EN 15978:2011, relacionadas con emisiones GEI en gestión de residuos sólidos y aguas residuales en etapa de operación; y emisiones (y sumideros) GEI asociadas a la estructura ecológica de las ciudades, áreas verdes, infraestructura urbana y espacio público. De este grupo, las emisiones GEI por suministro de agua también se incluyen en la línea base que se presenta en el presente documento.

2.3. Supuestos transversales

Las emisiones GEI de las edificaciones se estimaron para el periodo 2020-2050. Las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) se calcularon en función de las emisiones dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Para las emisiones asociadas al consumo de energía se utilizaron los factores de emisión de los energéticos colombianos y los índices de calentamiento global según el inventario de emisiones de Colombia más reciente (IDEAM, PNUD, MADS, DNP 2018) (ver Tabla 4). Para la electricidad se utilizó el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional del año 2019, que es el más reciente disponible en la UPME.

Tabla 4. Factores de emisión de los energéticos colombianos.

Energético	Sector de uso final	Factor emisión (kg/TJ)
Gas natural	Residencial Terciario	CO ₂ : 55,539 CH ₄ : 1 N ₂ O: 0.1
Diésel	Transporte Otros: Maquinaria amarilla	CO ₂ : 74,233 CH ₄ : 3.9 N ₂ O: 3.9
Gasolina	Otros: Maquinaria amarilla	CO ₂ : 69,324 CH ₄ : 3 N ₂ O: 0.6
Electricidad	Residencial Terciario	tCO _{2eq} /MWh: 0.166

Fuente: elaboración propia a partir del IDEAM (IDEAM, PNUD, MADS, DNP 2018) y UPME (UPME 2020).

Los factores de emisión de los materiales (emisiones GEI incorporadas) se estimaron teniendo en cuenta aspectos como las características de los materiales, el país de origen (en los casos en que aplica) y la tecnología de producción. Estos supuestos se explican en detalle en la Sección 3.

3. Metodología para estimación de emisiones GEI

Para estimar las emisiones GEI asociadas a las edificaciones en Colombia, se parte de un ejercicio de proyección de demanda con horizonte de análisis al año 2050. Esta proyección se hace a nivel nacional, para Bogotá y Cali.

Se consideran edificaciones para uso residencial y no residencial. Dentro del grupo residencial se diferencia entre sistema constructivo, estrato socioeconómico y clima; y dentro del grupo no residencial se diferencia entre subsector y clima.

Con base en la proyección de demanda de las nuevas edificaciones, y teniendo en cuenta el stock existente se estiman las emisiones para los módulos que se describieron en la sección anterior (ver Tabla 2). En esta sección se describe la metodología que se utilizó para estimar las emisiones GEI en cada etapa del ciclo de vida de las edificaciones, y se presentan resultados intermedios.

3.1. Proyección de demanda de construcción de edificaciones

La proyección de la construcción de edificaciones al 2050 se desarrolló mediante un modelo Arima (ver Anexo 1). Este método permite evaluar tendencias de crecimiento con intervalos de confianza superior al 80%, inferior al 95% y un punto medio. En el caso de las edificaciones para uso residencial, el modelo tiene en cuenta las tendencias históricas por estrato socioeconómico y sistema constructivo. Para las edificaciones no residenciales, el modelo considera la participación histórica de los diferentes subsectores en el área construida.

3.1.1. Sector residencial

Sector formal

Este estudio parte de las estimaciones del número viviendas realizadas por el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018). Estas estimaciones incluyen el número de viviendas a nivel nacional, departamental y de Bogotá hasta el año 2050 y a nivel municipal hasta el año 2035. Por esta razón, para proyectar el número de viviendas en el municipio de Cali entre el periodo 2036-2050 se usaron las tasas de crecimiento del departamento del Valle del Cauca. En la Tabla 5 se presenta el número de viviendas proyectadas por el DANE hasta el año 2050 (la serie completa se presenta en el Anexo 2).

De acuerdo con la proyección, entre el 2020 y 2050 el stock de viviendas urbanas aumentará en 10.9 millones de viviendas (ver Columna Cabecera Nacional en Tabla 5). De las viviendas totales en 2050, más del 40% serán construidas entre 2020-2050.

Tabla 5. Número de viviendas proyectadas a nivel Nacional, Bogotá y Cali.

Año	Cabecera Bogotá	Rural Bogotá	Total Bogotá	Cabecera Cali	Rural Cali	Total Cali	Cabecera Nacional	Rural Nacional	Total Nacional
2020	2,729,436	10,546	2,739,982	761,610	18,325	779,935	13,485,574	4,571,199	18,056,773
2025	3,122,917	13,403	3,136,320	850,349	18,395	868,744	15,656,234	4,984,314	20,640,548

Año	Cabecera Bogotá	Rural Bogotá	Total Bogotá	Cabecera Cali	Rural Cali	Total Cali	Cabecera Nacional	Rural Nacional	Total Nacional
2030	3,510,623	15,598	3,526,221	953,351	18,618	971,969	17,748,495	5,514,677	23,263,172
2035	3,851,785	17,337	3,869,122	1,055,803	19,501	1,075,304	19,636,008	6,111,399	25,747,407
2040	4,147,835	18,840	4,166,675	1,154,835	20,432	1,175,268	21,362,034	6,722,413	28,084,447
2045	4,407,346	20,112	4,427,458	1,251,343	21,203	1,272,546	22,968,589	7,348,225	30,316,814
2050	4,630,805	21,202	4,652,007	1,346,055	21,775	1,367,830	24,461,057	7,974,152	32,435,209

Fuente: (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018)

La distribución histórica (2012-2020) de las viviendas por estrato socioeconómico se obtuvo del CENAC (Centro de estudios de la construcción y el desarrollo urbano y regional - CENAC 2015). En la Figura 1 se presenta la distribución nacional, la de Bogotá y la de Cali. En esta se observa que las viviendas de estratos 1-3 representan el 85% del total nacional. De los seis estratos, las viviendas en estratos 1 y 2 son las de mayor participación en Colombia; por su parte en Cali y Bogotá las viviendas en estratos 2 y 3 representan los grupos dominantes.

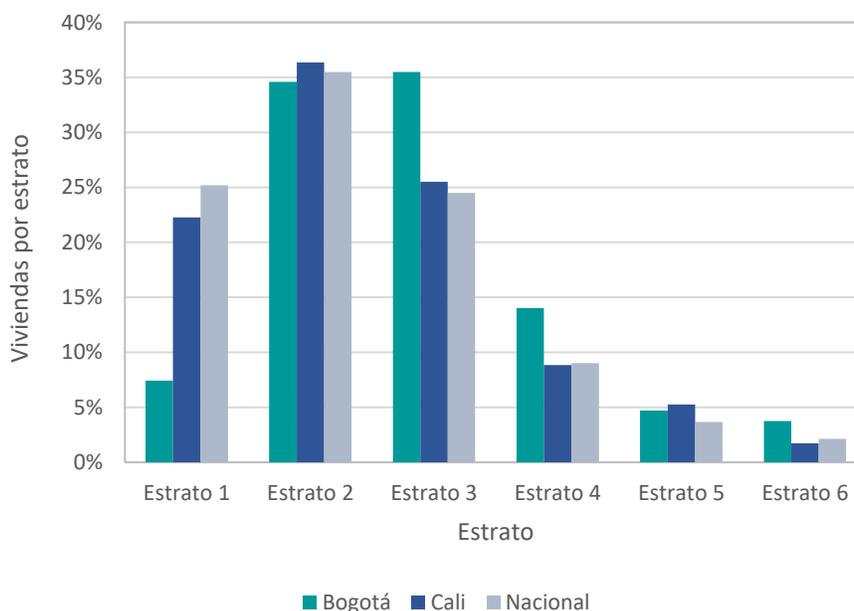


Figura 1. Distribución de viviendas nacionales por estratos 2012-2020.

Fuente: elaboración a partir del Centro de estudios de la construcción y el desarrollo urbano y regional (CENAC, 2015).

De acuerdo con los resultados de la proyección para el periodo 2020-2050, la mayor parte de las nuevas viviendas seguirá siendo en los estratos 1-3 (ver Figura 2). Sin embargo, este grupo representa una proporción inferior respecto a la que se observó en el periodo 2012-2020.

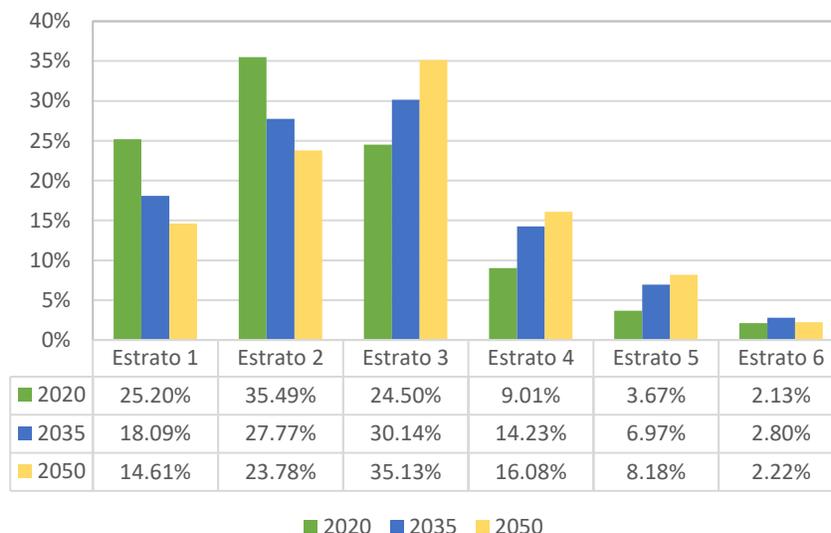


Figura 2. Distribución de viviendas nacionales por estratos 2020-2050.

Fuente: elaboración propia con modelo Arima.

La distribución de viviendas según el método constructivo se obtuvo para el periodo 2006-2020 de estudios desarrollados por CAMACOL (Cámara Colombiana de la Construcción - CAMACOL, 2021) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE 2021).

El DANE define principalmente tres sistemas constructivos utilizados en Colombia: mampostería estructural (ME), mampostería confinada (MC) y sistema industrializado² (SI) (ver Anexo 5). Las estadísticas incluyen otros sistemas de construcción; sin embargo, estas viviendas constituyen menos del 1% del stock acumulado (DANE, 2018)

En la Figura 3 se muestran las tendencias de distribución históricas para Colombia, Bogotá y Cali. Los resultados de la proyección se presentan en la Figura 4. A futuro, el principal cambio que se observa es una leve reducción en la participación de viviendas con mampostería confinada y un aumento de las viviendas con sistemas industrializados.

² La clasificación histórica del CEED-DANE hasta el 4 trimestre de 2019 incluía las categorías: mampostería estructural, mampostería confinada, sistema industrializado y pórticos. A partir del primer trimestre de 2020 incluyó: mampostería estructural, mampostería confinada, sistema aporricado, sistema prefabricado, sistema industrializado y estructuras metálicas. En este estudio usamos como referencia para los análisis y proyecciones la categorización en 4 grupos, dado que no se cuenta con suficiente información sobre cuantías de obra para los análisis desagregados en la nueva clasificación.

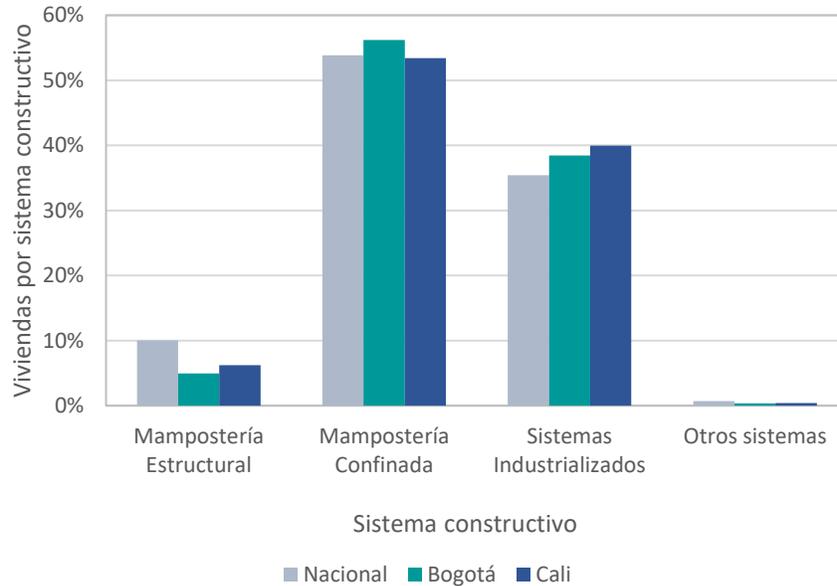


Figura 3. Distribución de viviendas por sistema constructivo 2012-2020.
Fuente: elaboración a partir de CAMACOL, 2021 y DANE 2021).

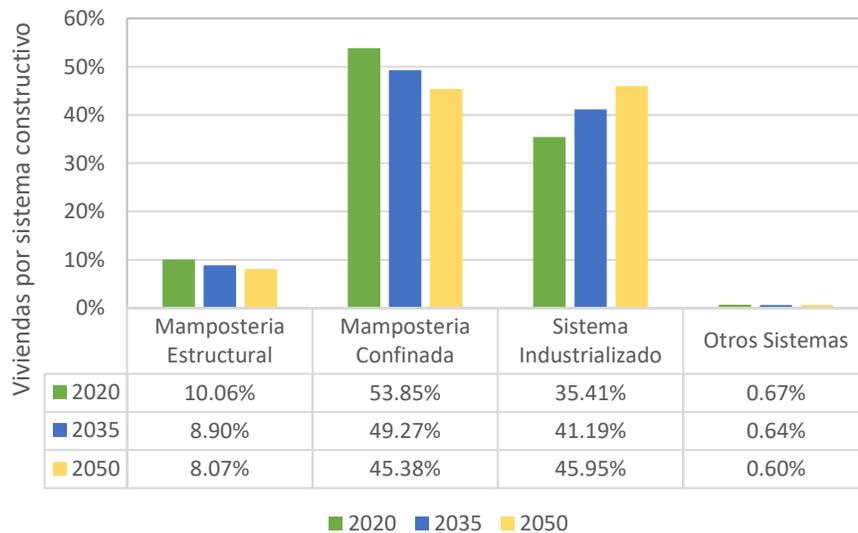


Figura 4. Distribución viviendas por sistema constructivo 2020-2050.
Fuente: elaboración propia con modelo Arima.

En el Anexo 3 se presenta la proyección de viviendas por estrato para los tres grupos de análisis (Colombia, Bogotá y Cali). En el Anexo 4 se muestra la proyección por sistema constructivo para los tres grupos.

El análisis de las edificaciones para uso residencial de este estudio se centra en las zonas urbanas (cabeceras). Según el DANE el 75.8% de las viviendas en Colombia se ubican en las áreas urbanas, esta proporción corresponde al 99.56% en el caso de Bogotá, y al 98.1% en el de Cali.

En el análisis de línea base del carbono operativo solo se incluyen la proporción que representan viviendas ocupadas. A nivel nacional la proporción de viviendas ocupadas es del orden de 85%-89.6%, en Bogotá varían entre 94.4%-95.6% y en Cali entre 95%-95.9% según el periodo de análisis (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018).

Sector informal

La construcción informal³ es un fenómeno que ha presentado problemas en su análisis debido a dificultades en torno a su definición y medición. Una de las mejores fuentes de información disponibles para poder cuantificar este segmento de vivienda en el país es el Censo de Edificaciones (CEED) que elabora el DANE. En este reporte se puede determinar que la proporción de viviendas sin licencia iniciadas a nivel nacional ha oscilado entre el 19 y 29% durante los últimos años (2013-2020). Asimismo, el Censo reporta valores a nivel municipal: en Bogotá la proporción varía entre el 9-17% mientras que en Cali entre 58-70%.

En la Figura 5 se presentan las tasas de informalidad en el sector residencial tomando como base el valor promedio de viviendas sin licencia iniciadas que reporta el CEED⁴ (2019-2020).

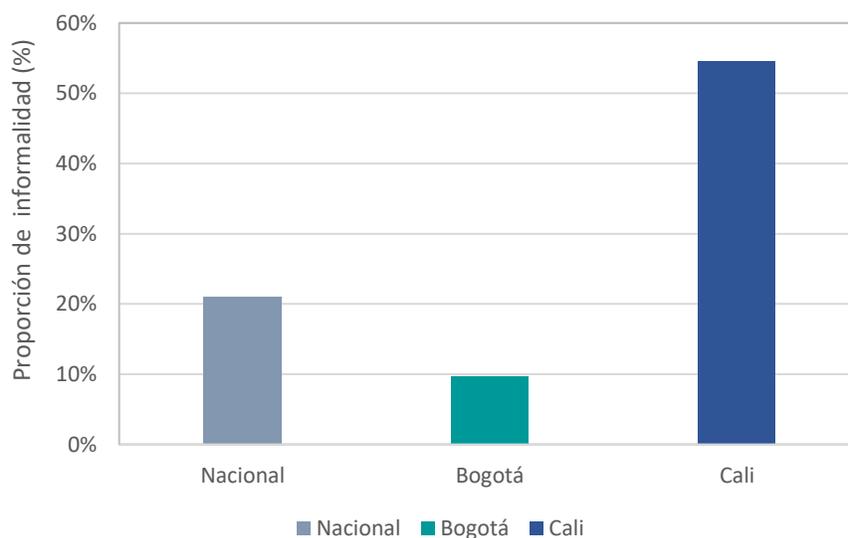


Figura 5. Proporción de viviendas informales según región.

Fuente: elaboración propia a partir del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018).

³ En América Latina, el desarrollo informal considera generalmente una o varias de las siguientes variables: ocupación de suelos seguida de autoconstrucción, subdivisión sin licencia de suelos seguida de autoconstrucción, proyectos irregulares de viviendas públicas, urbanización y desarrollo de zonas rurales, subdivisión no autorizada de lotes legales existentes para la construcción de edificaciones adicionales, ocupación generalizada de zonas de riesgo o áreas ecológicamente protegidas y la ocupación de espacios públicos (Fernández 2011).

⁴ Se toman en cuenta los dos últimos registros (2019-2020) ya que a partir del 2019 el DANE tuvo en cuenta dentro del Censo las edificaciones sin licencia que ya cuentan con el radicado de la solicitud de esta.

3.1.2. Sector terciario

A partir de información recolectada por CAMACOL y el Censo de Edificaciones del DANE, es posible estimar los millones de metros cuadrados construidos en edificaciones no residenciales. De acuerdo con esta información, en el año 2020 existían 139.2 millones de metros cuadrados de edificaciones no residenciales (ver Tabla 6).

Tabla 6. Área construida a nivel nacional 1957-2020.

Área construida formal 1957-2020	Millones de metros cuadrados	Porcentaje
Total área	533.8	100
Área vivienda	394.6	74
Área otros usos	139.2	26

Fuente: elaboración propia a partir de datos DANE y CAMACOL.

En la Tabla 7 se muestra el área en proceso de construcción en 2020, y en la Tabla 8 se presenta el área total construida, el área en proceso de construcción y el área paralizada.

Tabla 7. Área en proceso de construcción a nivel nacional 2020.

Área en proceso de construcción 2020	Millones de metros cuadrados	Porcentaje
Total en proceso de construcción (IV trimestre 2020)	22.8	100
Área vivienda	16.7	73.2
Área otros	6.1	26.8

Fuente: elaboración propia a partir de datos DANE y CAMACOL.

Tabla 8. Área total construida, en proceso y paralizada 1957- 2020.

Total construida, en proceso y paralizada 1957-2020	Millones de metros cuadrados
Área total	566.2
Área total construida	139.2
Área en proceso	22.8
Área paralizada	9.6

Fuente: elaboración propia a partir de datos DANE y CAMACOL.

A partir de la información del DANE sobre área construida por sector entre 2007 y 2020 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018) (ver Tabla 9) y utilizando el método ARIMA se proyectó el área para el periodo 2020-2050.

Para el método ARIMA se utilizaron las siguientes variables, por ser descriptoras de los metros cuadrados construidos en cada uno de estos subsectores:

- Oficinas, Bodegas y Comercio: PIB total y población.
- Educación: población menor a 30 años.
- Hospitales: población entre 30 y 50 años.
- Administración pública y otros sectores: PIB por impuestos y población.

Tabla 9. Área construida por sector a nivel nacional, Bogotá y Cali a 2020.

Sector	Área construida por ciudad por sector (m ²)		
	Bogotá	Cali	Nacional
Oficinas	11,919,218	387,816	16,715,114
Comercio	9,034,057	3,691,397	44,179,018
Hoteles	1,244,947	360,521	7,830,561
Hospitales	1,284,225	690,887	7,434,618
Admón. Pública	797,211	81,229	2,727,407
Educación	3,852,068	861,239	14,381,346
Otros sectores	2,805,834	269,080	31,464,642
Bodegas	224,517	105,358	14,467,293

Fuente: elaboración propia a partir de datos del DANE.

En la Figura 6 se presenta la proyección de construcción de edificaciones no residenciales por subsector a nivel nacional. En el Anexo 7 se presenta la proyección de área no residencial por ciudad y subsector. El subsector con mayor área licenciada al 2050 es el de comercio (28.9%), seguido por otros (17.9%) y oficinas (17.5%). Los subsectores con mayor tasa de crecimiento en área licenciada entre 2020 y 2050 son oficinas, bodegas y edificaciones de administración pública. En contraste, las de menor crecimiento en este periodo son hoteles, seguido por educación y otros.

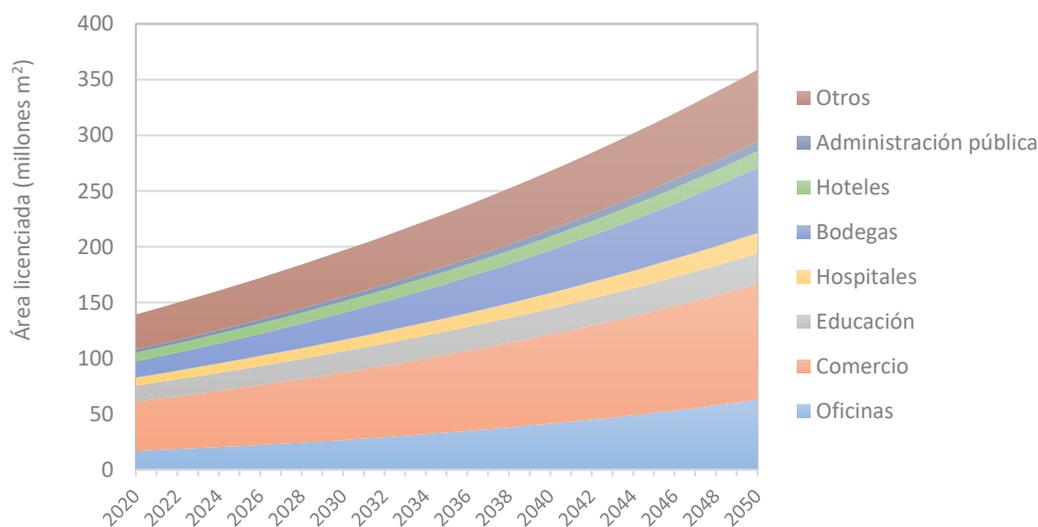


Figura 6. Proyección de edificaciones no residenciales por subsector 2020-2050.

Fuente: elaboración propia con modelo Arima.

3.2. Cuantías de materiales por técnica constructiva

3.2.1. Cuantías de materiales de edificaciones formales

Para cada sistema constructivo se definieron dos prototipos de vivienda, siguiendo la metodología propuesta por un estudio previo (Cadena et al. 2012):

- Primer prototipo: vivienda de interés social (VIS), con área de 45 m², multifamiliar.
- Segundo prototipo: vivienda no VIS, con área de 70 m², multifamiliar.

Se caracterizó la cantidad de materiales de construcción de cada prototipo a partir de casos de estudio reportados en previas investigaciones y según información de casos de estudio que se obtuvieron para este análisis mediante encuestas a constructoras. En la Tabla 10 se presentan las cantidades de material de obra para cada prototipo en los tres sistemas estructurales analizados^{5,6,7}.

Tabla 10. Cantidades de material de obra por prototipo de vivienda formal.

Tipo de vivienda	Cantidad por unidad de vivienda (t/vivienda)				Cantidad por unidad de área (kg/m ²)			
	Concreto (m ³)	Acero de ref.	Ladrillo	Vidrio	Concreto (m ³ /m ²)	Acero de ref.	Ladrillo	Vidrio
Vivienda VIS								
Sistema industrializado	0.013	1.19	1.52	0.05	0.29	26.34	33.84	1.16
Mampostería estructural	0.011	0.79	7.49	0.06	0.23	25.86	144.03	1.91
Mampostería confinada	0.011	0.79	7.49	0.06	0.23	25.86	144.03	1.91
Vivienda no VIS								
Sistema Industrializado	0.020	1.84	2.37	0.08	0.29	26.34	33.84	1.16
Mampostería Estructural	0.017	1.81	10.08	0.13	0.23	25.86	144.03	1.91
Mampostería Confinada	0.017	1.81	10.08	0.13	0.23	25.86	144.03	1.91
No residencial								
Mampostería Confinada	-	-	-	-	0.23	17.53	144.03	3.82

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 se muestra la participación de estos prototipos en las viviendas construidas en Colombia, Bogotá y Cali para los años 2010 y 2020, según la información del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2021). En el Anexo 6 se presenta la información para el periodo completo 2008-2020.

Tabla 11. Porcentaje de uso de los distintos prototipos de vivienda.

Porcentaje de uso de viviendas, clasificados por sistema estructural y viviendas tipo VIS y no VIS							
	Año	MC-VIS	MC-NO VIS	ME-VIS	ME-NO VIS	SI-VIS	SI- NO VIS
Nacional	2010	37.77	62.23	76.39	23.61	34.15	65.85
	2020	38.77	61.23	85.50	14.50	65.57	34.43

⁵ Se consideran seis casos de estudio dentro de los cuales cuatro fueron recolectados en investigaciones previas y dos fueron por obtenidos por el presente estudio.

⁶ Para el sistema constructivo *Mampostería Confinada* no se cuenta con información específica y como aproximación se usaron cantidades reportadas en casos de estudio construidos mediante el sistema *Mampostería Estructural*.

⁷ Para el sector no residencial no se cuenta con información específica respecto a cantidades de obra. Tomando en consideración que el sistema constructivo predominante en el sector es *Mampostería Confinada* y según el prototipo con mayores cantidades de vidrio (*No VIS*), éste se define como el prototipo '*Mampostería Confinada – No VIS*'.

Porcentaje de uso de viviendas, clasificados por sistema estructural y viviendas tipo VIS y no VIS							
	Año	MC-VIS	MC-NO VIS	ME-VIS	ME-NO VIS	SI-VIS	SI- NO VIS
Bogotá	2010	28.42	71.58	84.90	15.10	33.76	66.24
	2020	18.04	81.96	97.35	2.65	46.99	53.01
Cali	2010	50.79	49.21	47.42	52.58	19.86	80.14
	2020	51.61	48.39	41.88	58.12	63.01	36.99

MC: mampostería confinada; ME: mampostería estructural; SI: sistema industrializado; VIS: vivienda de interés social.

Fuente: elaboración propia según DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2021 propia según DANE).

3.2.2. Cuantías de materiales de edificaciones informales

Con respecto al sector informal, el Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano Regional (CENAC) elaboró un estudio denominado *Estimación del consumo de materiales de construcción en la vivienda informal en Bogotá*. En este ejercicio se definen tres prototipos de vivienda informal para los cuales se elabora un listado con los materiales utilizados. A partir de los datos presentados se estiman las cantidades de material por prototipo y por unidad de área⁸ (ver Tabla 12).

Tabla 12. Cantidades de material de obra por prototipo de vivienda informal.

Tipo de vivienda	Cantidad por unidad de vivienda (t/vivienda)				Cantidad por unidad de área (kg/m ²)			
	Concreto (m ³ /viv)	Acero de ref.	Ladrillo	Vidrio	Concreto (m ³ /m ²)	Acero de ref.	Ladrillo	Vidrio
Prototipo 1: 1 piso - cubierta liviana.	0.03	1.21	19.81	0.06	0.49	19.63	321.75	1.05
Prototipo 2: 1 piso - placa concreto.	0.04	2.39	16.67	0.10	0.67	37.61	262.67	1.61
Prototipo 3: 2 pisos - cubierta liviana y placa. ⁹	0.02	0.94	10.65	0.04	0.48	25.42	288.59	1.05

Fuente: elaboración a partir de Centro de estudios de la construcción y el desarrollo urbano y regional -CENAC y Asociación Colombiana de Productores de Concreto Certificado - ASOCRETO 2012.

Comparando las cuantías de materiales de edificaciones formales e informales incluidas en las Tabla 10 y Tabla 12 se advierten algunas diferencias. En términos generales, la vivienda formal utiliza menos ladrillo que la informal (por metro cuadrado de construcción), aunque la formal incluye más acero y vidrio. Por otra parte, al analizar el uso del concreto y ladrillo, se puede observar que en la construcción formal su uso depende del sistema constructivo utilizado. En el sistema industrializado el uso del concreto es utilizado de manera intensiva pero tiene una mínima demanda de ladrillo. Por el contrario, los otros dos sistemas constructivos definidos para la edificación formal (mampostería estructural y confinada), varían en el consumo de estos materiales: el ladrillo es utilizado de manera intensiva mientras que el concreto no. Lo anterior contrasta con la vivienda informal en la cual se observan importantes consumos de ladrillo y de

⁸ Las cantidades de concreto fueron estimadas de manera indirecta a partir de los datos del cemento, y para ello se utiliza un factor de conversión de 350 kg cemento/m³ concreto.

⁹ El Prototipo 3 se considera como una edificación de dos viviendas.

concreto y en la que las viviendas no se diferencian de acuerdo a su sistema constructivo sino a variables tales como el tipo de cubierta utilizada o el número de pisos.

En la estimación de la línea base de las emisiones GEI de las edificaciones se utilizó la información de cuantías de materiales presentado en la Tabla 11. Para poder incorporar la información que se presentó en este apartado sobre la cantidad de materiales que se utiliza en las edificaciones informales, se requiere más información que permita cuantificar este fenómeno por ciudad y estrato.

3.3. Emisiones de CO₂eq asociadas a los materiales

Dentro del ciclo de vida de las edificaciones, la primera de las etapas es la de Producto y comprende los módulos A1, A2 y A3 (ver Tabla 2 al inicio del reporte). Dichos módulos incluyen los procesos asociados a la extracción de la materia prima e incorporación de los materiales reciclados (módulo A1), al transporte de los insumos primarios hasta la fábrica (módulo A2) y a la propia manufactura del producto (módulo A3).

De acuerdo con los límites definidos por el estudio se consideran cuatro materiales que son fundamentales en la cimentación, estructura y fachada de la edificación¹⁰: concreto, acero, ladrillo y vidrio.

El cálculo de las emisiones GEI asociadas a esta etapa se realiza a partir de los prototipos de vivienda y sus cantidades de material definidas en la Sección 3.2 y del coeficiente de carbono incorporado (CCI) (ver Tabla 13). Las emisiones se calculan de acuerdo con la Ecuación 1.

Ecuación 1:

$$\text{Emisiones GEI}_{[A1-A3]} = \text{Cantidad de material (a)} \times \text{Coeficiente carbono incorporado (b)}$$

En la caracterización del CCI de los materiales de construcción empleados en las edificaciones en Colombia es necesario tener en cuenta que la producción de los materiales, y por lo tanto sus emisiones GEI, dependen de múltiples aspectos como su lugar de procedencia, su composición química, métodos y tecnologías de manufactura, entre otros aspectos. Es por esto por lo que en algunos materiales se estimó el CCI para cada subcategoría y se realizó una ponderación de acuerdo con su participación en el mercado.

Los CCI definidos provienen de bases de datos especializadas, estudios previos y Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) nacionales, a excepción del concreto, cuyo CCI fue estimado con base en un estudio de Inventario de Ciclo de Vida con información de producción nacional realizado recientemente (Gmünder et al. 2018). En la Tabla 13 se presenta el CCI de cada uno de los materiales considerados. En el Anexo 8 se muestran los supuestos utilizados para la estimación de los CCI.

Tabla 13. Coeficiente de carbono incorporado de los materiales de construcción considerados en el estudio.

Material	Valor	Unidad
Acero de refuerzo	1.28	kgCO ₂ eq/kg

¹⁰ En el presente análisis se priorizaron los materiales que se utilizan en mayor cantidad, por esto no están incluidos en la estimación del carbono incorporado los materiales asociados a los otros componentes, tales como acabados, redes o muebles. Se recomienda incorporarlos en próximos estudios.

Material	Valor	Unidad
Concretos ¹¹	0.09-0.10	kgCO ₂ eq/kg
	198-245	kgCO ₂ eq/m ³
Ladrillo	0.22	kgCO ₂ eq/kg
Vidrios ¹²	1.22-4.05	kgCO ₂ eq/kg

Fuente: elaboración propia.

A partir de las proyecciones de demanda de edificaciones (ver Sección 3.1), de las cantidades de material por prototipo definidas en la Sección 3.2 y de los CCI definidos en la Tabla 13, se estimaron las emisiones GEI asociadas a la etapa de producto de las edificaciones construidas en Colombia para el período de estudio. En la Figura 7 se presentan las emisiones GEI resultantes para los módulos A1-A3.

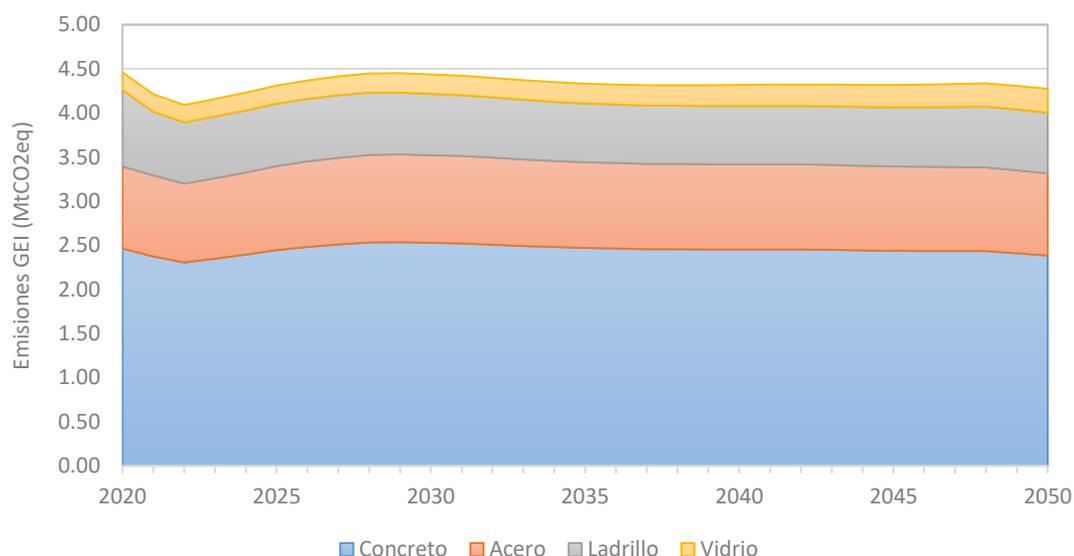


Figura 7. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de producto en Colombia según el tipo de material - Escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

3.4. Emisiones de CO₂eq por proceso de construcción

La etapa del proceso de construcción es la segunda etapa del ciclo de vida de las edificaciones e incluye los módulos A4 y A5. Dichos módulos consideran impactos ambientales asociados a procesos de transporte en y hacia la obra (módulo A4) y el proceso de construcción o de instalación (módulo A5). En este caso se deben definir escenarios de comportamiento que permitan simular las principales actividades causantes de impactos ambientales durante esta etapa.

Con respecto al módulo A4 se consideran las emisiones asociadas únicamente al transporte de los materiales desde la fábrica hasta la obra. Las emisiones GEI se estimaron según la Ecuación 2.

¹¹ Se presenta un rango de valores de acuerdo con el tipo de concreto. Se presentan los datos tanto por kg como por m³.

¹² Se presenta un rango de valores de acuerdo con el tipo de vidrio.

Ecuación 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones GEI}_{[A4]} &= \text{Masa del material (a')} \times \text{Distancia de transporte (b')} \\
 &\times \text{Coeficiente de conversión de carbono (c')}
 \end{aligned}$$

La masa del material (a') se refiere a las cantidades de obra definidas en la Sección 3.2. Con respecto a la distancia de transporte (b') se definen cinco escenarios posibles que buscan categorizar las distancias y los medios de desplazamiento de los materiales según su origen (ver Tabla 14). Estas distancias se definieron considerando información de estudios previos y según los países de importación de los materiales de interés.

Los coeficientes de conversión de carbono (c') obtenidos para transporte nacional e internacional hacia Colombia se presentan en la Tabla 15. El factor de emisión equivalente para el transporte nacional se obtuvo a partir de un estudio reciente sobre el transporte de carga en Colombia (DNP 2020). El factor de emisión de transporte marítimo se estimó con la herramienta Ecotransit (Ecotransit 2021).

Tabla 14. Escenarios de transporte de materiales considerados.

Escenario	Distancia (km)	
	Terrestre	Marítima
Manufactura local	50	-
Manufactura nacional	500	-
Manufactura regional	1,500	-
Manufactura continental	300	5,000
Manufactura mundial	300	10,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Coeficientes de carbono según el tipo de transporte.

Tipo de transporte	Valor	Unidad
Terrestre	0.1072	kgCO ₂ eq/t-km
Marítimo	0.0123	kgCO ₂ eq/t-km

Fuente: elaboración propia para Colombia a partir de DNP (DNP 2020) y Ecotransit (Ecotransit 2021).

Teniendo en cuenta las consideraciones respecto a los coeficientes de transporte definidos en la Tabla 15 se estimaron las emisiones de GEI asociadas al transporte según los escenarios definidos anteriormente (ver Tabla 16).

Tabla 16. Emisiones asociadas al transporte según escenario.

Escenario	Valor	Unidad
Manufactura local	5.36	kgCO ₂ eq/t
Manufactura nacional	53.61	kgCO ₂ eq/t
Manufactura regional	160.83	kgCO ₂ eq/t

Manufactura continental	115.11	kgCO ₂ eq/t
Manufactura mundial	176.61	kgCO ₂ eq/t

Fuente: elaboración propia.

Con relación al módulo A5, se recopiló información reportada en estudios previos (Cadena et al. 2012) y en informes de sostenibilidad de CAMACOL (Camacol B&C 2018) respecto al consumo de combustibles y uso de electricidad durante la construcción de las edificaciones. Los consumos se presentan según el sistema constructivo en la Tabla 17.

A partir de las proyecciones de edificaciones consideradas en la Sección 3.1, de las cantidades de material a transportar categorizadas por prototipo definidas en la Sección 3.2, de los escenarios de transporte definidos en la Tabla 16 y de las emisiones asociadas a los consumos de combustibles y energía eléctrica especificados en la Tabla 17, se estimaron las emisiones GEI asociadas a la etapa del proceso de construcción para Colombia. Los resultados se presentan en la Figura 8.

Tabla 17. Consumos de combustibles y energía eléctrica según sistema constructivo.

Sistema constructivo	Electricidad (kWh/m ²)	Gasolina (MJ/m ²)	ACPM (MJ/m ²)	Emisiones (kgCO ₂ eq/m ²)
Sistema Industrializado	5.15	24.07	300.91	35.14
Mampostería Estructural	1.04	0.00	86.47	8.67
Mampostería Confinada	6.28	0.00	86.47	19.94

Fuente: elaboración propia a partir de Cadena et al. 2012, Camacol B&C 2018.

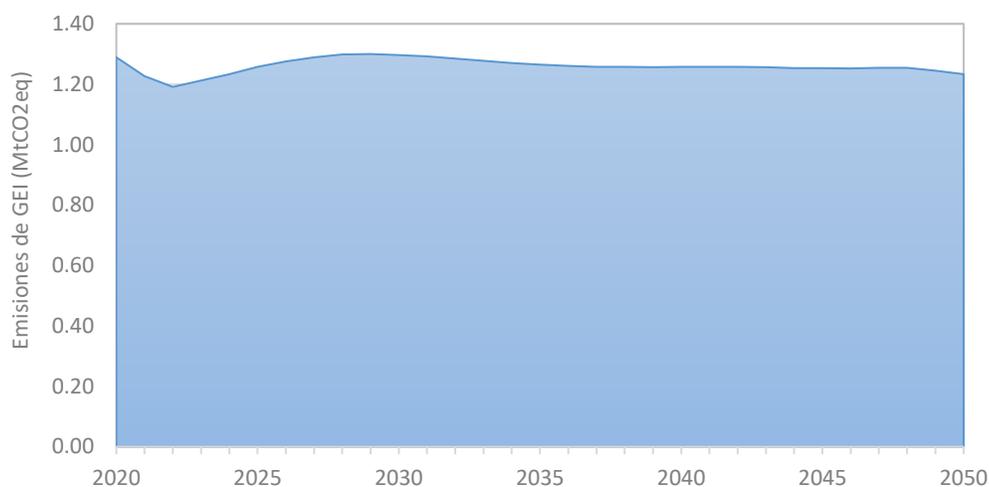


Figura 8. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de proceso de construcción en Colombia - Escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

3.5. Aproximación a las emisiones de CO₂eq por reparaciones, reemplazos y remodelaciones

La etapa de uso incluye los módulos B1-B5. En este numeral se agruparon los módulos asociados a los materiales y nos enfocamos en los impactos ambientales relacionados con procesos de reemplazo (B4) de las edificaciones.

En esta etapa se deben definir escenarios de comportamiento que permitan simular las principales actividades generadoras de emisiones. Dentro de la literatura relacionada existe una gran variedad de materiales que se incluyen dentro de estos módulos; para objeto de este estudio se contemplan únicamente los materiales y componentes que hacen parte del alcance definido anteriormente.

En la Tabla 18 se presenta información respecto a la vida útil de algunos de los componentes y materiales evaluados en el análisis. De éstos, el vidrio es el único que tiene un tiempo de vida útil menor al de la edificación por lo que se van a requerir reemplazos. La vida útil del vidrio se supuso en 15 años según estudios previos y la de la edificación en 50 años (ver Tabla 19).

Tabla 18. Consideraciones sobre la vida útil de los componentes incluidos dentro del análisis.

Material	Vida útil (años)
Concreto y mampostería	
Muros de ladrillo	100+
Cimentación	
Cimentación de concreto	Toda la vida
Sistemas estructurales	
Sistemas de concreto	Toda la vida
Ventanas	
Ventanas de aluminio	15-20

Fuente: elaboración a partir de National Association of Home Builders, 2007.

Tabla 19. Consideraciones sobre el reemplazo de materiales durante el uso de la edificación.

Material	Vida útil (años)	Factor de reposición
Vidrio	15	2

Fuente: elaboración a partir de Ortiz-Rodríguez, Castells, and Sonnemann 2012.

En el módulo B4 se incluyeron las emisiones asociadas a la producción del vidrio y al transporte hasta la obra del nuevo material (módulos A1-A4) y las emisiones asociadas al transporte del material reemplazado hasta su lugar de disposición final (módulo C2).

A partir de las proyecciones de edificaciones, de las consideraciones sobre el reemplazo del vidrio especificados en la Tabla 19 y de las consideraciones sobre el transporte del material hasta su lugar de disposición final, se estimaron las emisiones GEI asociadas al módulo de reemplazo para Colombia. Los resultados se presentan en la Figura 9.

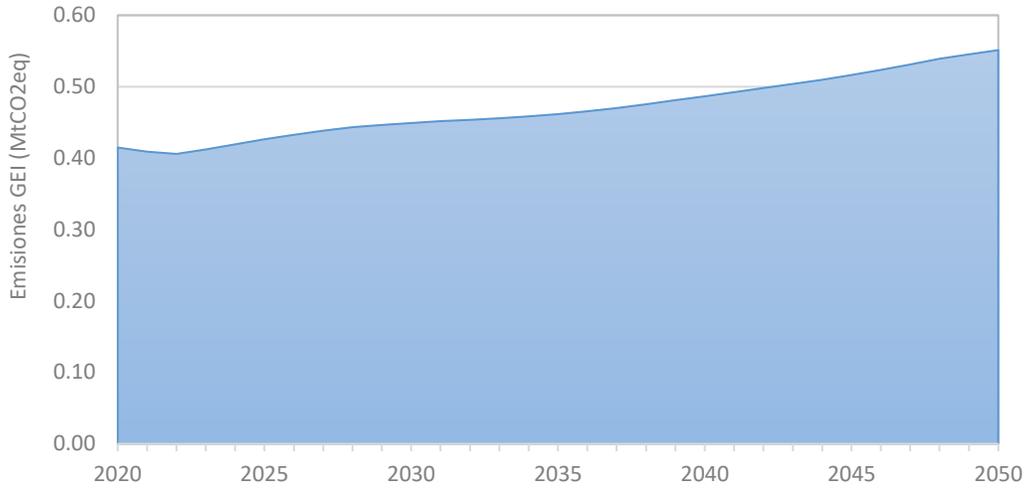


Figura 9. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de proceso de reemplazo de materiales en Colombia - Escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

3.6. Emisiones de CO₂eq por operación de las edificaciones

El consumo de energía durante la operación de las edificaciones para uso residencial se estimó considerando diferentes patrones de demanda según zonas climáticas.

El IDEAM cuenta con la clasificación del clima de los 1,103 municipios de Colombia y las 18 áreas no municipalizadas. Cada una de estas zonas se distribuye en uno de los siguientes cuatro climas: cálido húmedo, cálido seco, frío y templado (Figura 10).

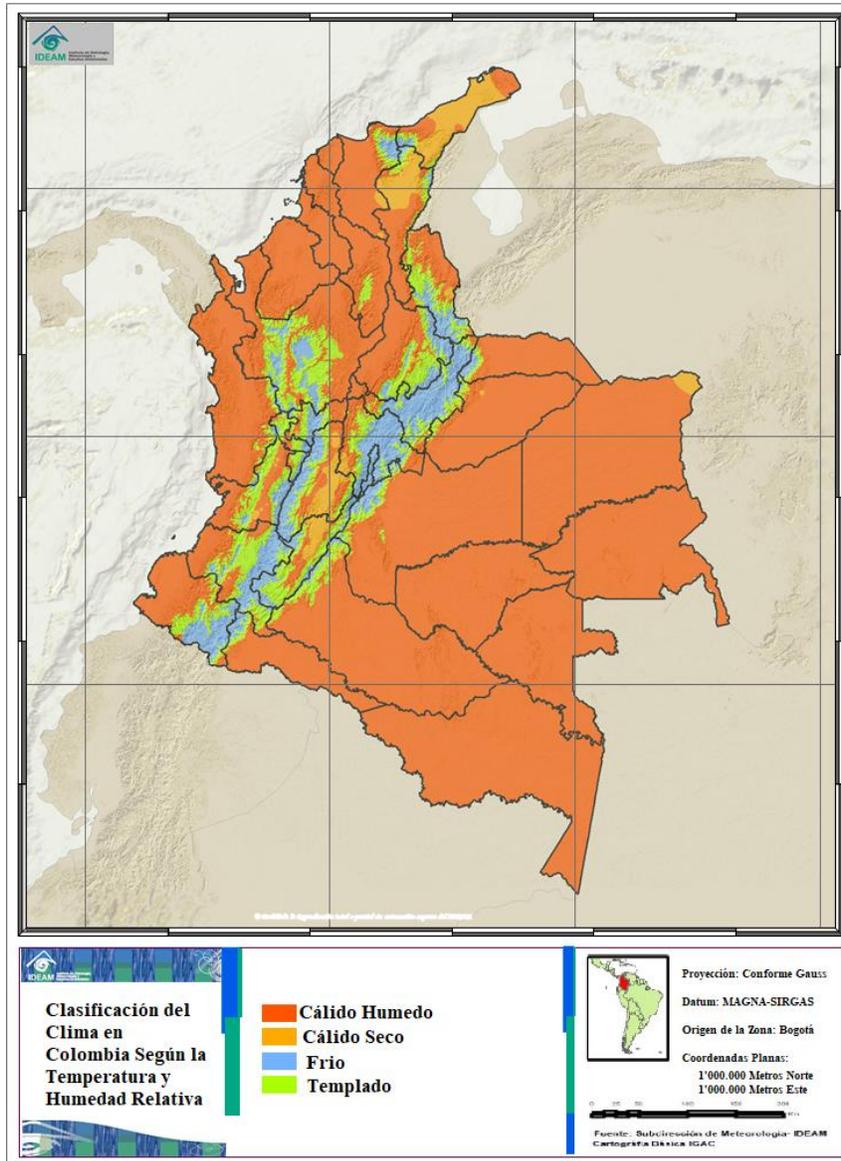


Figura 10. Distribución de municipios por clima.

Fuente: IGAC e ISMD ingeniería Sostenible.

De 1,121 áreas consideradas 294 se encuentran en clima cálido húmedo, 168 se encuentran en clima cálido seco, 231 se encuentran en clima frío y 428 se encuentran en clima templado. El 22.53% de la población se encuentra concentrada en clima cálido húmedo, el 17.60% se concentra en Bogotá (clima frío), el 11.66% se concentra en zonas frías diferentes a Bogotá, el 26.18% se encuentra en zonas templadas, el 5.24% se encuentra en Cali (clima cálido seco) y el 16.79% se encuentra en clima cálido seco diferente a Cali.

Para cada una de estas zonas climáticas se desarrolló una caracterización propia en términos de consumo de energía y agua.

Adicionalmente, cada municipio del país independientemente de su zona climática se encuentra caracterizado por un grado de importancia económica clasificado desde 1 (más importante) a 7 (menos importante) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2019). Es esperado que los patrones de consumo de energía en cada municipio y zona no municipalizada varíe acorde al grado de importancia económica y tipo de clima.

Para cada caracterizar la demanda energética de las viviendas en cada una de estas zonas climáticas, se utilizó la información de los municipios más representativos para estimar el consumo energético por grupo. A continuación, se presentan los municipios que se analizaron para caracterizar el consumo por tipo de clima.

- Clima cálido seco: Cali, Cúcuta, Floridablanca, Montería, Neiva, Valledupar, Santa Marta y Riohacha.
- Clima cálido húmedo: Cartagena, Barranquilla, Barrancabermeja, Buenaventura, Yopal, Turbo y Villavicencio.
- Clima frío: Bogotá, Manizales, Chía, Ipiales, Pasto, Soacha, Tunja y Facatativá.
- Clima templado: Medellín, Armenia, Bello, Ibagué, Envigado, Itagüí, Palmira y Popayán.

Este análisis se desarrolló con la información reportada en el Sistema único de Información (SUI) de los Servicios Públicos Domiciliarios para los últimos años (serie 2006-2019).

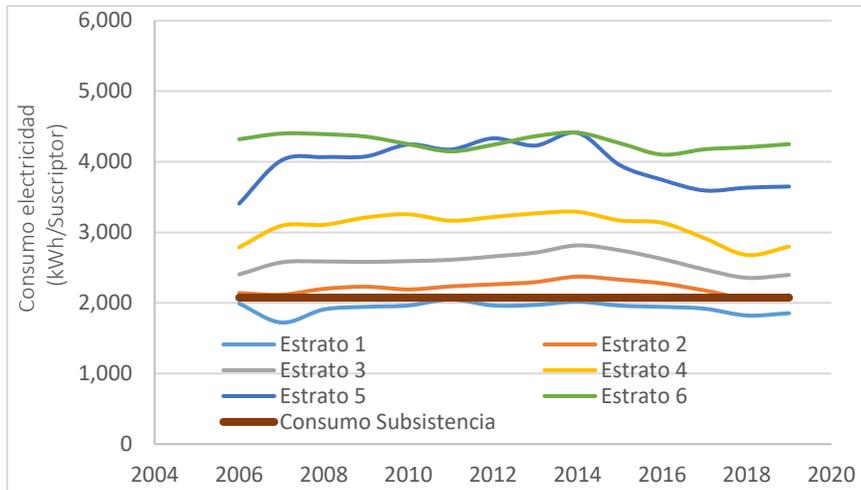
3.6.1. Consumo de electricidad del sector residencial

En la Figura 11 y Figura 12 se presenta el consumo de electricidad por vivienda según zona climática y estrato socioeconómico. Se muestra de manera separada el análisis para Bogotá y Cali.

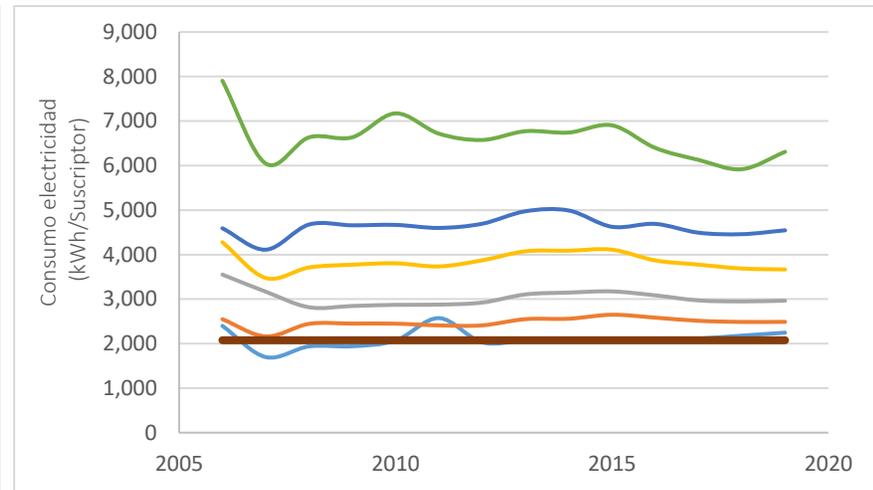
Se presenta con fines de comparación el consumo de subsistencia por vivienda. Para el clima cálido húmedo y cálido seco se considera un consumo de subsistencia de 173 kWh/mes por suscriptor (2,076 kWh/año); para las zona fría y templada se considera un consumo de subsistencia de 130 kWh/mes por suscriptor (1560 kWh/año) (CELSIA 2021).

En general se observan mayores niveles de consumo de electricidad en las zonas de clima cálido, respecto a las de clima frío y templado. En las zonas de clima cálido también se observa una mayor diferencia en los consumos según estrato socioeconómico. En las viviendas de clima cálido la demanda anual de electricidad está muy cerca al valor de subsistencia en los estratos 1 y 2. En clima templado y frío los consumos de los estratos 1-4 son similares al de subsistencia.

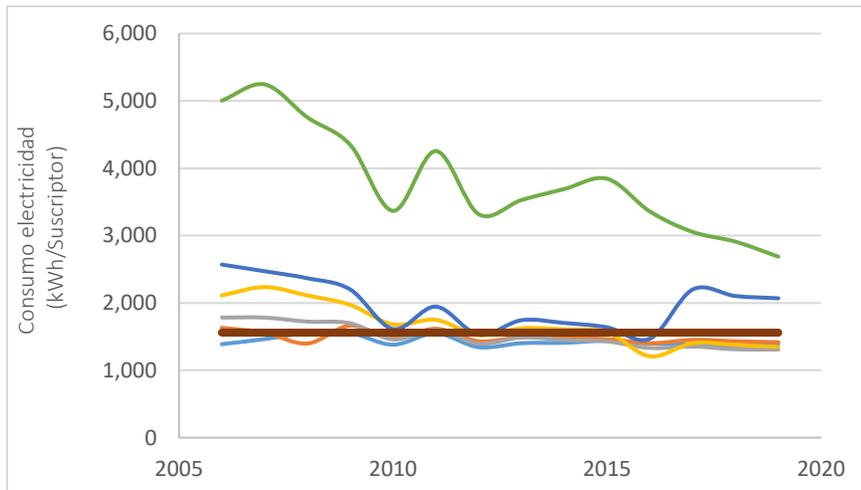
En el Anexo 9 se presenta el consumo de electricidad para cada una de las ciudades analizadas discriminado por estrato y clima.



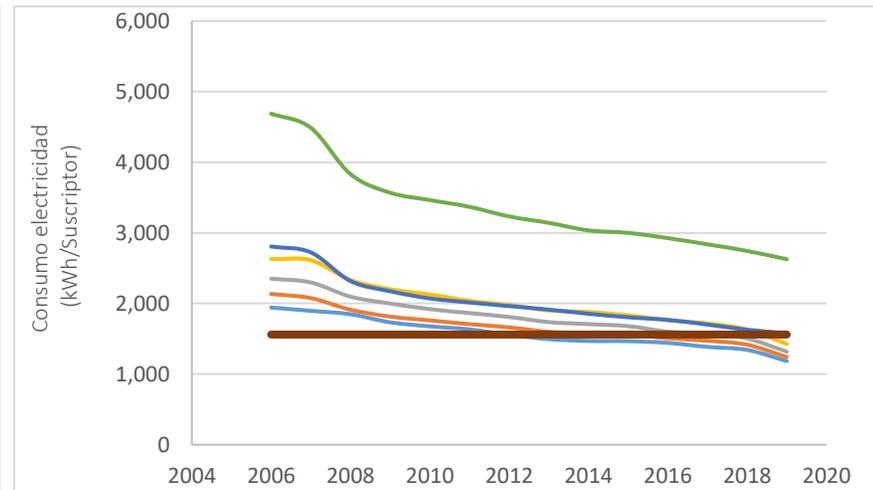
a. Clima cálido húmedo.



b. Clima cálido seco.



c. Clima frío.



d. Clima templado.

Figura 11. Consumo promedio anual de electricidad por estrato y clima.

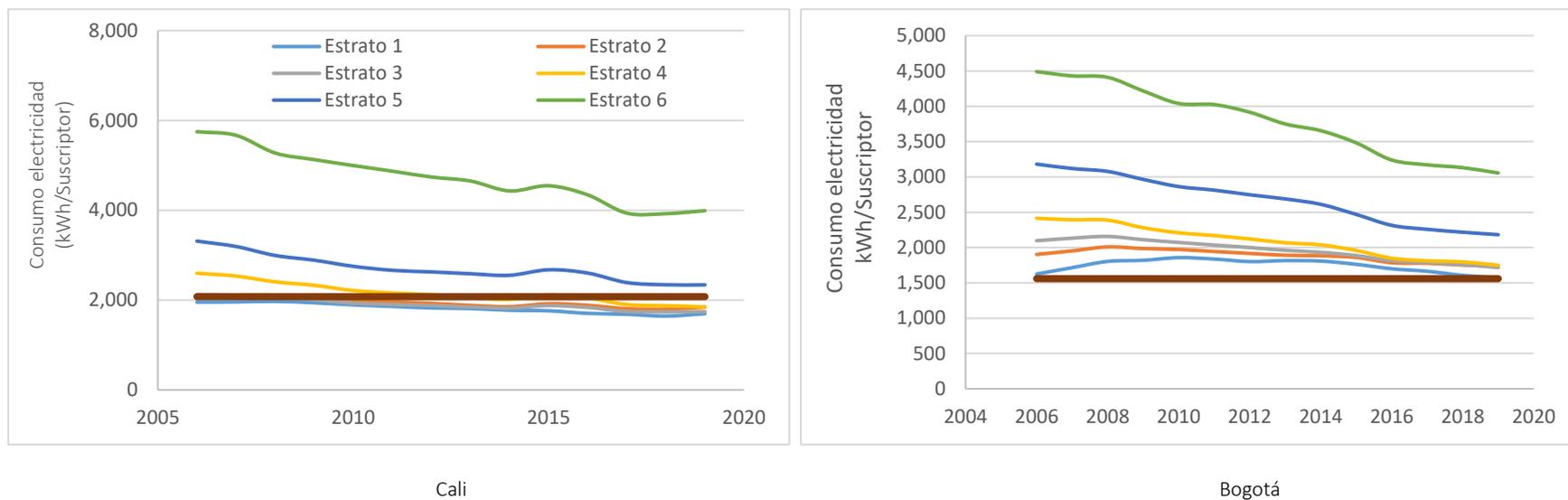


Figura 12. Consumo promedio anual de electricidad por estrato para Cali y Bogotá.

Fuente: elaboración propia.

A partir de los consumos calculados para cada grupo de clima y los consumos de energía eléctrica de Bogotá y Cali, se estimó un valor de consumo nacional con base en la distribución poblacional (ver Figura 13). Se observa una tendencia decreciente del consumo de electricidad por vivienda en los años de análisis y este comportamiento es común a todos los estratos.

Para la línea base de emisiones se supuso un consumo constante de electricidad por vivienda entre 2020 y 2050, tomando como referencia el valor del año 2019.

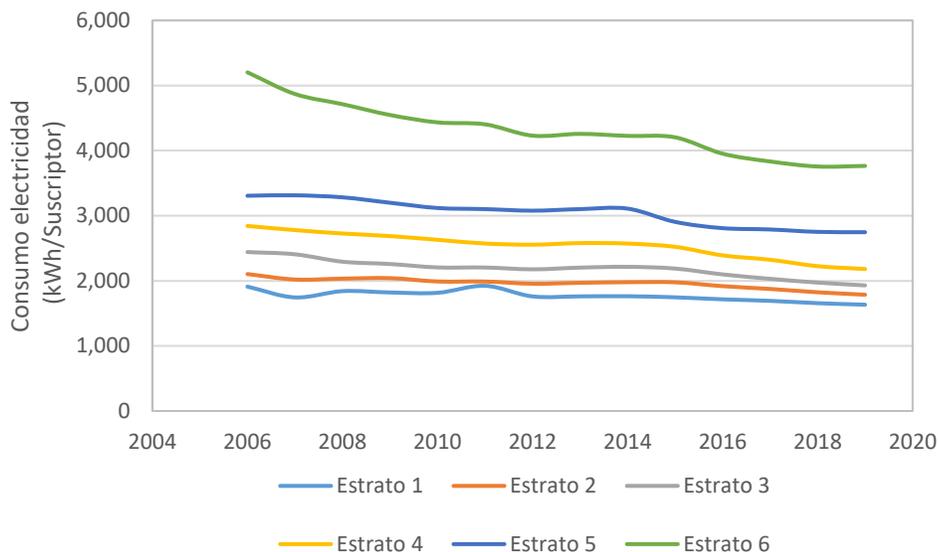


Figura 13. Consumo promedio de electricidad por estrato a nivel nacional.

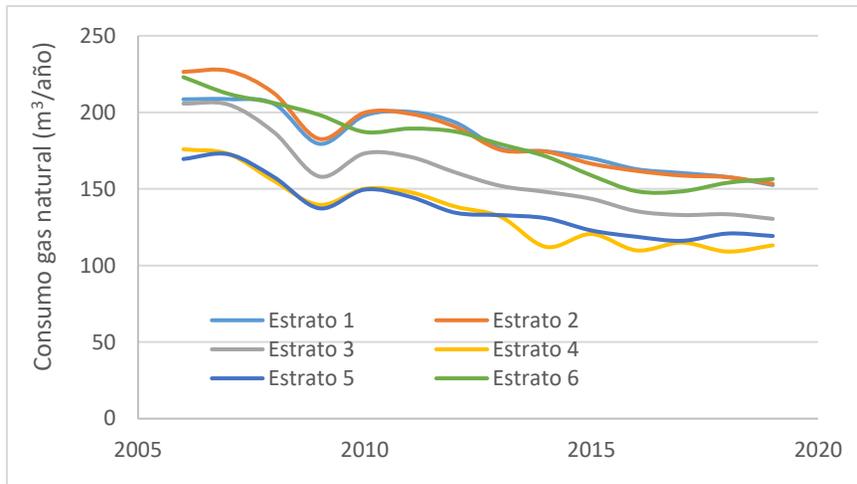
Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Consumo de gas natural del sector residencial

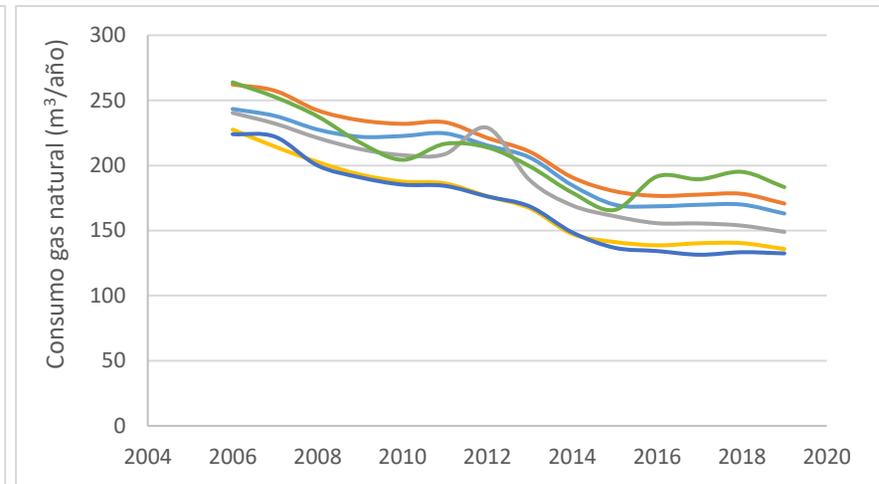
En la Figura 14 y Figura 15 se muestra el consumo de gas natural por vivienda según zona climática y estrato socioeconómico. Se presenta de manera separada el análisis para Bogotá y Cali. En la Figura 16 se presenta el consumo de gas natural consolidado a nivel nacional.

Para el gas natural se utilizó un valor de 20 m³/mes-vivienda como punto de comparación del consumo. Este valor es el establecido como mínimo vital en el proyecto de ley 321 de 2020 para todo el territorio nacional.

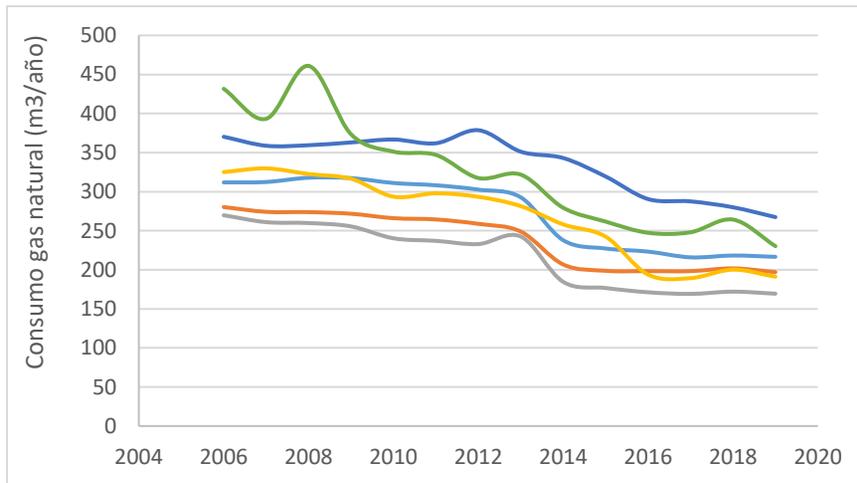
Los datos analizados muestran una reducción en el consumo de gas natural por vivienda en todas las zonas climáticas y en todos los estratos. Se observan mayores niveles de consumo por vivienda en zonas frías respecto a los otros tres grupos según clima. Excepto en clima templado, en las otras tres zonas se presenta un consumo similar entre viviendas de diferentes estratos.



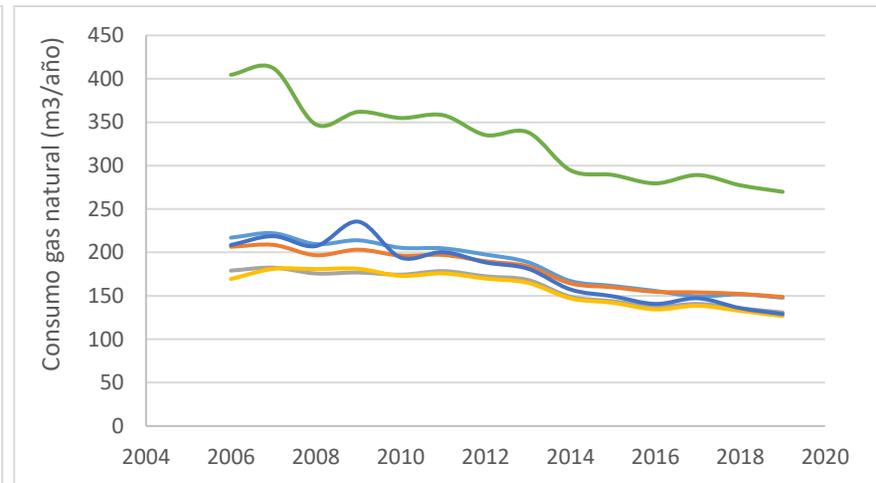
b. Clima cálido húmedo.



b. Clima cálido seco.



c. Clima frío.



d. Clima templado.

Figura 14. Consumo promedio anual de gas natural por vivienda, estrato y clima.

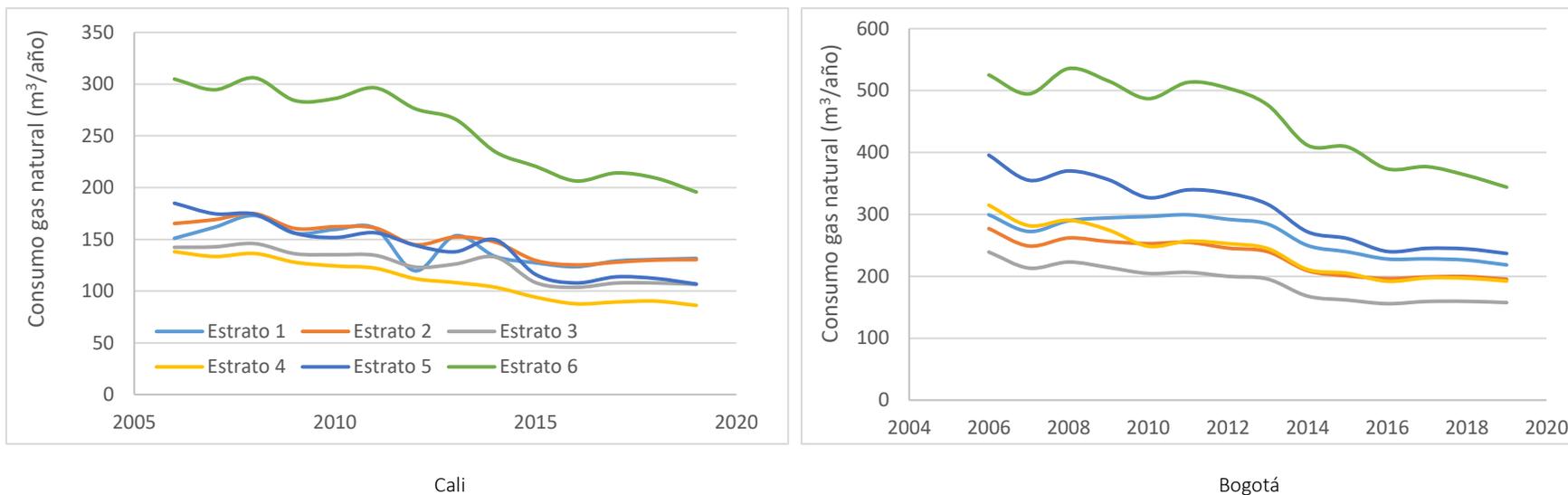


Figura 15. Consumo promedio anual de gas natural por vivienda y estrato para Cali y Bogotá.

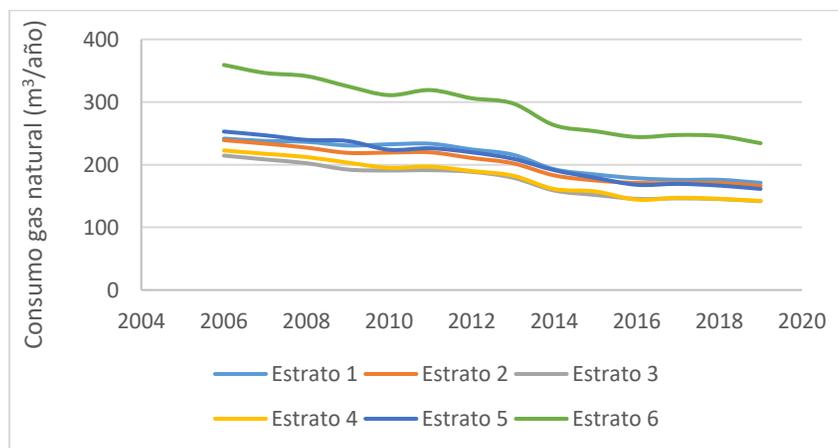


Figura 16. Consumo promedio de gas natural por vivienda y estrato a nivel nacional.

Fuente: elaboración propia

3.6.3. Consumo de agua del sector residencial

El consumo de agua se estimó por clima teniendo en cuenta los supuestos que se explican a continuación.

Clima cálido seco: Debido a que los municipios con grado de importancia 1 representan sólo el 6.24% de esta población (sin considerar Cali debido a que esta ciudad cuenta con su propio análisis), sólo se consideraron municipios de grado de importancia 2 (Cúcuta, Santa Marta, Valledupar, Montería, Neiva, Floridablanca y Riohacha) con igual peso cada uno.

Clima cálido húmedo: Debido a que los municipios con grado de importancia 1 representan el 23.19% de esta población (Barranquilla, Cartagena y Barrancabermeja), se consideró el promedio de consumo de estos municipios con este factor de ponderación. Para los demás municipios con información disponible y grado de importancia 2 (Villavicencio, Buenaventura, Yopal y Turbo) se obtuvo un promedio ponderado de consumo y se consideró su peso (76.81%).

Clima frío: Debido a que los municipios con grado de importancia económica 2-7 representan el 100% de la población en este clima (sin incluir a Bogotá debido a que esta ciudad cuenta con su propio análisis), sólo se consideraron los municipios con grado de importancia 2 (Manizales, Chía, Ipiales, Pasto, Soacha, Tunja y Facatativá) con igual peso cada uno.

Clima templado: En este clima Medellín representa el 21.53% de la población y es el único municipio con grado de importancia 1 en esta categoría. Por esta razón, a Medellín se le asignó este peso en el consumo de energía, el peso restante 78.47% fue asignado al promedio de los municipios de categoría 2 considerados (Armenia, Bello, Ibagué, Envigado, Itagüí, Palmira y Popayán).

En la Figura 17 y Figura 18 se presentan los valores de consumo de agua por vivienda según clima, estrato y de manera separada se presentan los resultados para Bogotá y Cali.

Para el agua se consideró como referencia de comparación el consumo mínimo vital recomendado por la OMS, de 100 lts/persona/día. Considerando un hogar promedio de 3.1 personas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018), el consumo de subsistencia por hogar en Colombia equivale a 113.15 m³/año.

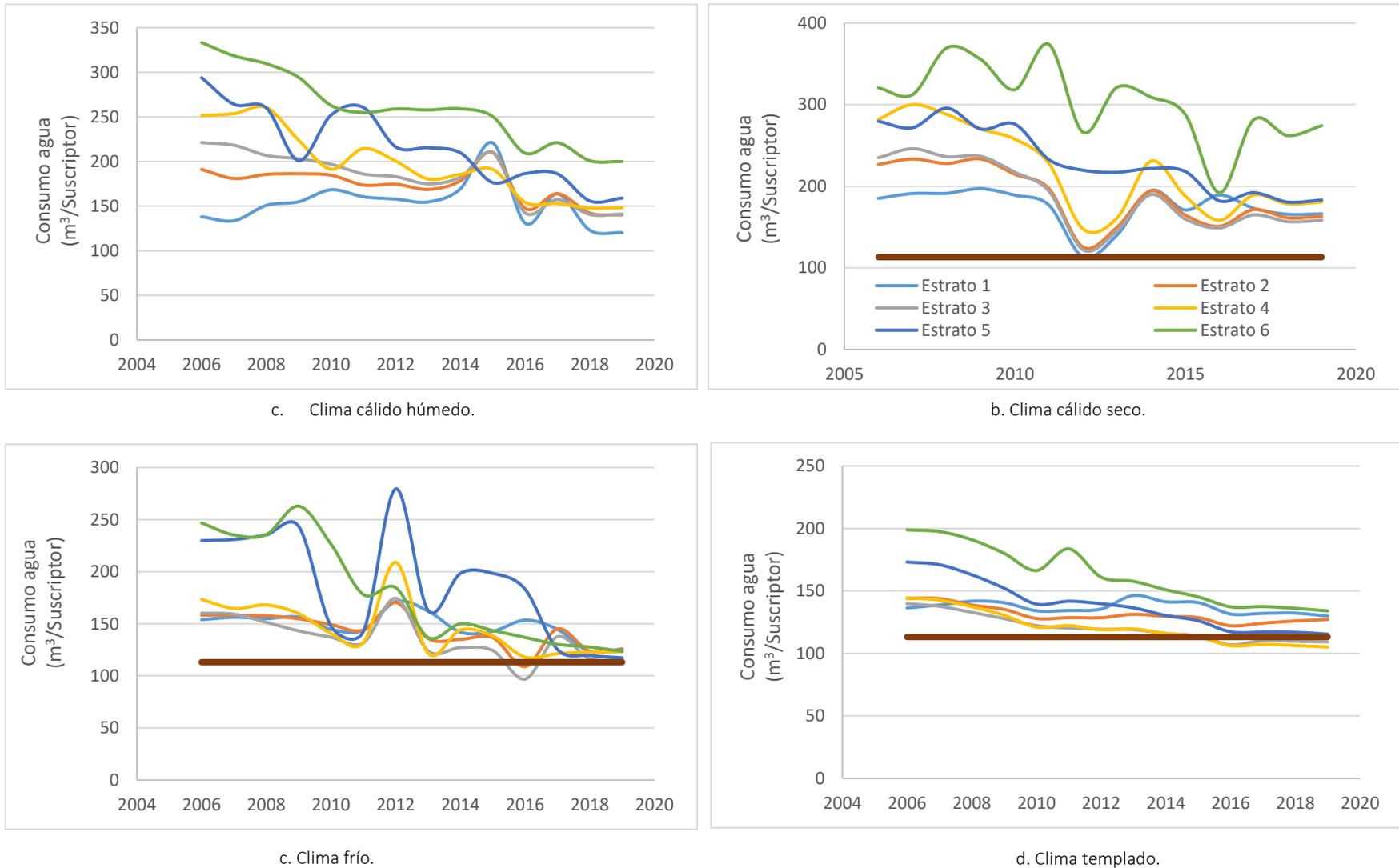


Figura 17. Consumo promedio anual de agua por estrato y clima.

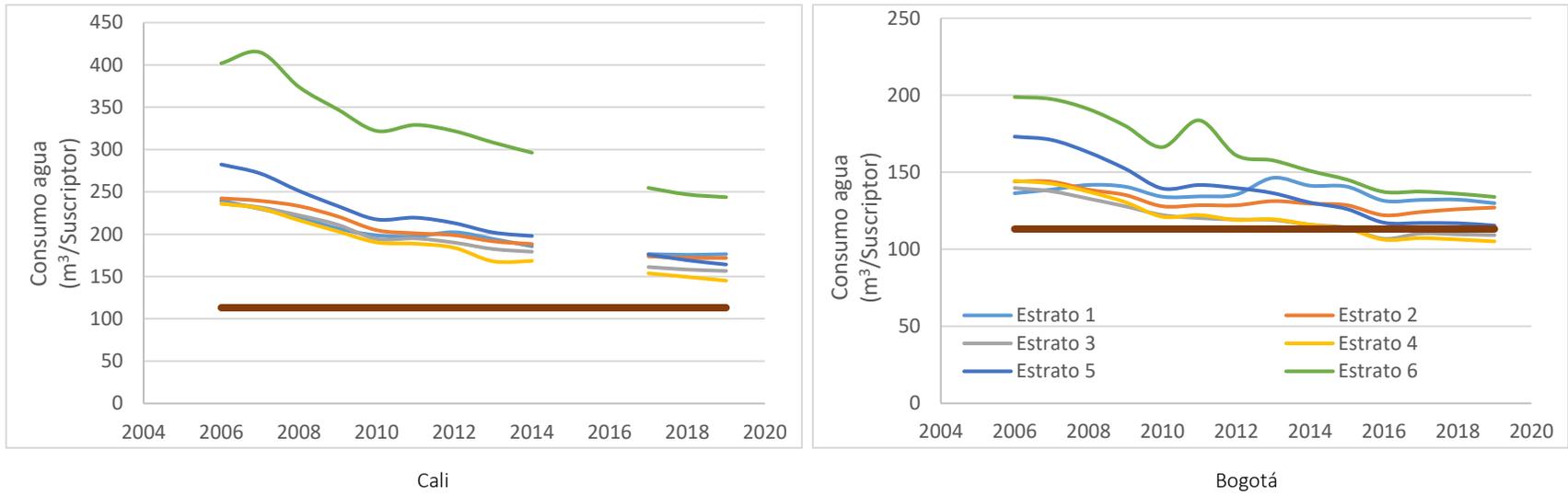


Figura 18. Consumo promedio anual de agua por estrato para Cali y Bogotá.

Fuente: elaboración propia.

A partir de los consumos de agua calculados por clima y los consumos de agua de Bogotá y Cali se estimó el consumo a nivel nacional con base en la distribución poblacional (ver Figura 19).

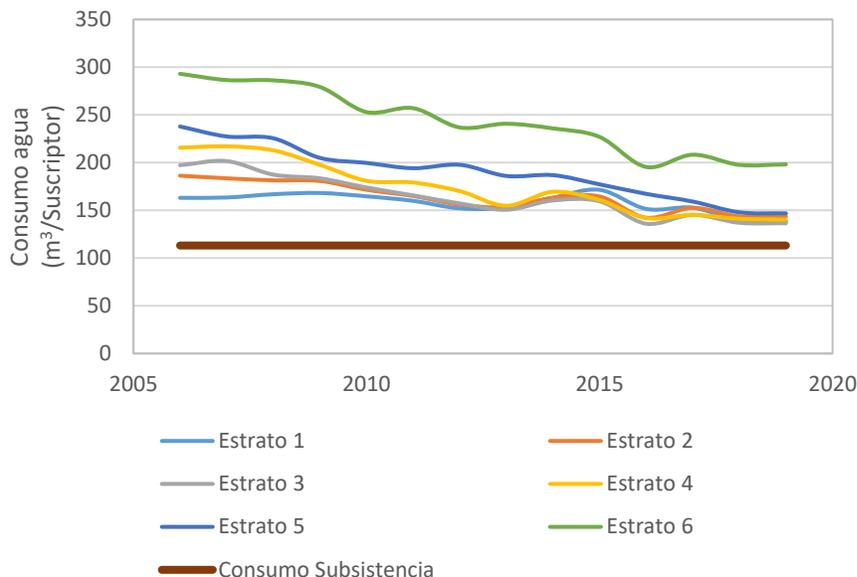


Figura 19. Consumo promedio de agua por estrato nacional.

Fuente: elaboración propia.

3.6.4. Consumo de energía y agua en sectores no residenciales

Para caracterizar el consumo de electricidad, gas natural y agua de los sectores no residenciales se utilizaron diferentes fuentes de información.

Para los consumos de agua por tipo de edificación y por unidad de área se utilizaron los análisis del Informe de Resultados sobre los Indicadores de Consumo de Agua y Energía Eléctrica en Bogotá 2012-2019 (Secretaría Distrital de Planeación - SDP 2020). Este informe permitió estimar los indicadores de consumo de energía eléctrica por metro cuadrado en los subsectores de oficinas, comercio, hoteles, hospitales y educación en la ciudad de Bogotá. Debido a que no se identificó información específica para sectores no residenciales para cada ciudad, la información de Bogotá de consumo por subsector y unidad de área se usó para calcular el consumo de agua a nivel nacional y de Cali, según las áreas por subsector.

El consumo de electricidad y gas natural en Cali de los subsectores de oficinas, comercio, hoteles, hospitales y educación se tomó del estudio bases técnicas de eficiencia energética y en el consumo de agua del Manual de Construcción Sostenible para la ciudad de Cali.

La información restante se tomó del estudio *Marginal Abatement Cost Curve Development for Buildings of the Commercial Sector in Colombia* (Universidad de Los Andes 2013) y del informe de la UPME *Determinación del potencial de reducción del consumo energético en el sector servicios en Colombia* (Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME 2013). Para representar los consumos energéticos a nivel nacional se usaron pesos ponderados con información de estos informes de las ciudades de Medellín para representar el clima templado, Bogotá en el clima frío, Barranquilla para representar el clima cálido

húmedo y Cali el clima cálido seco. Los resultados a nivel nacional, para Cali y Bogotá se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Consumo operación subsectores no residenciales.

Nacional							
Consumo	Oficinas	Comercio	Hoteles	Hospital	Admon. Pública	Educación	Otros Sectores
Electricidad (kWh/mes-m ²)	16.50	6.65	8.50	13.05	8.51	4.34	4.69
Electricidad (kWh/año-m ²)	197.96	79.84	102.06	156.55	102.07	52.02	56.27
Gas natural (m ³ /mes-m ²)	0.00	0.81	0.53	0.72	0.00	0.24	0.00
Gas natural (m ³ /año-m ²)	0.00	9.69	6.36	8.39	0.00	2.90	0.00
Agua (l/día-m ²)	4.73	8.51	6.78	6.78	6.78	3.63	3.63
Agua (m ³ /año-m ²)	1.73	3.10	2.48	2.48	2.48	1.33	1.33
Bogotá							
	Oficinas	Comercio	Hoteles	Hospital	Admon. Pública	Educación	Otros Sectores
Electricidad (kWh/mes-m ²)	7.08	6.48	5.38	4.68	5.86	1.37	0.75
Electricidad (kWh/año-m ²)	84.91	77.75	64.50	56.15	70.31	16.49	9.02
Gas natural (m ³ /mes-m ²)	0.00	0.19	0.91	1.44	0.00	0.24	0.00
Gas natural (m ³ /año-m ²)	0.00	2.25	10.92	17.28	0.00	2.90	0.00
Agua (l/día-m ²)	4.73	8.51	6.78	6.78	6.78	3.63	3.63
Agua (m ³ /año-m ²)	1.73	3.10	2.48	2.48	2.48	1.33	1.33
Cali							
	Oficinas	Comercio	Hoteles	Hospital	Admon. Pública	Educación	Otros Sectores
Electricidad (kWh/mes-m ²)	11.41	7.13	5.52	22.52	4.30	11.16	1.75
Electricidad (kWh/año-m ²)	136.98	85.60	66.29	270.28	51.56	133.89	20.97
Gas natural (m ³ /mes-m ²)	0.00	0.14	0.33	0.72	0.00	0.24	0.00
Gas natural (m ³ /año-m ²)	0.00	1.68	3.96	8.39	0.00	2.90	0.00
Agua (l/día-m ²)	4.73	8.51	6.78	6.78	6.78	3.63	3.63
Agua (m ³ /año-m ²)	1.73	3.10	2.48	2.48	2.48	1.33	1.33

Fuente: elaboración propia.

3.6.5. Resultados en emisiones GEI por operación de las edificaciones: residencial y no residencial

En la Figura 20 se presentan las emisiones resultantes a nivel nacional asociadas al consumo de electricidad y gas natural. La electricidad incluye la demanda de la operación en las edificaciones, más una proporción utilizada para la distribución del agua. En la Figura 21 y Figura 22 se muestran los resultados para Bogotá y Cali, respectivamente.

En las emisiones GEI a nivel nacional se observa que las asociadas al uso de la electricidad son las dominantes (ver Figura 20). En el sector residencial nacional el aporte por categoría en 2050 es: gas natural (45.2%), electricidad de la edificación (44.4%) y electricidad para distribución de agua (10.4%). Respecto a las emisiones por consumo de energía por ciudad, se observa una mayor contribución del gas natural residencial en las emisiones de Bogotá respecto a las de Cali.

Específicamente las emisiones de Bogotá están dominadas por las del gas natural en el sector residencial (52%), seguido de electricidad (48%). Cali cuenta con la mayoría de las emisiones del sector residencial por consumo de electricidad (63.3%, por uso residencial de electricidad y distribución de agua potable).

Cuando se evalúan las emisiones por operación considerando los sectores residencial y no residencial, se observa lo siguiente:

- Contribución en las emisiones por uso de electricidad en las edificaciones: Bogotá (50.2%), Cali (56.4%) y Nacional (50.4%).
- Aporte en las emisiones por consumo de gas natural en las edificaciones: Bogotá (42.2%), Cali (32.9%) y Nacional (41.6%).
- Contribución en las emisiones por electricidad para distribución de agua: Bogotá (7.6%), Cali (10.7%) y Nacional (8%).

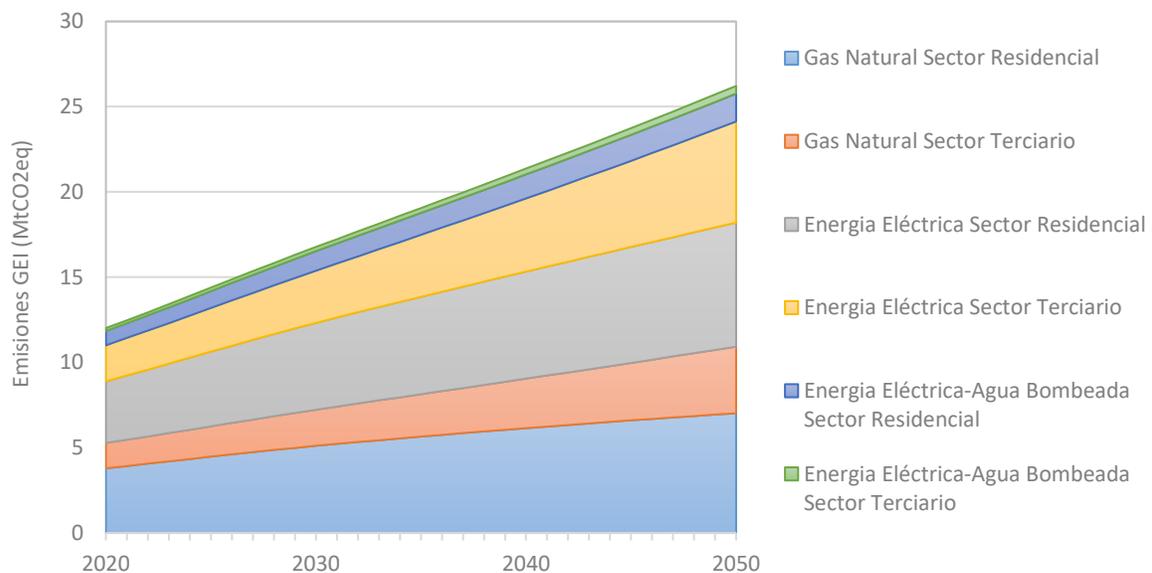


Figura 20. Proyección de emisiones GEI asociadas a la operación a nivel nacional (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

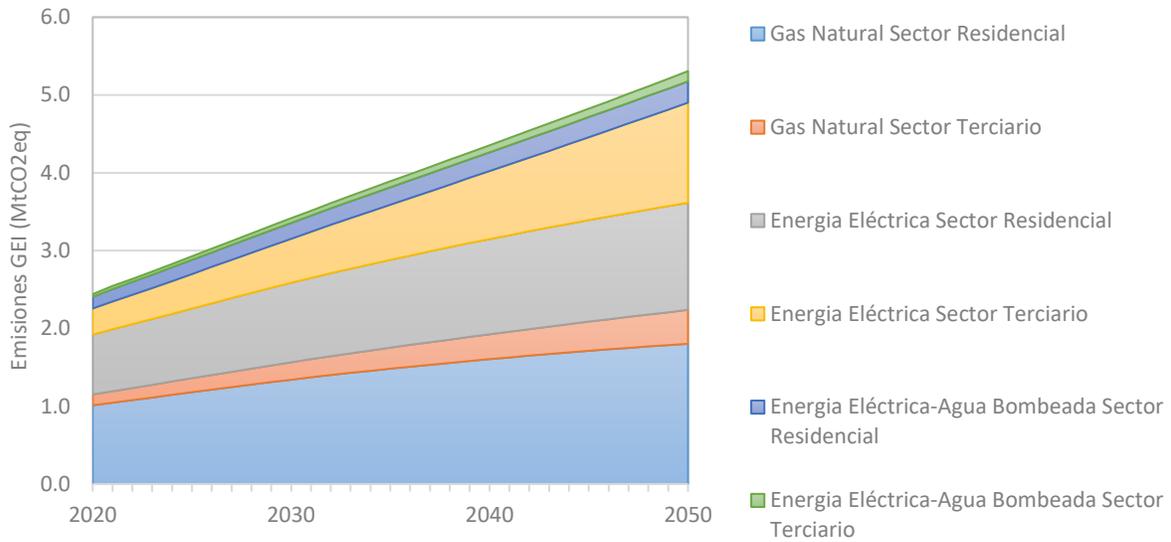


Figura 21. Proyección de emisiones GEI asociadas a la operación en Bogotá (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

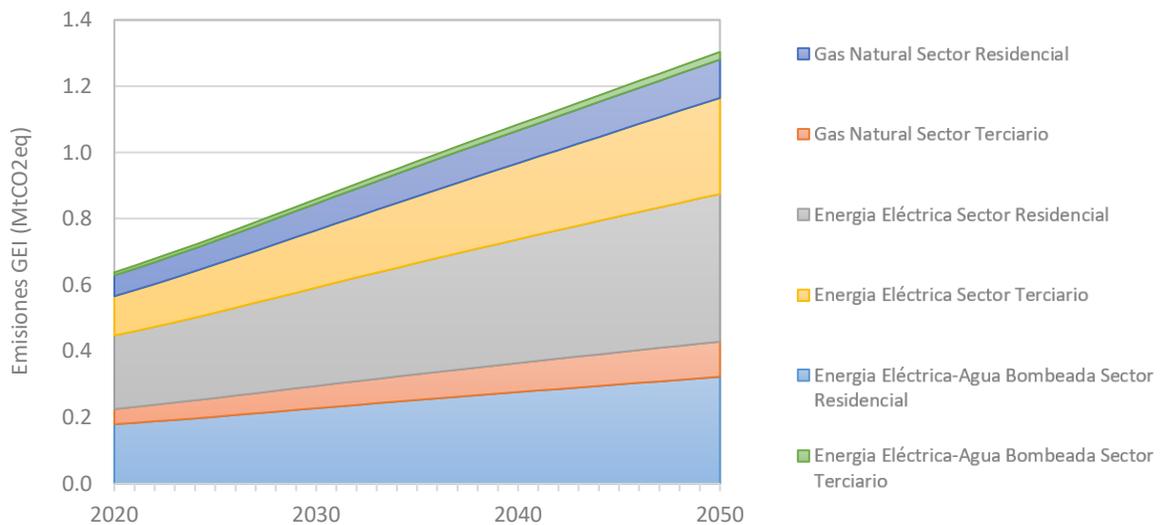


Figura 22. Proyección de emisiones GEI asociadas a la operación en Cali (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

3.7. Aproximación a las emisiones de CO₂eq por deconstrucción y fin de vida útil

La etapa de fin de vida incluye los módulos C1-C4. En este estudio se consideran los dos primeros módulos, que incluyen los procesos asociados a la deconstrucción de la edificación (C1) y al transporte de material

desde la obra hasta su lugar de disposición final (C2). En esta etapa se deben definir escenarios de comportamiento que permitan simular las principales actividades generadoras de emisiones.

Para el módulo C1 se toma como base un estudio internacional (Moncaster and Symons 2013) que establece un coeficiente de emisión basado en el análisis de 10 edificaciones residenciales.

Con respecto al módulo C2 se considera el transporte de la totalidad de los materiales de la edificación hasta su lugar de disposición final. En este módulo se define un escenario de transporte similar al de manufactura local (ver Sección 3.4).

A partir de las proyecciones de edificaciones, de las consideraciones sobre el proceso de deconstrucción y sobre el transporte de residuos hasta su lugar de disposición final se estimaron las emisiones de GEI asociadas a la etapa del proceso de deconstrucción para Colombia. Los resultados para el escenario nacional se presentan en la Figura 23.

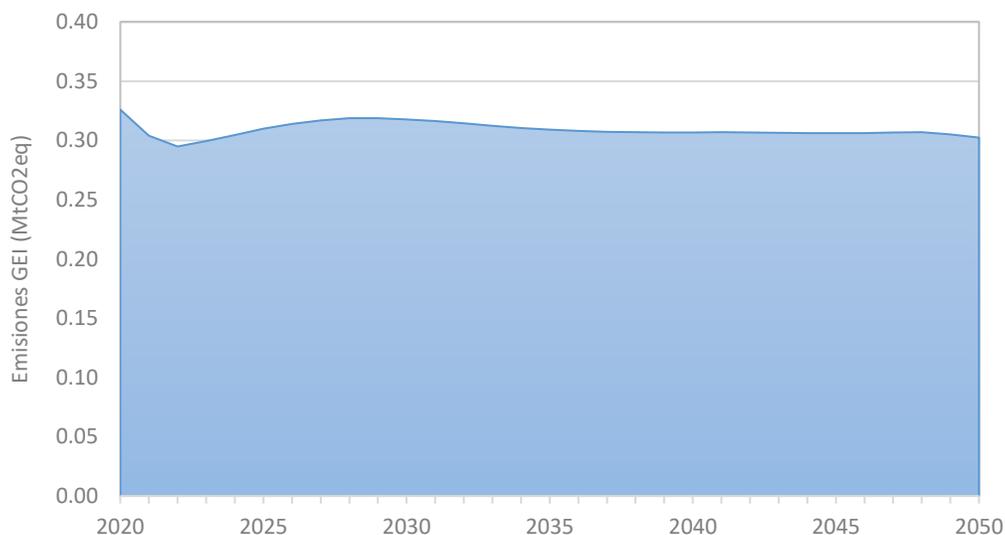


Figura 23. Proyección de emisiones GEI asociadas a la etapa de proceso de deconstrucción en Colombia - Escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados de línea base de emisiones GEI

4.1. Línea base nacional

En la Figura 24, Figura 25 y Figura 26 se presentan las emisiones anuales de GEI de las edificaciones en Colombia según el escenario medio de proyección para el periodo 2020–2050. En la Figura 24 se presentan las emisiones totales mientras que las dos otras figuras los datos se encuentran desagregadas según el tipo de fuente, y etapa del ciclo de vida de las edificaciones.

Las emisiones GEI de las edificaciones aumentan desde 18.9 MtCO₂eq en el año 2020 hasta 32.6 MtCO₂eq en 2050. Las emisiones GEI de las edificaciones se incrementan a una tasa anual equivalente del 1.8%.

Las emisiones de la etapa de operación de las edificaciones son las que contribuyen en mayor proporción en las emisiones anuales GEI de las edificaciones, estas aportan entre 63% y el 80% durante el periodo de análisis; y las restantes corresponden al carbono incorporado (ver Figura 24). Las emisiones por carbono operativo crecen más rápido en los sectores no residenciales (tasa de crecimiento anual equivalente de 3.4%) respecto al residencial (tasa de crecimiento anual equivalente de 2.2%).

Las emisiones por carbono incorporado tienden a estabilizarse alrededor de 6.4 MtCO₂eq/año respondiendo a la tasa de construcción proyectada y en particular al sector de viviendas que fluctúa alrededor de 500,000 unidades nuevas anuales para el periodo analizado. En la Figura 25 se presenta el aporte en las emisiones GEI de las edificaciones por diferentes segmentos. Las emisiones GEI de carbono incorporado de las viviendas informales representa el 36% del carbono incorporado del sector residencial.

Por etapa del ciclo de vida de las edificaciones se observa que las emisiones por carbono operativo cada vez son más relevantes en las emisiones GEI totales, el aporte de estas pasa del 63% en el año 2020 al 80% en el año 2050. Por su aporte en las emisiones GEI, al carbono operativo le siguen los materiales y en tercer lugar las emisiones por otras etapas como la de construcción y fin de vida.

En la Figura 27 se muestran las emisiones totales bajo los cinco escenarios de proyección definidos para el análisis del crecimiento de las edificaciones (punto medio, Lo 80%, Hi 80%, Lo 95% y Hi 95%). En todos los escenarios las emisiones son crecientes. Para una confiabilidad del 95% las emisiones fluctúan entre el 9.48% (2021) al 19.39% (2050) del valor del punto medio.

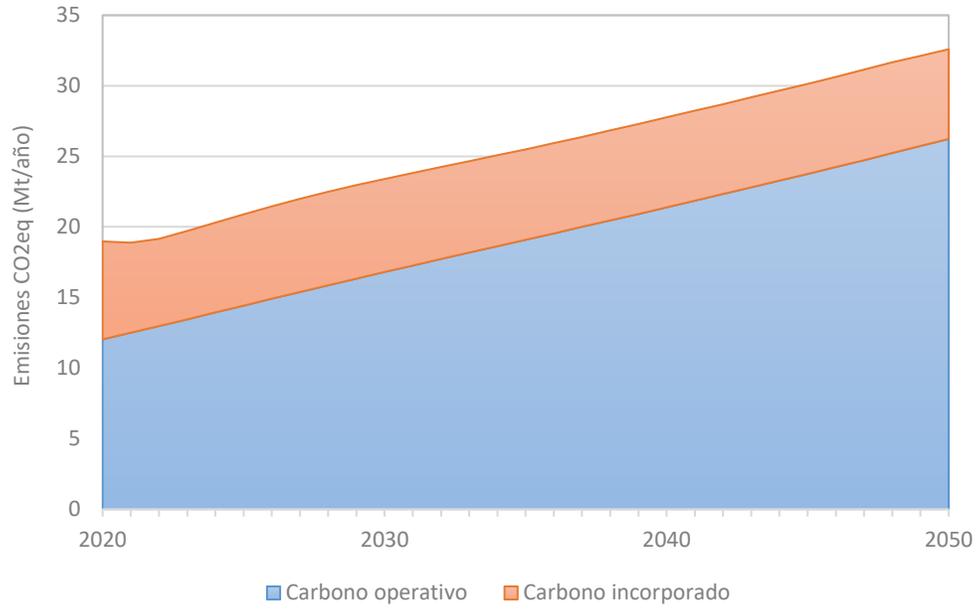


Figura 24. Proyección de emisiones GEI en Colombia bajo el escenario punto medio (2020-2050)
Fuente: elaboración propia.

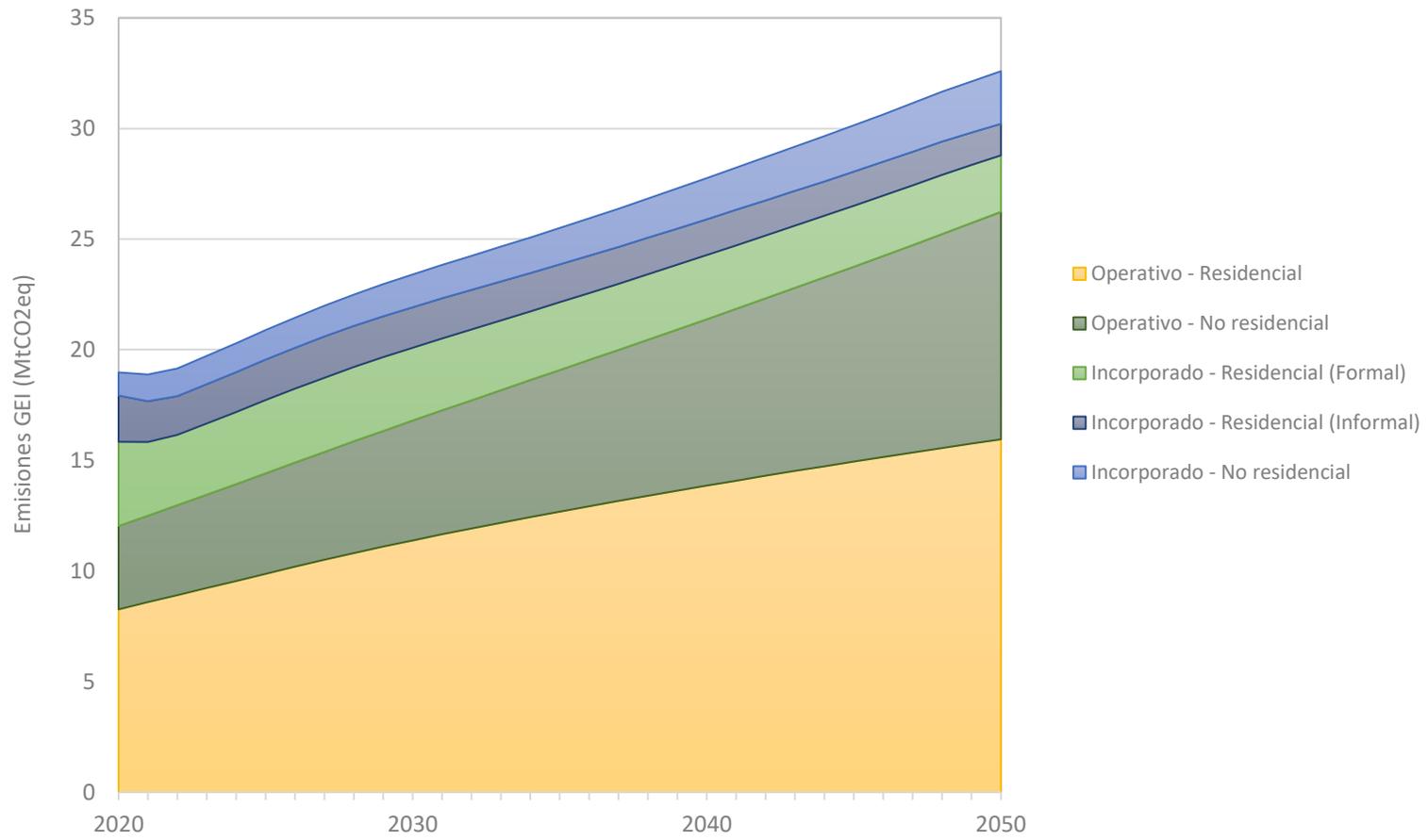


Figura 25. Proyección de emisiones GEI en Colombia según tipo de fuente y segmento edilicio bajo el escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

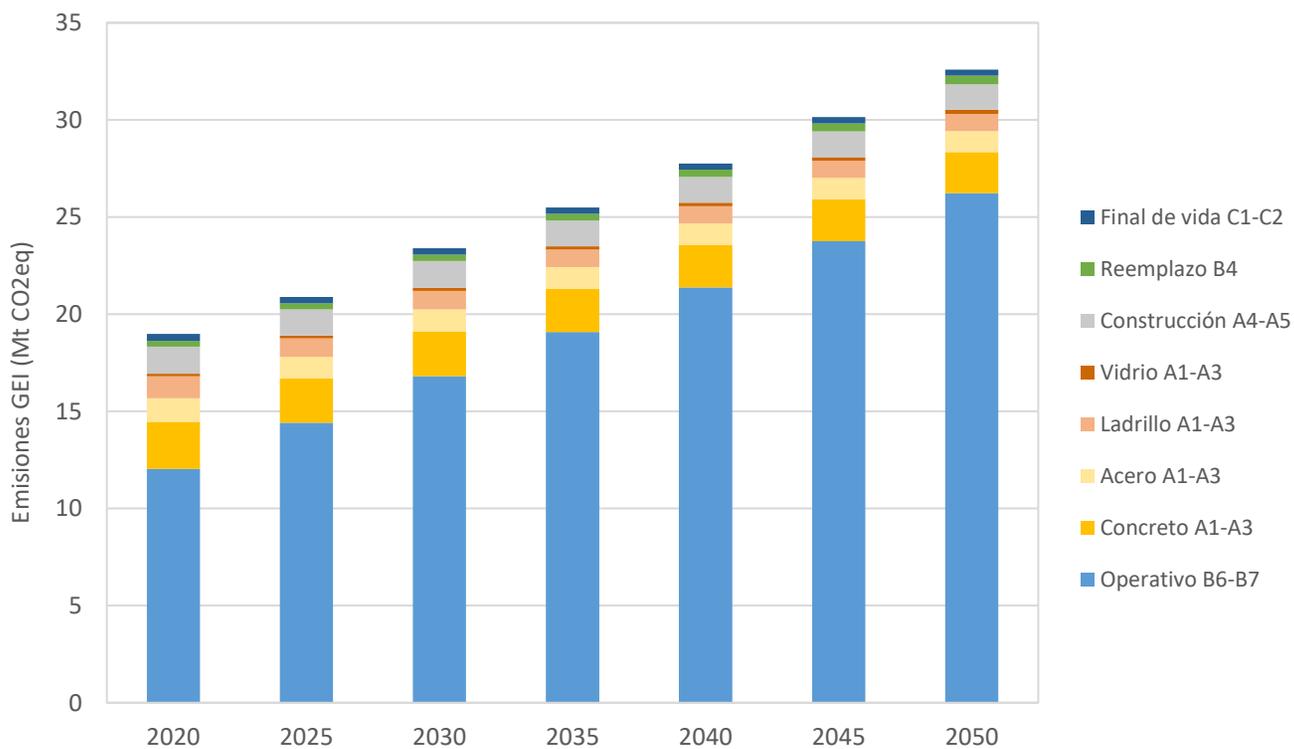


Figura 26. Proyección de emisiones GEI en Colombia de edificaciones bajo el escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

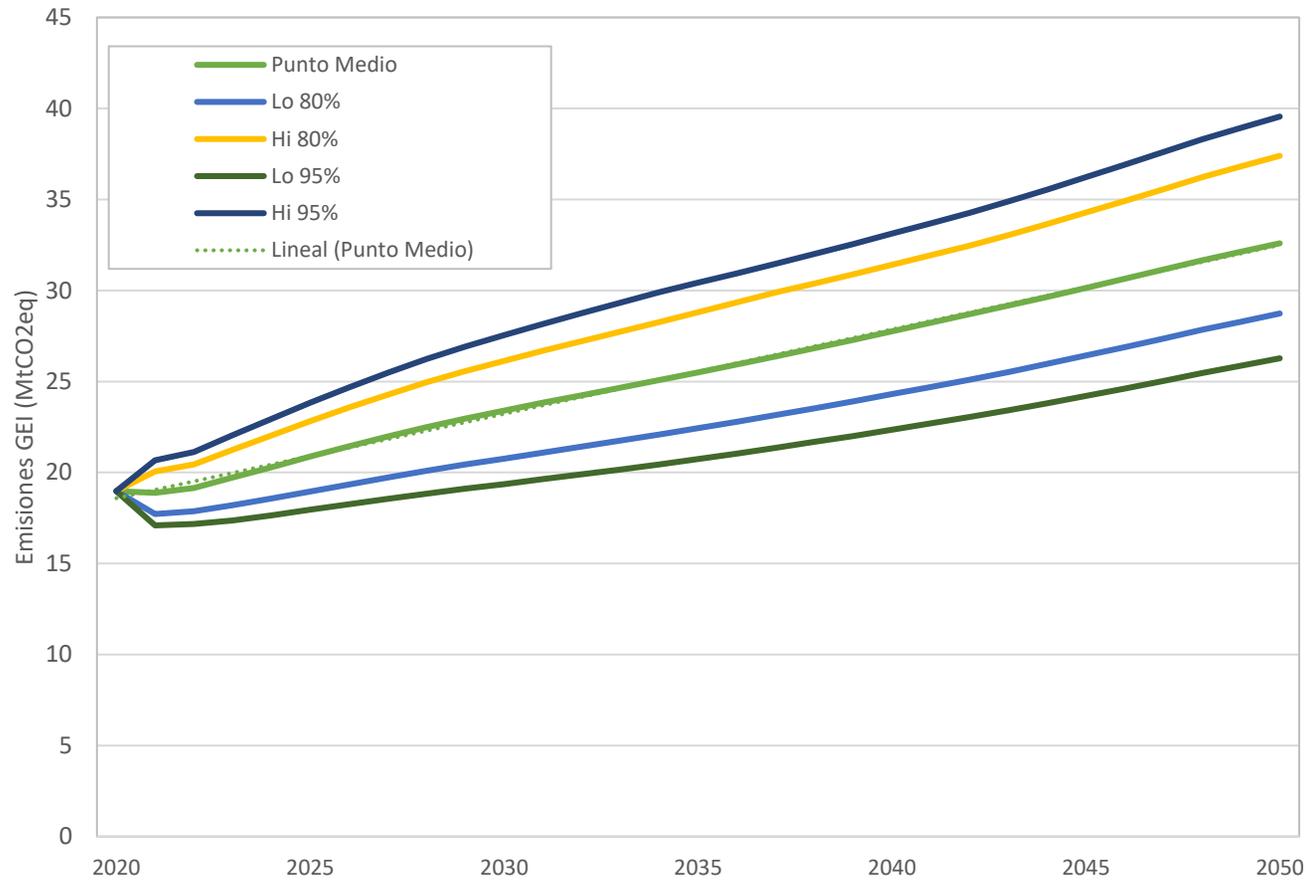


Figura 27. Proyección de emisiones GEI en Colombia según escenario (2020-2050)

Fuente: elaboración propia.

4.2. Línea base para Bogotá y Cali

En la Figura 28 se muestran las emisiones anuales de GEI entre los años 2020 y 2050 de todas las edificaciones de Bogotá especificando el tipo de fuente y el segmento edilicio al que pertenecen. Las emisiones GEI de las edificaciones en Bogotá aumentan desde 3.8 MtCO₂eq en 2020 hasta 6.7 MtCO₂eq en 2050.

En Bogotá las emisiones asociadas a la operación de las edificaciones representan el 65% del total de las emisiones en 2020 y en 2050 representan el 79%. Las emisiones del carbono operativo aumentan de 2.5 a 5.3 Mt CO₂eq lo cual se explica en parte por el rápido crecimiento del sector no residencial. Las emisiones asociadas a los materiales no varían sustancialmente en el periodo de análisis, éstas pasan de 1.35 a 1.40 MtCO₂eq entre el 2020 y 2050. Sin embargo, al revisar la evolución de las emisiones del segmento residencial y no residencial se aprecian cambios importantes, ya que las edificaciones del sector terciario pasan de representar el 11.9% de las emisiones incorporadas en 2020 a representar el 63.3% en 2050. Esto se explica por el escenario de proyección de crecimiento de demanda para este sector.

En Cali las emisiones crecen desde las 0.9 MtCO₂eq en 2020 hasta 1.7 MtCO₂eq en 2050 (ver Figura 29). Las emisiones GEI de carbono operativo pasan de 0.6 MtCO₂eq en 2020 a 1.3 MtCO₂eq en 2050. Las emisiones por carbono incorporado aumentan de 0.34 MtCO₂eq hasta 0.41 MtCO₂eq, entre 2020 y 2050. En Cali las emisiones asociadas al segmento informal representan entre el 54% y el 57% de las emisiones GEI totales. En Bogotá, las emisiones asociadas a viviendas informales representan entre el 6% y el 15%.

En las Figuras Figura 28, Figura 29 y Figura 30 se presentan las proyecciones de las emisiones GEI para Bogotá y Cali para los diferentes escenarios resultantes con el modelo Arima. En términos generales, las proyecciones de Bogotá muestran un comportamiento más similar al escenario de emisiones GEI de las edificaciones a nivel nacional, en donde se observa un aumento de las emisiones GEI en todos los escenarios. En el caso de Cali, las emisiones proyectadas en los escenarios *Lo 80%* y *95%* terminan siendo en 2050 muy similares al nivel del año base.

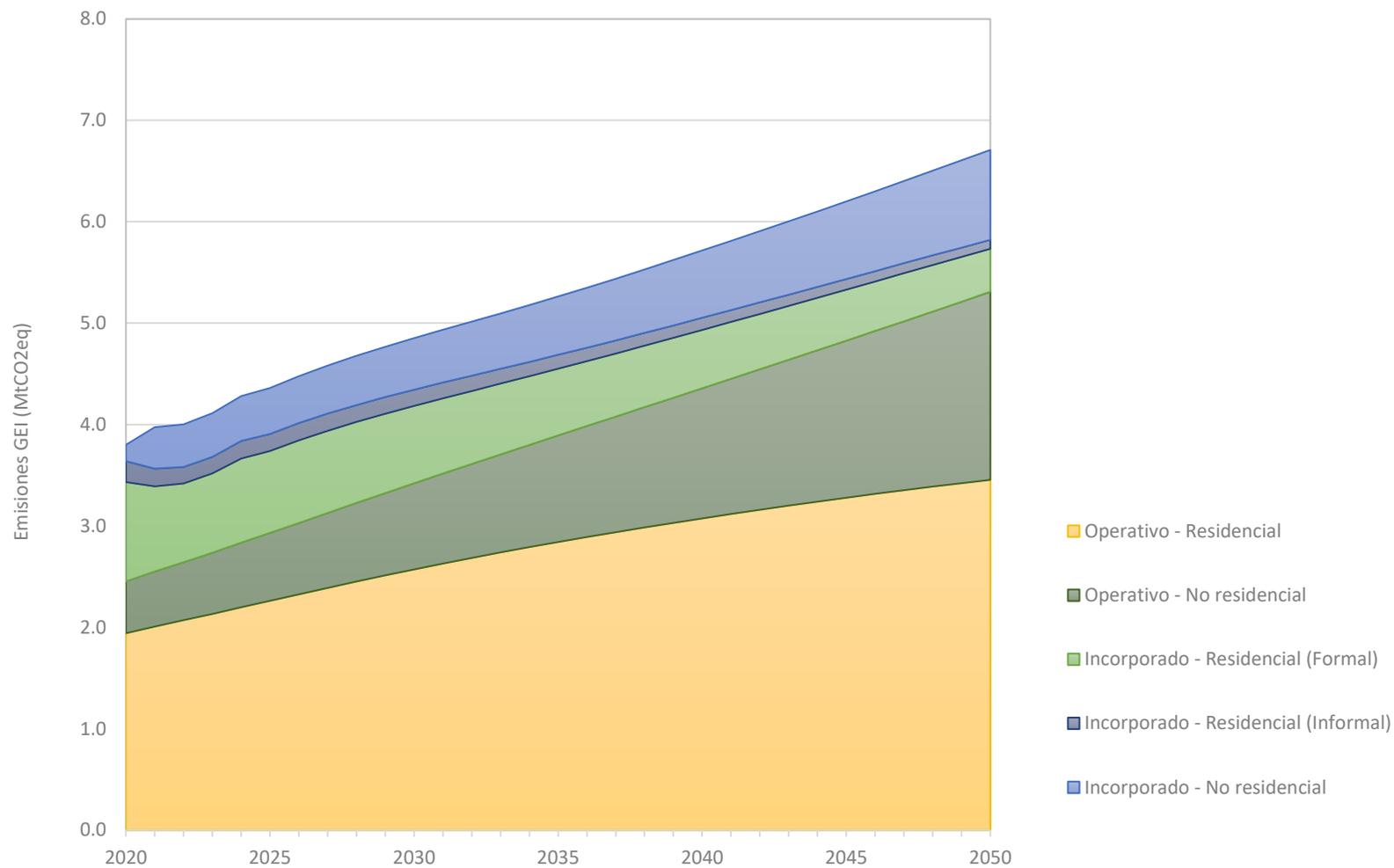


Figura 28. Proyección de emisiones GEI en Bogotá según tipo de fuente y segmento edilicio bajo el escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

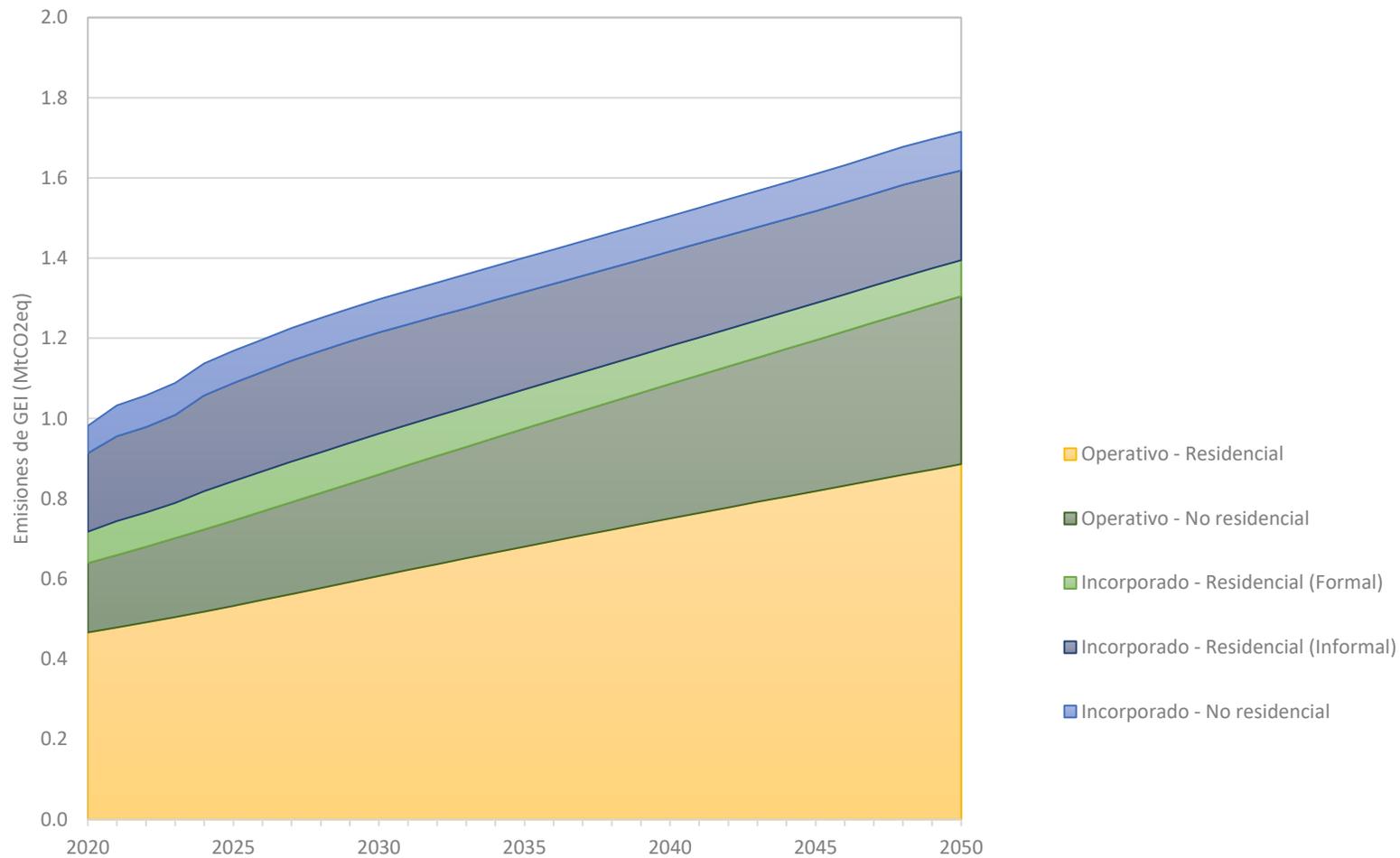
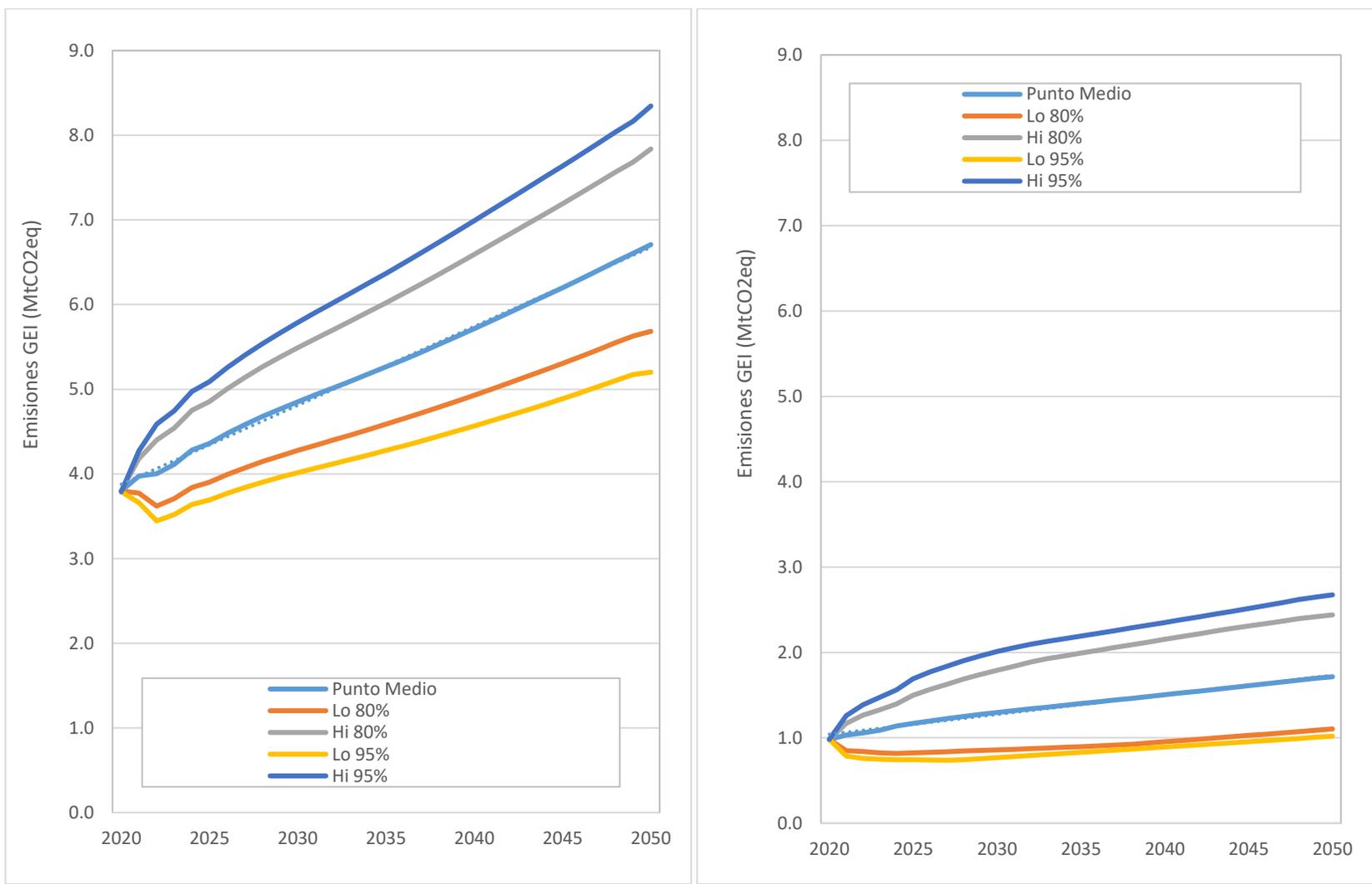


Figura 29. Proyección de emisiones GEI en Cali según tipo de fuente y segmento edilicio bajo el escenario punto medio (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.



a) Bogotá

b) Cali

Figura 30. Proyección de emisiones GEI en Bogotá y Cali según escenario (2020-2050).

Fuente: elaboración propia.

4.3. Comparación de la línea base de emisiones GEI de las edificaciones y la línea base total nacional

En la Figura 31 se muestra la comparación entre las emisiones GEI de la línea base de edificaciones estimadas en este ejercicio y las emisiones de la línea base nacional tomadas del estudio técnico de base para la actualización de la NDC (Pelgrims et al. 2020).

Es importante tener en cuenta que la metodología de estimación de línea base de las emisiones de las edificaciones que se presentó en este documento es de enfoque de ciclo de vida, y ésta es diferente a la metodología empleada para la estimación del inventario nacional de emisiones.

Las emisiones de las edificaciones representan alrededor del 6.7% de las emisiones nacionales durante el periodo de análisis. Cuando se excluyen las emisiones del sector Agricultura, Silvicultura y Uso del Suelo (Afolu, por sus siglas en inglés), se observa un aporte de las edificaciones que varía entre 16% en 2020 a 11% en 2050. Por su orden de magnitud, las emisiones generadas por las edificaciones son comparables con las que genera la industria nacional (las emisiones GEI de la industria en 2020 se estiman en 13 Mt CO₂eq).

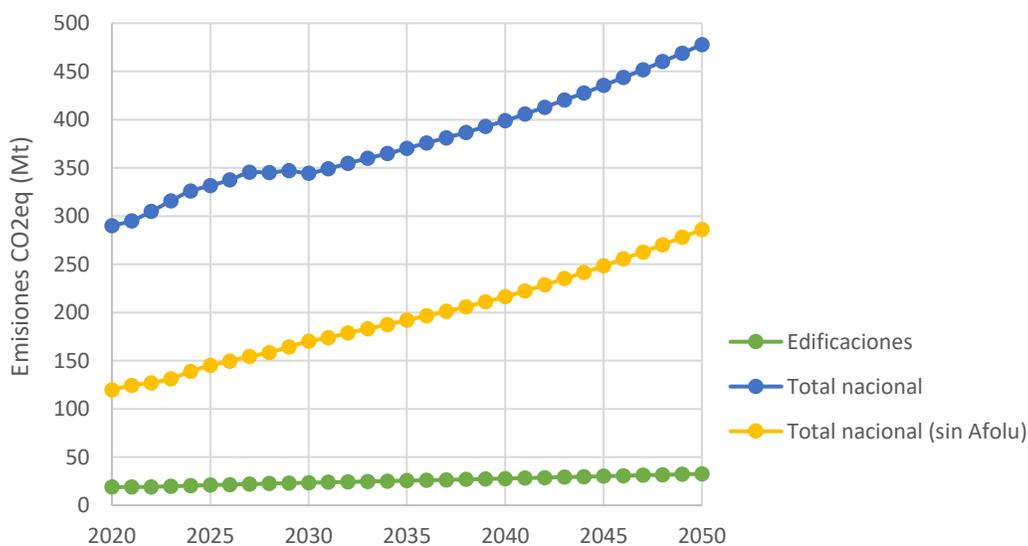


Figura 31. Emisiones GEI de las edificaciones y total nacional (2020-2050).

Fuente: elaboración propia utilizando los resultados de este informe y los de línea base nacional del estudio (Pelgrims et al. 2020).

5. Mensajes finales y próximos pasos

Se estimaron las emisiones GEI para un escenario de línea base de emisiones del sector de las edificaciones a nivel nacional, para Bogotá y Cali, en el periodo 2020-2050. La estimación se desarrolló siguiendo un enfoque de ciclo de vida de las edificaciones. Esta proyección da las primeras señales sobre el potencial del sector y las oportunidades para reducir las emisiones GEI en las distintas etapas del ciclo de vida de las edificaciones en el país en los próximos años.

De este análisis se resaltan los siguientes puntos:

- El sector de las edificaciones en Colombia representa una oportunidad en términos de acción climática. Las emisiones GEI asociadas a las etapas del ciclo de vida de las edificaciones y su proyección en el tiempo dan cuenta de la posibilidad de acción que ofrece el actual escenario tendencial. Esta oportunidad se potencializa con la motivación expresada durante el desarrollo del proyecto en la participación de actores de los sectores privado, público, academia y otros, y su potencial liderazgo en el objetivo de lograr edificaciones neto cero en 2050.
- En el escenario de línea base las emisiones GEI de las edificaciones aumentan a una tasa anual equivalente de 1.8%. Las emisiones GEI se incrementan desde 18.9 MtCO₂eq en el año 2020 hasta 32.6 MtCO₂eq en 2050.
- Se estiman que al menos el 40% de las viviendas que se tendrán en Colombia en el año 2050, corresponderán a las que se construyan entre 2020-2050. Las mejoras que se implementen en el sector de la construcción y otros sectores relacionados con las emisiones del ciclo de vida de las edificaciones en las siguientes décadas serán determinantes en el nivel de emisiones GEI en 2050, año alrededor del cual se requiere contar con sectores descarbonizados.
- Según las proyecciones de vivienda, las de estratos 1-3 representarán la mayor parte de las edificaciones a construir en los próximos años. Esto muestra un reto adicional en el diseño de la estrategia de descarbonización, que tendrá que considerar aspectos de equidad e instrumentos innovadores de financiación. En este aspecto la necesidad de involucrar al sector informal también se evidencia desde el punto de vista de emisiones GEI del sector. Este segmento representa el 35% de las emisiones GEI por carbono incorporado dentro del sector residencial. Las tasas de informalidad varían entre ciudades, siendo en Cali superior que a nivel nacional.
- De las emisiones totales GEI de las edificaciones que se proyectan anualmente, las asociadas a la demanda de energía por operación son dominantes. Estas emisiones reflejan la demanda de las edificaciones tanto existentes como de las nuevas. Cuando se analiza el consumo de energía en el sector residencial por nivel socioeconómico se observa que en general los estratos más altos consumen más energía por vivienda que los más bajos. Aunque se cuenta con más viviendas en los estratos 1-3, la mayor parte de la demanda de energía proviene de las viviendas de estratos más altos. También se observa que en los climas fríos y templado, excepto en el estrato 6, en los otros estratos el consumo de electricidad está muy cercano al nivel de subsistencia. Esta caracterización muestra que las medidas de mitigación de emisiones GEI que se apliquen deberán considerar las condiciones de línea base que son diferentes según segmentos de las edificaciones, clima y nivel socioeconómico.
- Se evidencian oportunidades para mejorar la información de caracterización de las emisiones GEI de las edificaciones de Colombia. Estas se resaltaron a lo largo del documento, pero un elemento

a subrayar es la posibilidad que ha generado este proyecto en torno a la integración de actores para contar con las mejores fuentes y tipos de información sectorial existente a nivel nacional.

Referencias

- Cadena, Ángela, José Guevara, Ana Ozuna, Hernando Vargas, Mónica Espinosa, Katherine Ovalle, and C. Rodríguez. 2012. *Estimación de Curva de Costos de Abatimiento de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Para El Sector Vivienda Urbana*. Bogotá.
- Camacol B&C. 2018. "Informe Construcción Sostenible."
- Cámara Colombiana de la Construcción - CAMACOL. 2021. *Construcción En Cifras*.
- CCCS. 2021. "Reporte de Línea Base y Estado Actual Del Sector de La Edificación En Colombia Con Miras a Edificaciones Neto Cero Carbono (En Desarrollo)."
- CELSIA. 2021. "Te Explicamos En Qué Consiste El Consumo de Subsistencia."
- Centro de estudios de la construcción y el desarrollo urbano y regional - CENAC. 2015. *Distribución Del Total de Viviendas Según Estrato Socioeconómico*.
- Centro de estudios de la construcción y el desarrollo urbano y regional -CENAC, and Asociación Colombiana de Productores de Concreto Certificado - ASOCRETO. 2012. "ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA VIVIENDA INFORMAL EN BOGOTA."
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. 2018. *Censo de Edificaciones - CEED*.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. 2019. "Resolución 1198 de 2019."
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. 2021. *Estadísticas Construcción*.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. 2018. *Censo Nacional de Población y Vivienda*.
- DNP, Geonómica & EconómicaCONÓMICA. 2020. *Análisis Sobre Ahorros Generados Por El Desarrollo de Las Obras de Infraestructura Vial y Por La Modernización Del Parque Automotor de Carga, En Los Costos y En Las Emisiones de Gases Efecto Invernadero Del Transporte de Carga Terrestre, y Potencial Trans*. Bogotá D.C., Colombia.
- Ecoingeniería. 2012. "Determinación de Propiedades Físicas y, Estimación Del Consumo Energético En La Producción, de Acero, Concreto, Vidrio, Ladrillo y Otros Material, Entre Ellos Los Alternativos y Otros de Uso No Tradicional, Utilizados En La Construcción de Edificaciones Colombianas." Retrieved (<https://es.scribd.com/document/300318607/Informe-Final-Contrato-Upme-Pnud-Ecoingenieria>).
- Ecotransit. 2021. "Emission Calculator for Greenhouse Gases and Exhaust Emissions." Retrieved (<https://www.ecotransit.org/en/emissioncalculator/>).
- European Committee for Standardization. 2011. *EN15978:2011 Sustainability of Construction Works: Assessment of Environmental Performance of Buildings: Calculation Method*.
- Fernandes, Edésio. 2011. "Regularización de Asentamientos Informales En América Latina."
- Gmünder, Simon, Nicholas Myers, Jerome Laffley, Laura Rubio, and Silva Belizario. 2018. *Life Cycle Inventories of Cement, Concrete and Related Industries - Colombia and Peru*. Bogotá.

- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. 2018. "Segundo Reporte Bienal de Actualización Segundo Reporte Bienal de Actualización." 180.
- Moncaster, A. M., and K. E. Symons. 2013. "A Method and Tool for 'Cradle to Grave' Embodied Carbon and Energy Impacts of UK Buildings in Compliance with the New TC350 Standards." *Energy and Buildings* 66:514–23. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.07.046.
- National Association of Home Builders. 2007. *Study of Life Expectancy of Home Components*.
- Ortiz-Rodríguez, Óscar, Francesc Castells, and Guido Sonnemann. 2012. "Environmental Impact of the Construction and Use of a House: Assessment of Building Materials and Electricity End-Uses in a Residential Area of the Province of Norte de Santander, Colombia."
- Pelgrims, Maarten, Anjana Das, Juan Correa, Ricardo Morales, Jose Lenin Morillo, Monica Espinosa, Juan Camilo Herrera, J. F. Mendez-Espinosa, Angela Cadena, Jan Peter Lesschen, Eric Arets, and Ana Maria Loboguerrero. 2020. *Propuesta de Actualización y Consolidación de Escenarios de Emisiones GEI Por Sector y Evaluación de Costos de Abatimiento Asociados En Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.
- Ramírez, Alberto. 2015. "Modelo de Predicción de Demanda Convencional de Gas." Universidad Complutense, Madrid.
- Secretaria Distrital de Planeación - SDP. 2020. *Resultados Sobre Los Indicadores de Consumo de Agua y Energía Eléctrica En Bogotá 2012-2019*.
- Tecnoglass. 2016. "ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - PROCESSED GLASS."
- Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME. 2013. "Determinación Del Potencial de Reducción Del Consumo Energético En El Sector Servicios En Colombia." 2020.
- Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME. 2020. "Plan Energético Nacional." Retrieved (<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx>).
- Universidad de Los Andes. 2013. "Marginal Abatement Cost Curve Development for Buildings of the Commercial Sector in Colombia."
- UPME. 2020. "Documento de Cálculo Del FE Del SIN 2019 Dic 2020."

Anexos

Anexo 1. Modelo Arima.

Como lo describe Ramírez (2015):

Los modelos ARIMA son modelos estadísticos desarrollados por Box and Jenkins para series temporales que tienen en cuenta la dependencia existente entre los datos, es decir, la observación en el momento dado es modelada en función de datos anteriores. Esta metodología permite describir el valor como una función lineal de los datos anteriores y errores debidos al azar, y en el que se puede incluir un componente cíclico o estacional (Ramírez 2015).

Este modelo toma la siguiente forma:

$$y_i = \sum \phi_i y_{t-1} + \sum \beta_k x_{tk} + \varepsilon_t + \sum \phi_j \varepsilon_{t-j}$$

En donde:

ϕ_i : Coeficiente calculados en el modelo que incluyen la importancia de los valores pasados de la variable para describir el modelo.

y_{t-1} : Valores pasados de la variable analizada.

β_k : Valor que considera el peso de las variables independiente acorde a su importancia.

x_{tk} : Variable independiente considerada en el tiempo t.

ε_t : Errores del modelo.

Este es un modelo de auto regresión que describe las predicciones futuras de una variable independiente y_i considerando los elementos de la auto correlación temporal. Es decir, utiliza variables productoras x_{tk} , dependientes, y valores pasados de la variable para estimar el valor presente con la base en la mejor combinación posible de parámetros de verosimilitud.

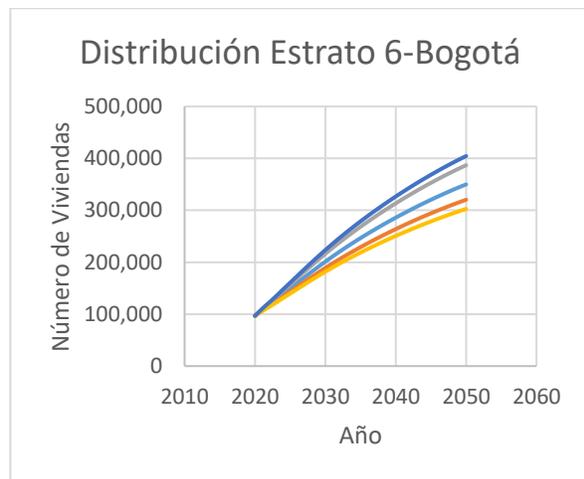
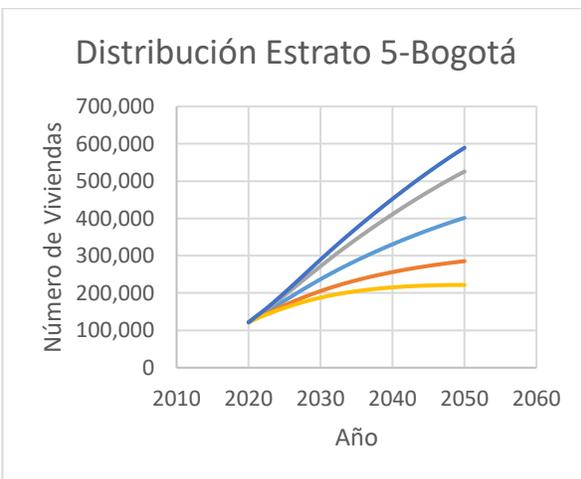
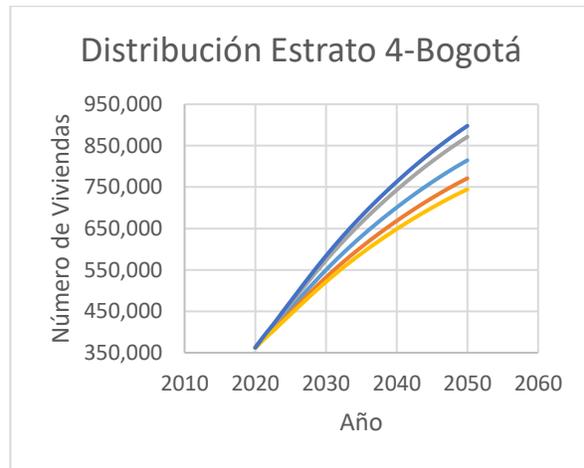
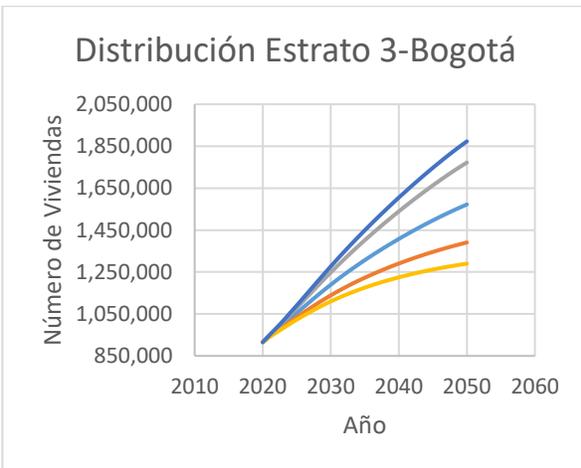
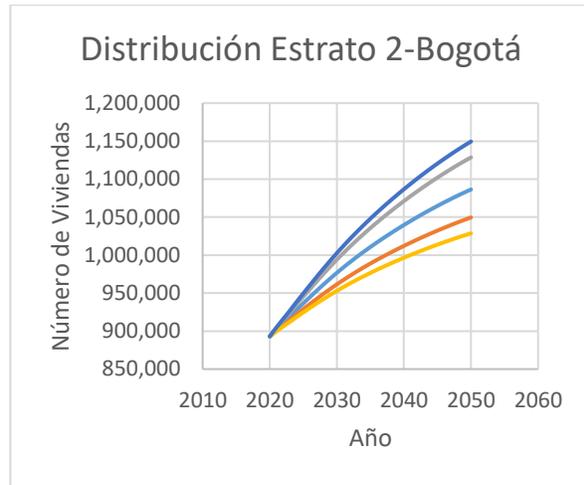
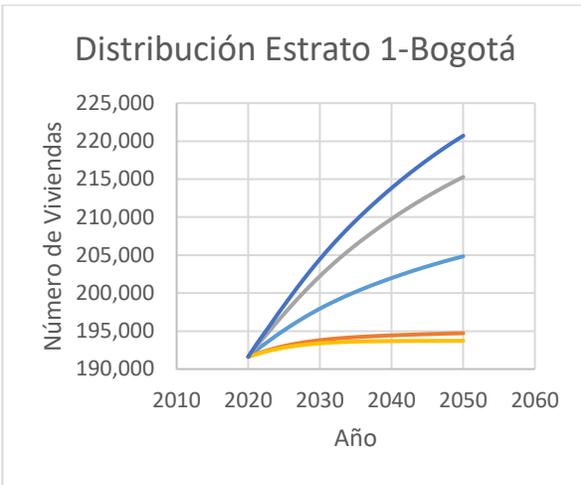
Anexo 2. Proyección de viviendas a nivel nacional.

Tabla A 1. Número de viviendas proyectadas a nivel Nacional, Bogotá y Cali.

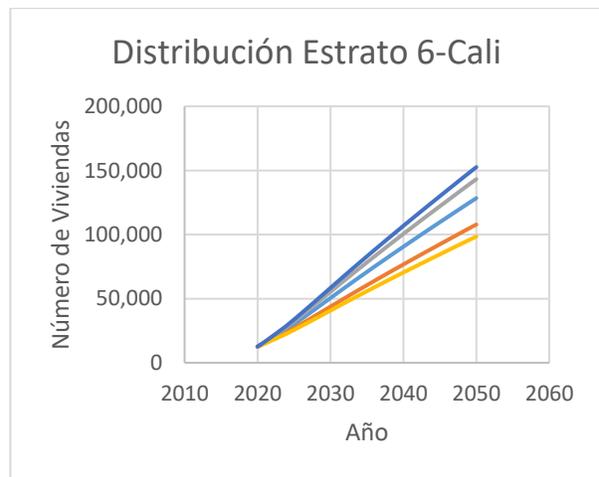
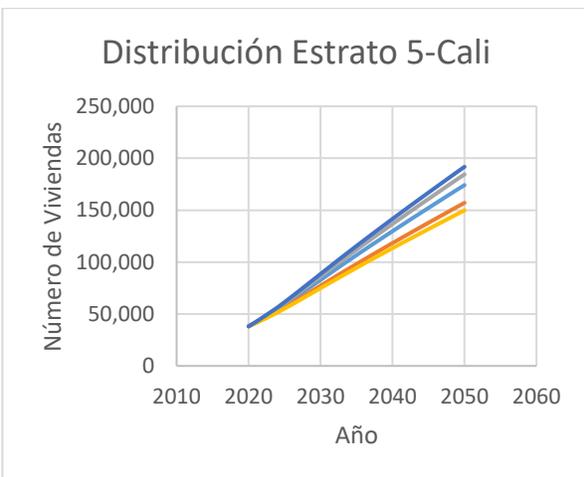
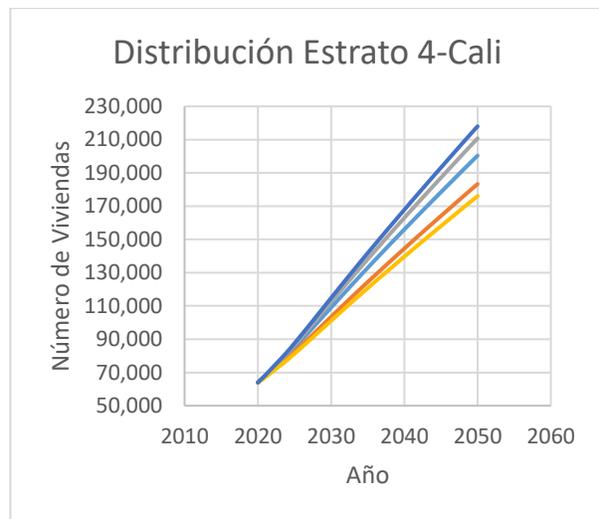
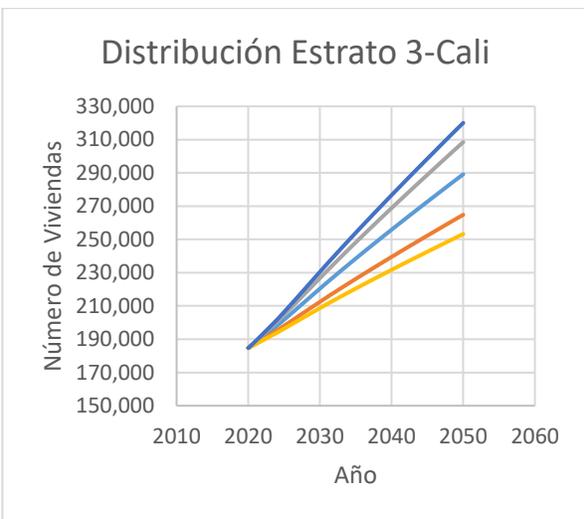
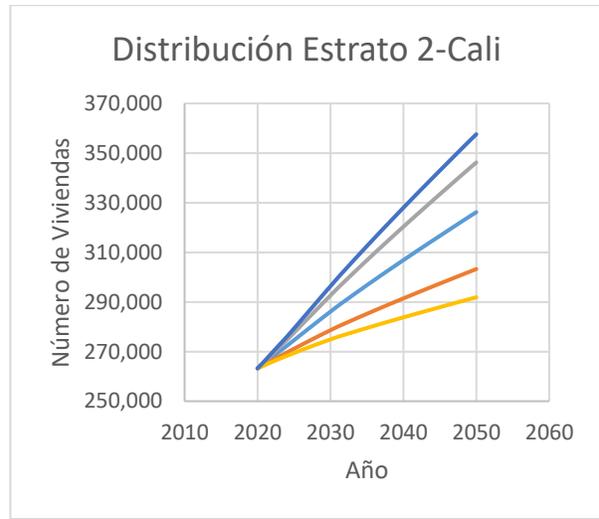
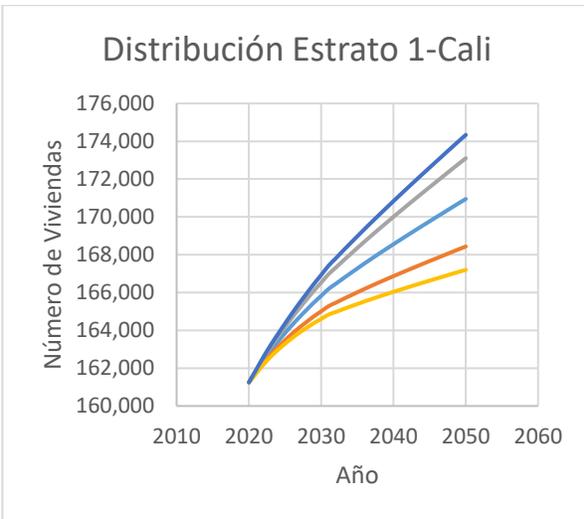
Año	Cabecera Bogotá	Rural Bogotá	Total Bogotá	Cabecera Cali	Rural Cali	Total Cali	Cabecera Nacional	Rural Nacional	Total Nacional
2018	2,531,552	9,135	2,540,687	727,409	18,325	745,734	12,423,924	4,389,768	16,813,692
2019	2,633,586	9,842	2,643,428	744,785	18,325	763,110	12,967,599	4,482,744	17,450,343
2020	2,729,436	10,546	2,739,982	761,610	18,325	779,935	13,485,574	4,571,199	18,056,773
2021	2,811,251	11,210	2,822,461	777,732	18,325	796,057	13,941,624	4,646,082	18,587,706
2022	2,886,949	11,787	2,898,736	795,134	18,325	813,459	14,369,610	4,723,239	19,092,849
2023	2,963,121	12,344	2,975,465	812,671	18,334	831,005	14,797,647	4,805,263	19,602,910
2024	3,044,109	12,902	3,057,011	830,705	18,346	849,051	15,225,596	4,892,759	20,118,355
2025	3,122,917	13,403	3,136,320	850,349	18,395	868,744	15,656,234	4,984,314	20,640,548
2026	3,202,358	13,911	3,216,269	870,496	18,446	888,942	16,085,738	5,080,636	21,166,374
2027	3,281,462	14,370	3,295,832	890,935	18,491	909,426	16,512,174	5,181,882	21,694,056
2028	3,359,511	14,809	3,374,320	911,675	18,532	930,207	16,933,370	5,288,424	22,221,794
2029	3,436,031	15,214	3,451,245	932,501	18,577	951,078	17,346,270	5,399,330	22,745,600
2030	3,510,623	15,598	3,526,221	953,351	18,618	971,969	17,748,495	5,514,677	23,263,172
2031	3,583,127	15,961	3,599,088	974,163	18,642	992,805	18,141,624	5,632,960	23,774,584
2032	3,653,343	16,320	3,669,663	994,805	18,846	1,013,651	18,526,794	5,751,875	24,278,669
2033	3,721,471	16,664	3,738,135	1,015,303	19,074	1,034,377	18,903,989	5,871,242	24,775,231
2034	3,787,576	17,002	3,804,578	1,035,619	19,293	1,054,912	19,273,461	5,991,075	25,264,536
2035	3,851,785	17,337	3,869,122	1,055,803	19,501	1,075,304	19,636,008	6,111,399	25,747,407
2036	3,914,193	17,658	3,931,851	1,075,842	19,697	1,095,539	19,991,853	6,232,739	26,224,592
2037	3,974,895	17,966	3,992,861	1,095,746	19,890	1,115,636	20,341,885	6,354,193	26,696,078
2038	4,034,027	18,264	4,052,291	1,115,543	20,076	1,135,619	20,686,825	6,476,303	27,163,128
2039	4,091,644	18,555	4,110,199	1,135,222	20,257	1,155,479	21,026,654	6,599,050	27,625,704
2040	4,147,835	18,840	4,166,675	1,154,835	20,432	1,175,268	21,362,034	6,722,413	28,084,447
2041	4,202,612	19,109	4,221,721	1,174,343	20,601	1,194,944	21,692,811	6,846,577	28,539,388
2042	4,255,957	19,379	4,275,336	1,193,754	20,763	1,214,517	22,018,872	6,971,316	28,990,188
2043	4,307,853	19,616	4,327,469	1,213,060	20,918	1,233,978	22,340,217	7,096,583	29,436,800
2044	4,358,303	19,861	4,378,164	1,232,243	21,064	1,253,307	22,656,633	7,222,170	29,878,803
2045	4,407,346	20,112	4,427,458	1,251,343	21,203	1,272,546	22,968,589	7,348,225	30,316,814
2046	4,454,985	20,345	4,475,330	1,270,392	21,334	1,291,726	23,276,493	7,474,538	30,751,031
2047	4,501,293	20,564	4,521,857	1,289,441	21,458	1,310,899	23,580,953	7,600,858	31,181,811
2048	4,546,205	20,777	4,566,982	1,308,515	21,574	1,330,088	23,882,045	7,726,775	31,608,820
2049	4,589,347	20,999	4,610,346	1,327,414	21,679	1,349,093	24,175,845	7,851,111	32,026,956
2050	4,630,805	21,202	4,652,007	1,346,055	21,775	1,367,830	24,461,057	7,974,152	32,435,209

Fuente: DANE(Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018)

Anexo 3. Proyección de viviendas por estrato.



— Point Forecast — Lo 80 — Hi 80 — Lo 95 — Hi 95

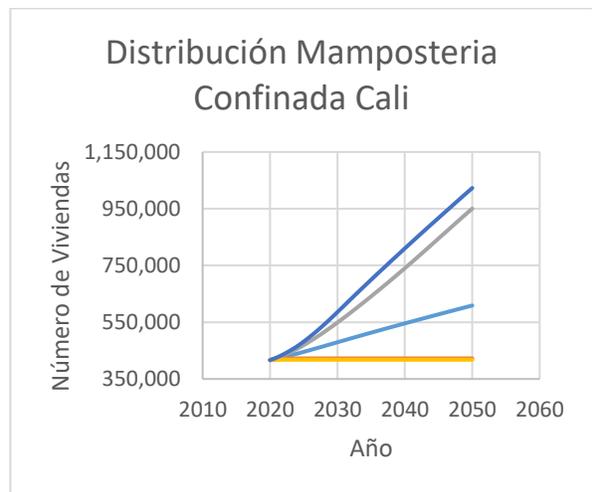
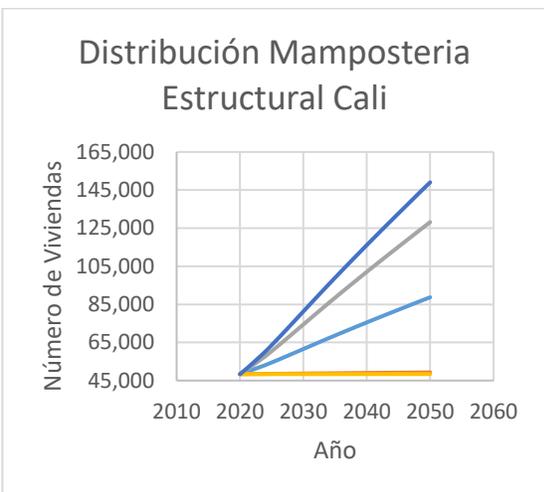
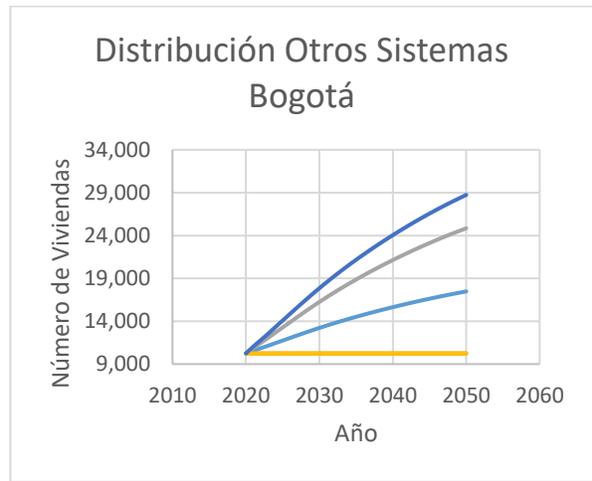
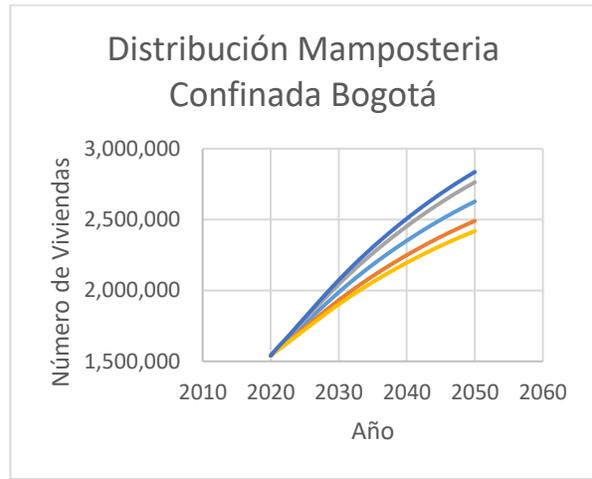
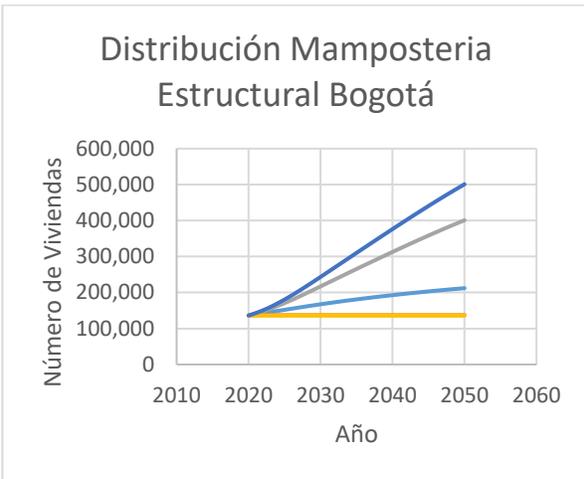


— Point Forecast — Lo 80 — Hi 80 — Lo 95 — Hi 95

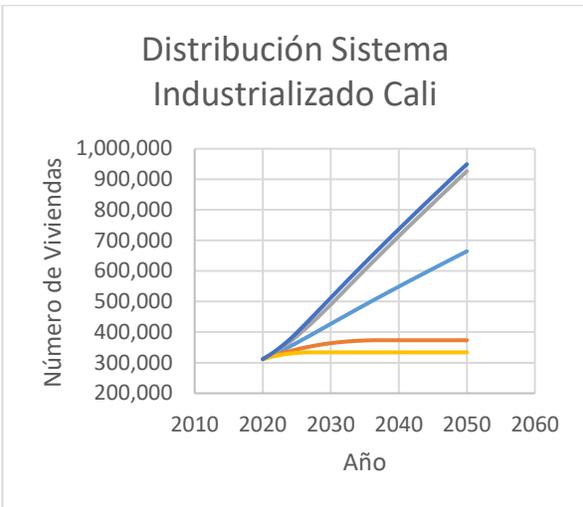


— Point Forecast — Lo 80 — Hi 80 — Lo 95 — Hi 95

Anexo 4. Proyección de viviendas por método constructivo.



— Point Forecast — Lo 80 — Hi 80 — Lo 95 — Hi 95



— Point Forecast — Lo 80 — Hi 80 — Lo 95 — Hi 95

Anexo 5. Sistemas constructivos.

A continuación, se presentan las definiciones de los sistemas constructivos del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2018).

Mampostería estructural: Sistema constructivo que se realiza por medio de unidades de mampostería como lo son los ladrillos o bloques estructurales en arcilla o concreto. Posee elementos que actúan como complemento de la mampostería entre los que se mencionan el mortero de pega o mortero de inyección, refuerzos que pueden ser varillas, grafiles o mallas, alambres, platinas, etc.; este sistema tiene la capacidad de poder ser modulado. Su cimentación se puede realizar por vigas con concreto reforzado, ciclópeo y placas flotantes, incrustadas o sobre el terreno. Las divisiones entre pisos se realizan por placas en concreto reforzado, prefabricadas o fundidas en el sitio de obra. Por lo general este sistema constructivo se utiliza para edificaciones no mayores a tres pisos.

Mampostería confinada pórticos: Se realiza por medio de elementos horizontales y verticales denominados vigas, viguetas y columnas, complementados también por elementos de mampostería (ladrillos o bloques en arcilla o concreto) que actúan como unidades de confinamiento y cerramiento de espacios. Las vigas, viguetas y columnas pueden ser construidas en concreto reforzado (triturado, cemento, arena y acero), metálicas, prefabricados, fundidos o ensamblados en obra; se conoce como sistema tradicional con pórticos. Los elementos que actúan como complemento de este sistema son el mortero de pega, unidades de mampostería y concreto reforzado. Su cimentación se puede realizar por vigas con concreto reforzado, ciclópeo, pilotes o placas flotantes. Al igual que el anterior sistema, las divisiones entre pisos para obras mayores a dos pisos se realiza por placas en concreto reforzado, prefabricadas o fundidas en el sitio de obra.

Prefabricados industrializados (“in situ” o “no in situ”): son sistemas constructivos prediseñados por medio de formaletería, modulados según diseño arquitectónico y ensamblados por anclajes, pegantes o selladores, elementos de fijación, concreto, y demás elementos de unión estructural. Su fundación se puede realizar en la obra o en plantas de fabricación de paneles prefabricados. Poseen elementos complementarios de refuerzo como lo son, concreto, hierro, mallas electrosoldadas, formaletas. Su cimentación se puede realizar por vigas con concreto reforzado, ciclópeo y placas flotantes.

Anexo 6. Participación de viviendas en Colombia, Bogotá y Cali por prototipo.

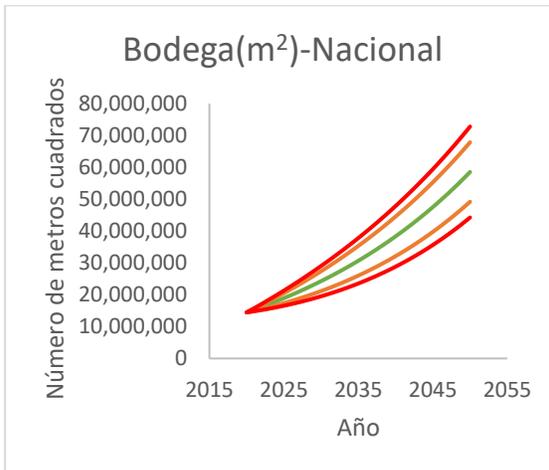
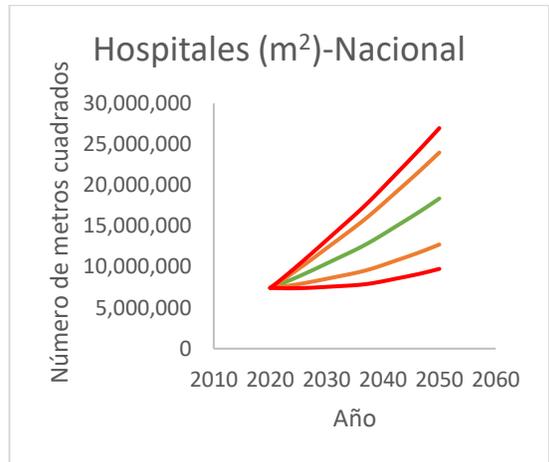
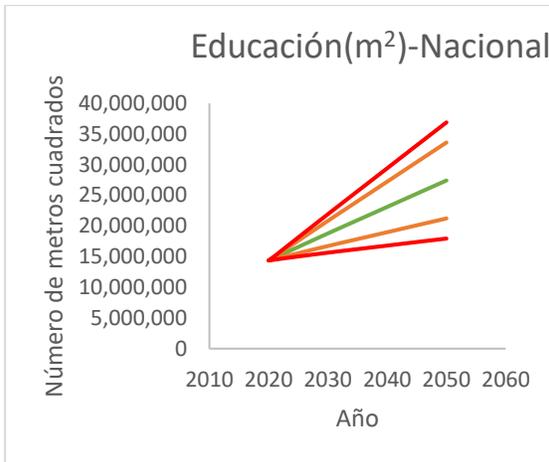
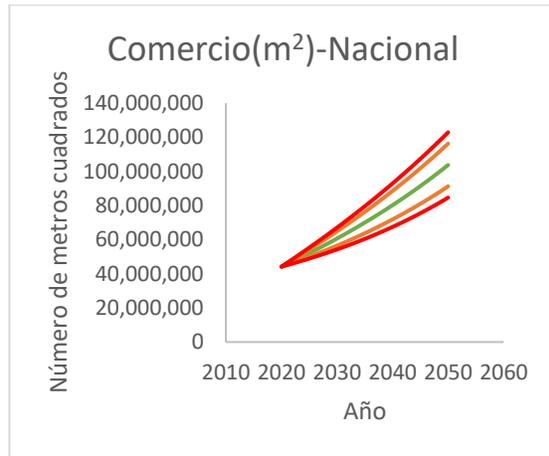
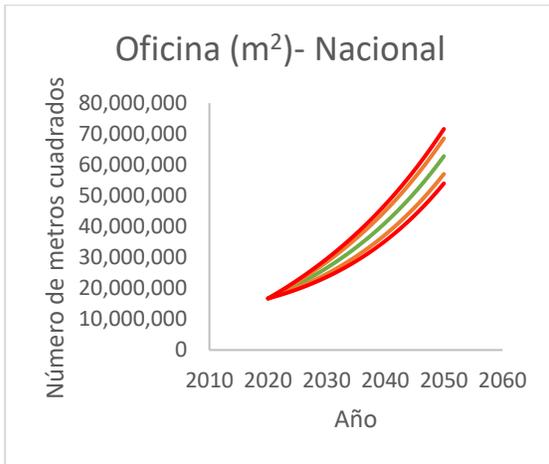
Tabla A 2. Porcentaje de uso de los distintos prototipos de vivienda.

Bogotá						
	MC-VIS	MC-NO VIS	ME-VIS	ME-NO VIS	SI-VIS	SI- NO VIS
2008	19.08%	80.92%	78.61%	21.39%	35.39%	64.61%
2009	32.03%	67.97%	86.68%	13.32%	44.09%	55.91%
2010	28.42%	71.58%	84.90%	15.10%	33.76%	66.24%
2011	36.28%	63.72%	78.62%	21.38%	55.13%	44.87%
2012	29.87%	70.13%	91.32%	8.68%	38.43%	61.57%
2013	15.26%	84.74%	93.26%	6.74%	43.80%	56.20%
2014	27.31%	72.69%	85.62%	14.38%	51.11%	48.89%
2015	19.91%	80.09%	92.93%	7.07%	57.56%	42.44%
2016	11.56%	88.44%	95.25%	4.75%	50.84%	49.16%
2017	12.49%	87.51%	99.39%	0.61%	59.00%	41.00%
2018	10.80%	89.20%	97.17%	2.83%	55.45%	44.55%
2019	18.16%	81.84%	97.47%	2.53%	34.23%	65.77%
2020	18.04%	81.96%	97.35%	2.65%	46.99%	53.01%
Promedio	21.48%	78.52%	90.66%	9.34%	46.60%	53.40%
Nacional						
	MC	MC-NO VIS	ME-VIS	ME-NO VIS	SI-VIS	SI- NO VIS
2008	30.81%	69.19%	70.49%	29.51%	28.38%	71.62%
2009	41.00%	59.00%	77.99%	22.01%	42.69%	57.31%
2010	37.77%	62.23%	76.39%	23.61%	34.15%	65.85%
2011	38.37%	61.63%	70.94%	29.06%	50.72%	49.28%
2012	32.67%	67.33%	84.55%	15.45%	43.00%	57.00%
2013	30.68%	69.32%	88.21%	11.79%	53.60%	46.40%
2014	31.84%	68.16%	81.27%	18.73%	57.44%	42.56%
2015	25.61%	74.39%	87.74%	12.26%	54.49%	45.51%
2016	24.21%	75.79%	83.14%	16.86%	46.48%	53.52%
2017	26.62%	73.38%	86.16%	13.84%	56.01%	43.99%
2018	24.62%	75.38%	85.47%	14.53%	56.25%	43.75%
2019	32.88%	67.12%	86.03%	13.97%	56.05%	43.95%
2020	38.77%	61.23%	85.50%	14.50%	65.57%	34.43%
Promedio	31.99%	68.01%	81.84%	18.16%	49.60%	50.40%
Cali						
	MC	MC-NO VIS	ME-VIS	ME-NO VIS	SI-VIS	SI- NO VIS
2008	42.21%	57.79%	48.96%	51.04%	14.54%	85.46%
2009	50.66%	49.34%	65.50%	34.50%	36.84%	63.16%
2010	50.79%	49.21%	47.42%	52.58%	19.86%	80.14%
2011	49.21%	50.79%	73.13%	26.87%	36.39%	63.61%
2012	48.05%	51.95%	81.74%	18.26%	29.40%	70.60%
2013	53.35%	46.65%	96.80%	3.20%	37.28%	62.72%

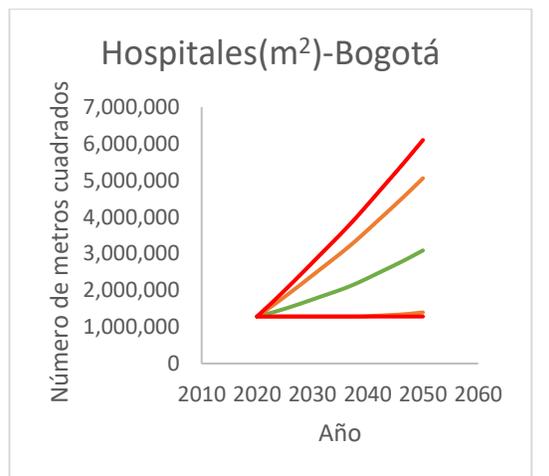
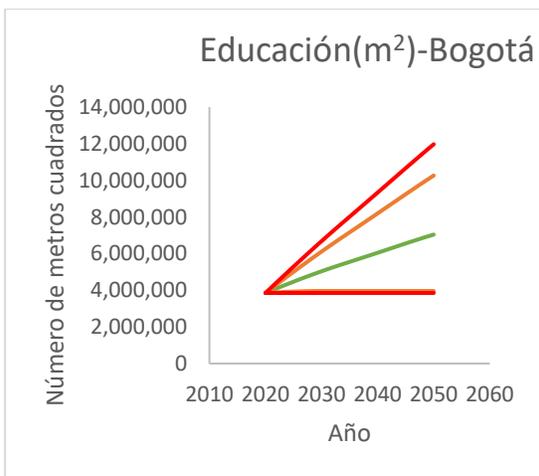
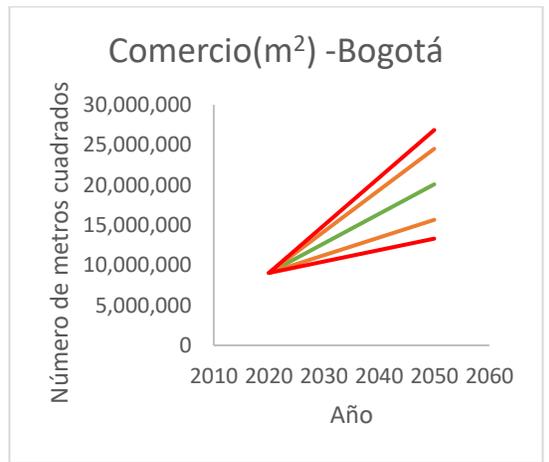
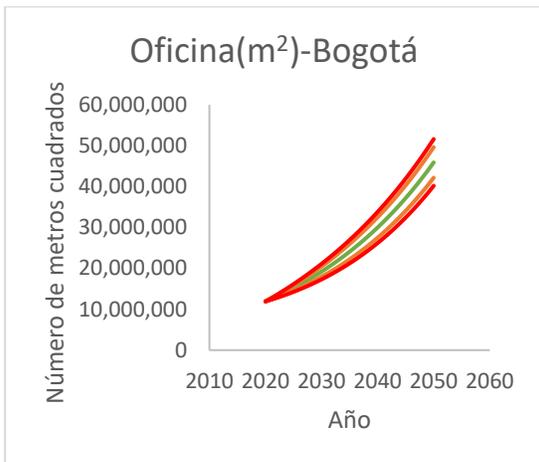
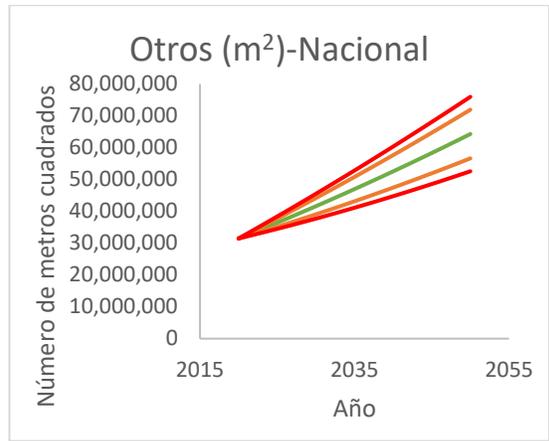
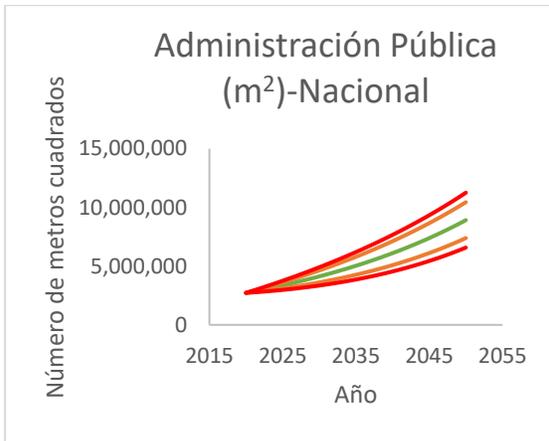
2014	56.89%	43.11%	61.88%	38.12%	38.39%	61.61%
2015	62.36%	37.64%	79.23%	20.77%	28.58%	71.42%
2016	56.02%	43.98%	77.07%	22.93%	29.32%	70.68%
2017	48.00%	52.00%	20.38%	79.62%	44.24%	55.76%
2018	54.74%	45.26%	0.64%	99.36%	58.23%	41.77%
2019	52.11%	47.89%	18.62%	81.38%	70.60%	29.40%
2020	51.61%	48.39%	41.88%	58.12%	63.01%	36.99%
Promedio	52.00%	48.00%	54.87%	45.13%	38.97%	61.03%

Fuente: elaboración propia según DANE(Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE 2021)

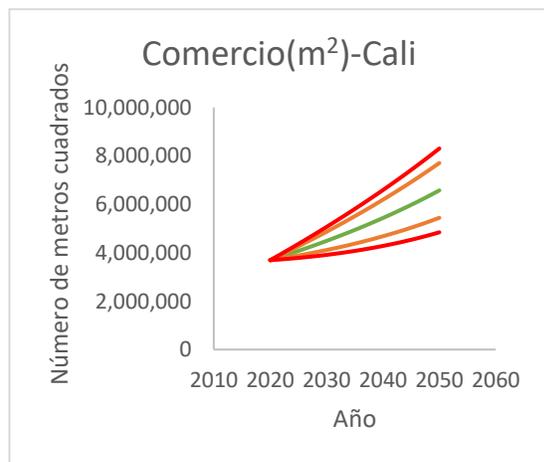
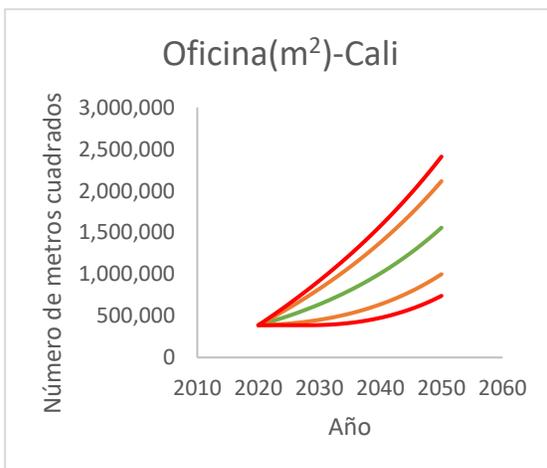
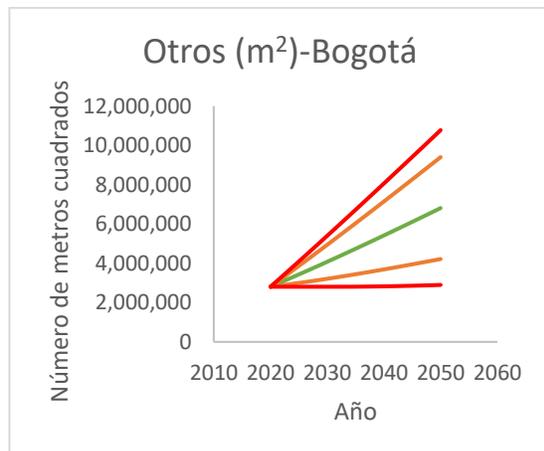
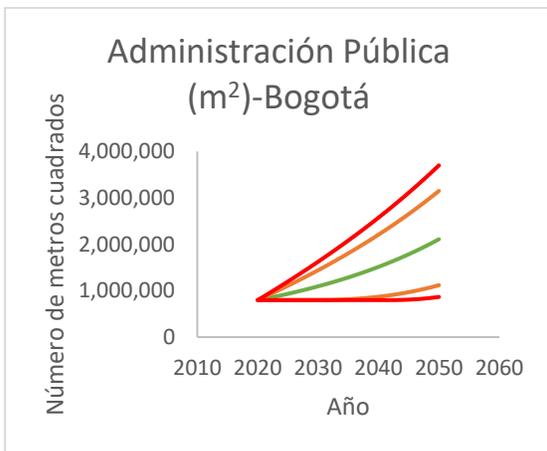
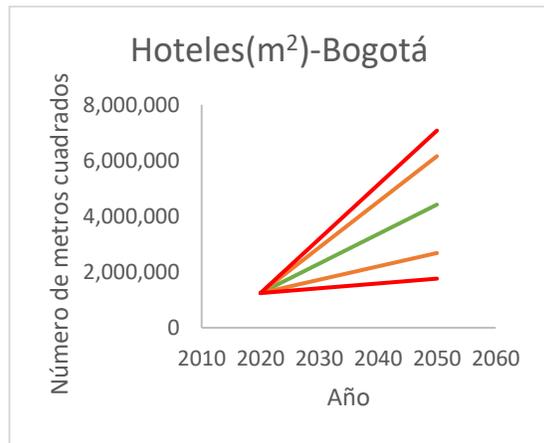
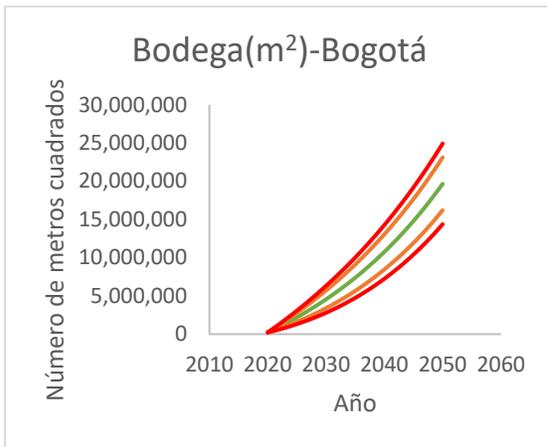
Anexo 7. Proyección del sector no residencial.



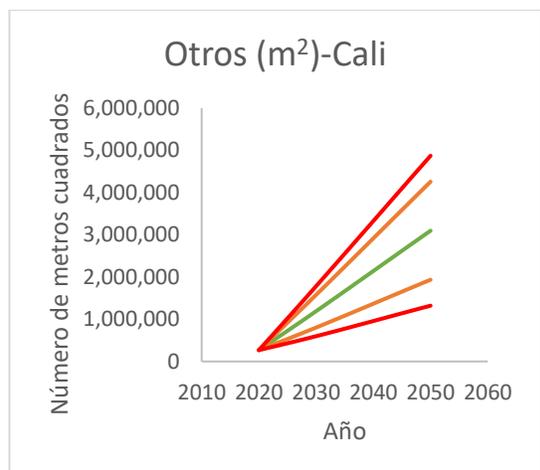
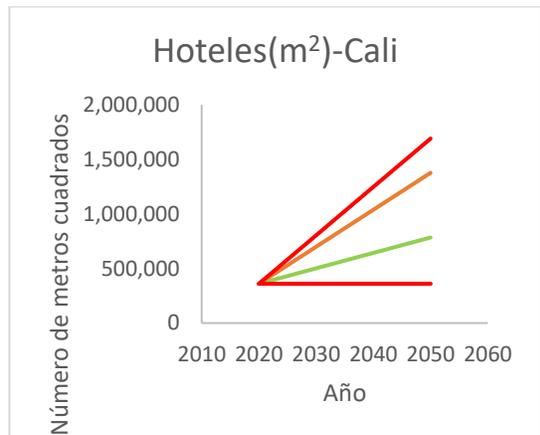
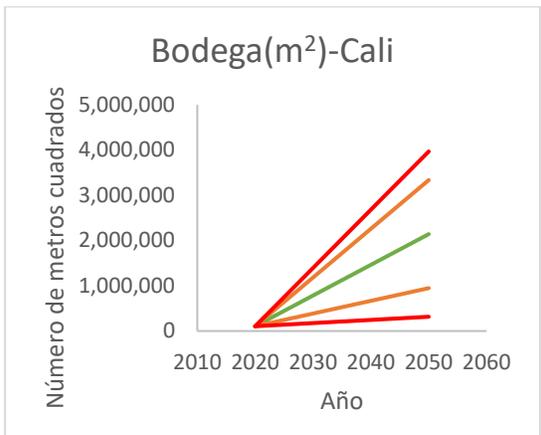
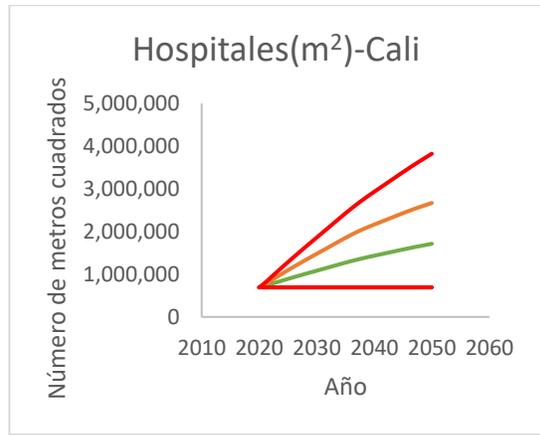
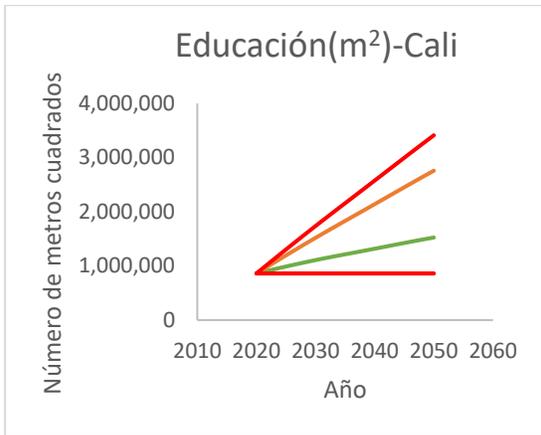
■ Point Forecast
 ■ Lo 80
 ■ Hi 80
 ■ Lo 95
 ■ Hi 95



■ Point Forecast
 ■ Lo 80
 ■ Hi 80
 ■ Lo 95
 ■ Hi 95



■ Point Forecast
 ■ Lo 80
 ■ Hi 80
 ■ Lo 95
 ■ Hi 95



■ Point Forecast
 ■ Lo 80
 ■ Hi 80
 ■ Lo 95
 ■ Hi 95

Anexo 8. Consideraciones sobre análisis GEI de los materiales.

Tabla A 3. Caracterización módulos A1-A4 según subcategoría de material.

Material					Potencial de Calentamiento Global				Participación de mercado
Grupo	Procedencia	Nombre	Características	Fuente principal	Etapa de producto (kgCO ₂ eq/t)			Etapa de construcción (kgCO ₂ eq/t)	
					A1	A2	A3	A4	
	Nacional	Barras de refuerzo	0% contenido reciclado	One Click LCA	2.89			53.61	18%
Acero	Nacional		80% contenido reciclado	One Click LCA	0.92			53.61	52%
	Internacional		Prom. Brasil y México	One Click LCA	0.94			115.11	30%
Concreto	Nacional	Industrializado - 21MPa	Industrializado, 21MPa, ART	Estimación propia - (Gmünder et al. 2018)	198.38			11.42	Según prototipo
	Nacional	En obra - 21MPa	En obra, 21MPa, UG		245.07			10.96	
	Nacional	Industrializado – 40MPa	Industrializado, 40MPa, ART		244.08			11.45	
Ladrillo	Nacional	Ladrillo - arcilla cocinada		(Ecoingeniería 2012)	0.22			53.61	100%
Vidrio	Nacional	Vidrio recocido	Vidrio recocido	One Click LCA	1.22			160.83	Residencial
	Nacional	Vidrio procesado	Vidrio procesado (laminado y templado)	(Tecnoglass 2016)	4.05			115.11	No residencial

*Los coeficientes del concreto son presentados en términos de su volumen: kgCO₂eq/m³ (A1-A3) y kgCO₂eq/m³ (A4).

Anexo 9. Análisis sobre consumo de electricidad y gas natural para uso residencial.

Clima cálido húmedo: Debido a que los municipios con grado de importancia 1 representan el 23.19% de la población en este clima, el promedio de los tres municipios principales con este grado de importancia económica (Cartagena, Barrancabermeja y Barranquilla) fue multiplicado por este peso. Los demás municipios representan el 76.81% de la población en este clima, por esta razón, el promedio de los demás municipios analizados se multiplica por este peso.

Clima cálido seco: Debido a que los municipios con grado de importancia 1 representan solo el 6.24% de esta población (sin considerar Cali debido a que esta ciudad cuenta con su propio análisis), solo se consideraron municipios de grado de importancia 2 (Cúcuta, Santa Marta, Valledupar, Montería, Neiva, Floridablanca y Riohacha) con igual peso cada uno.

Clima frío: Debido a que los municipios con grado de importancia económica 2-7 representan el 100% de la población en este clima (sin incluir Bogotá debido a que esta ciudad cuenta con su propio análisis), solo se consideraron los municipios con grado de importancia 2 (Manizales, Chía, Ipiales, Pasto, Soacha, Tunja y Facatativá) con igual peso cada uno.

Clima templado: En este clima Medellín representa el 21.53% de la población y es el único municipio con grado de importancia 1 en esta categoría. Por esta razón, a Medellín se le asignó este peso en el consumo de energía, el peso restante 78.47% fue asignado al promedio de los municipios de categoría 2 considerados (Armenia, Bello, Ibagué, Envigado, Itagüí, Palmira y Popayán).

Anexo 10. Análisis sobre consumo de electricidad por estrato, ciudad y clima.

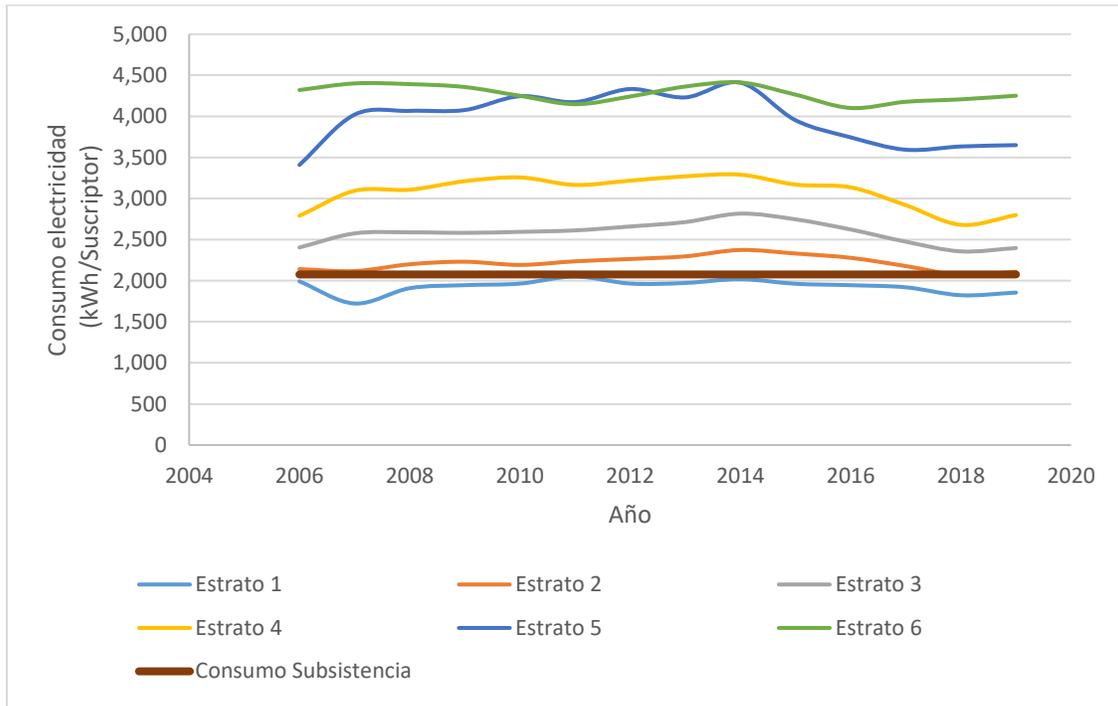


Figura A 1. Consumo promedio de energía por estrato en clima cálido húmedo.

Fuente: elaboración propia.

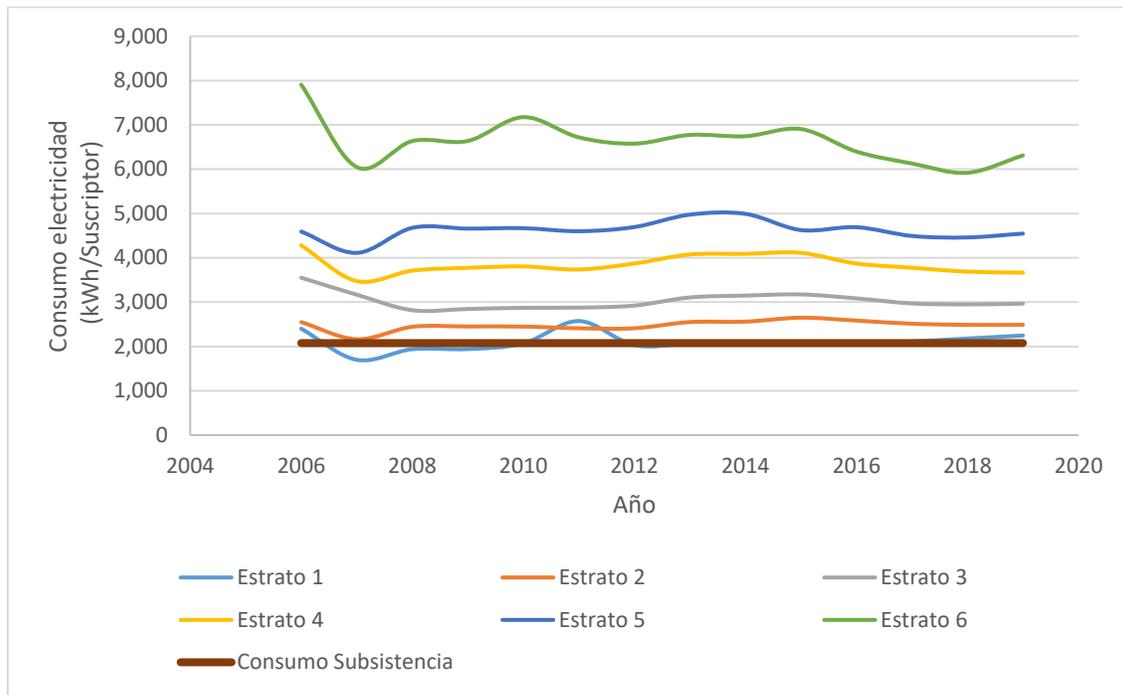


Figura A 2. Consumo promedio de energía por estrato en clima cálido seco.

Fuente: elaboración propia.

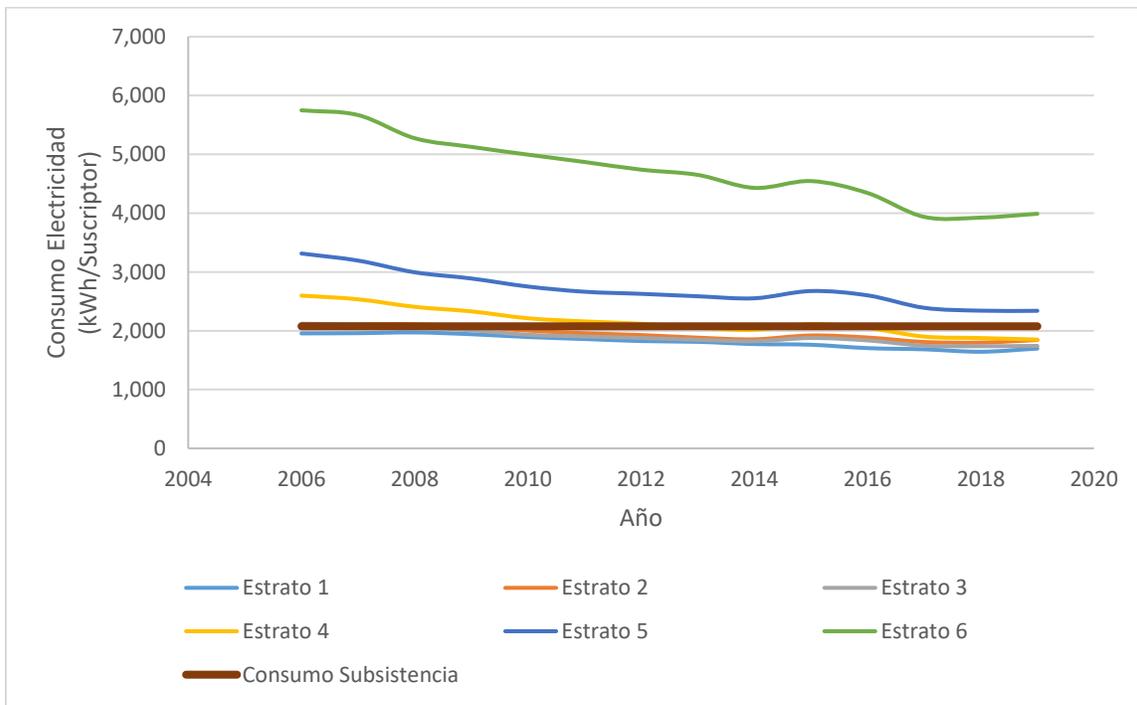


Figura A 3. Consumo promedio de energía por estrato en Cali.

Fuente: elaboración propia.

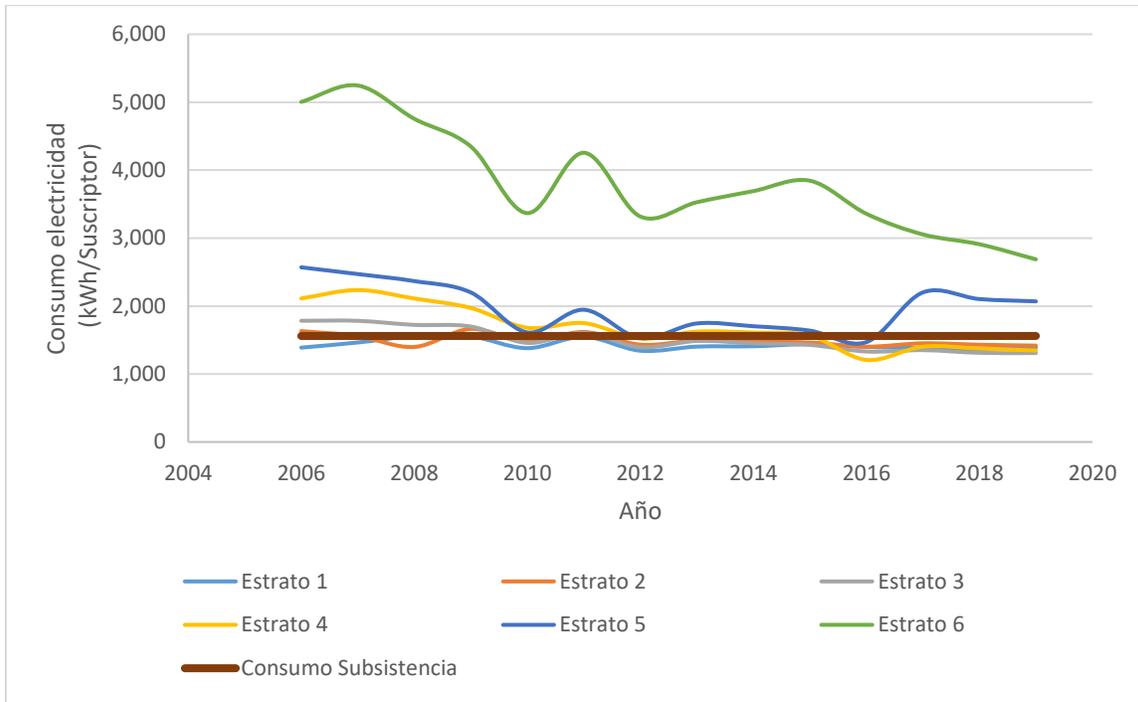


Figura A 4. Consumo promedio de energía por estrato en clima frío.

Fuente: elaboración propia.

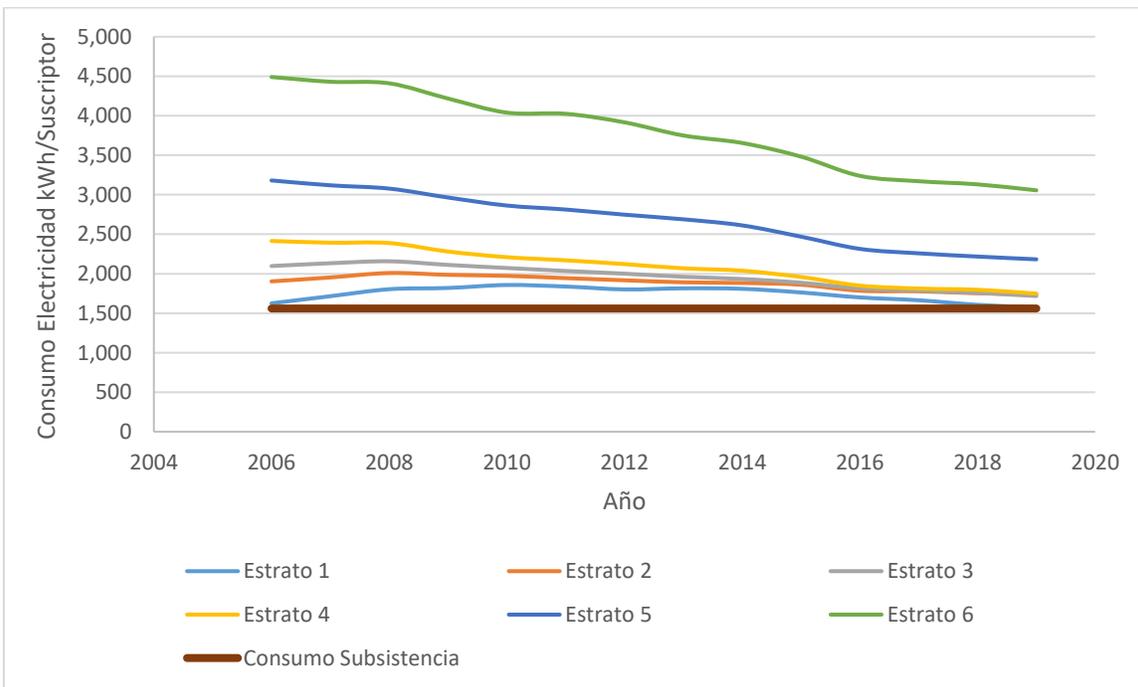


Figura A 5. Consumo promedio de energía por estrato en Bogotá.

Fuente: elaboración propia.

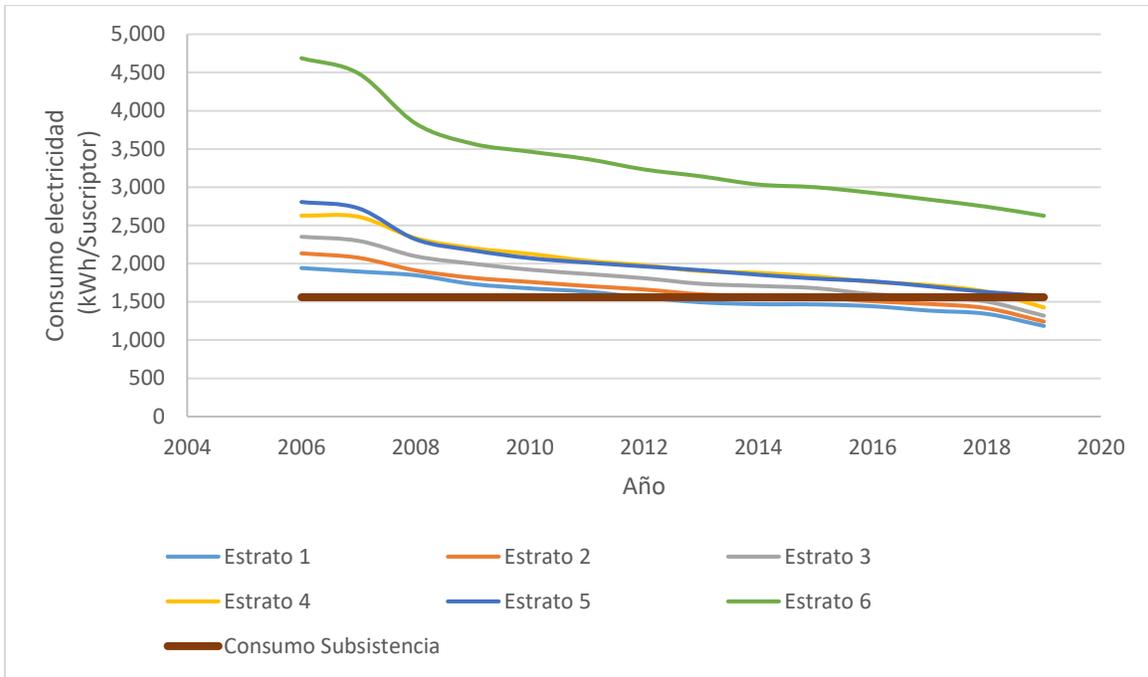
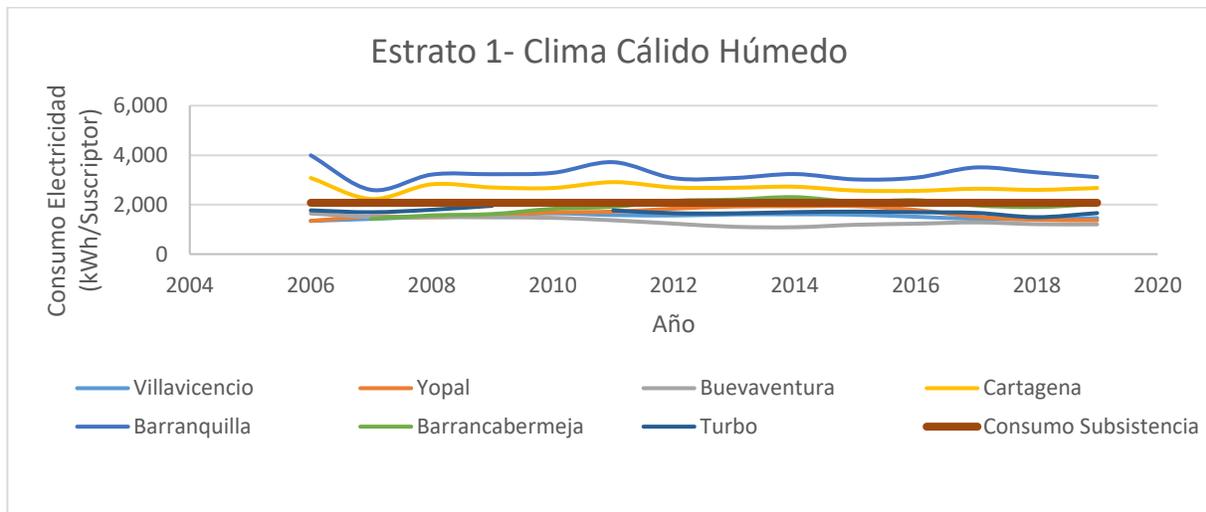
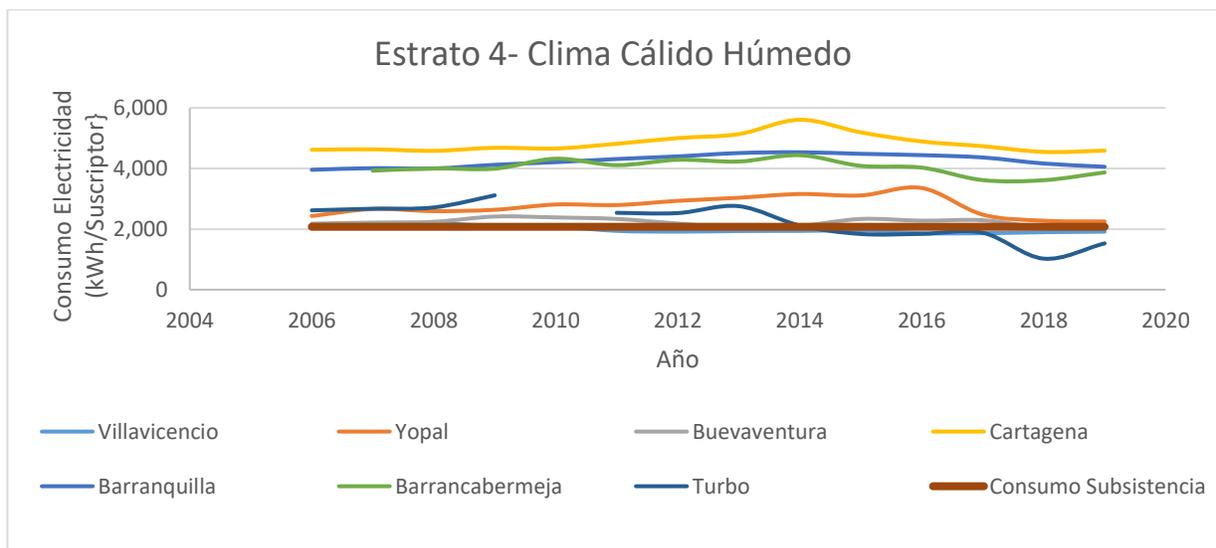
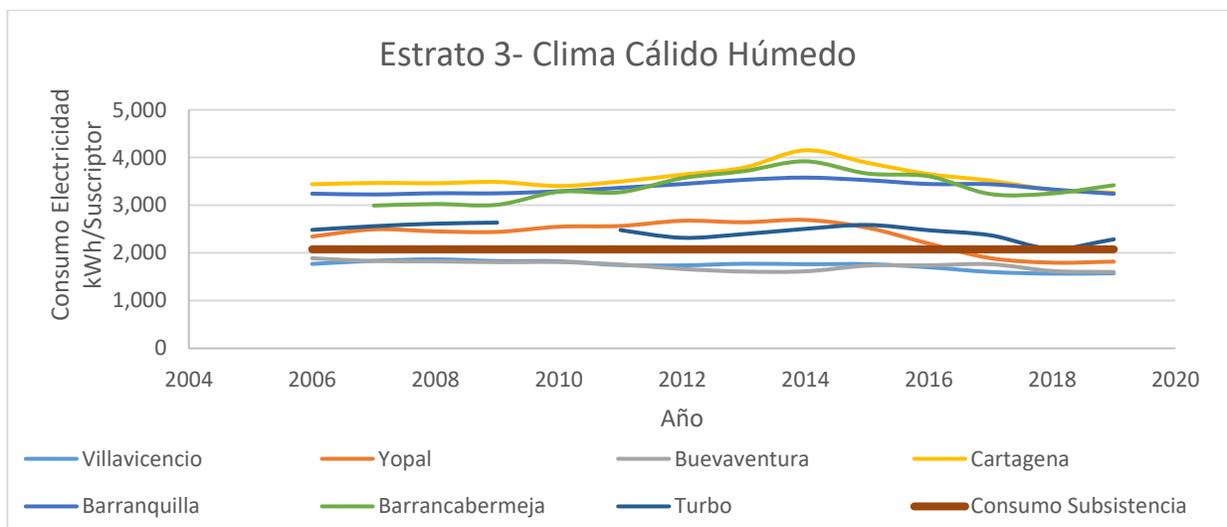
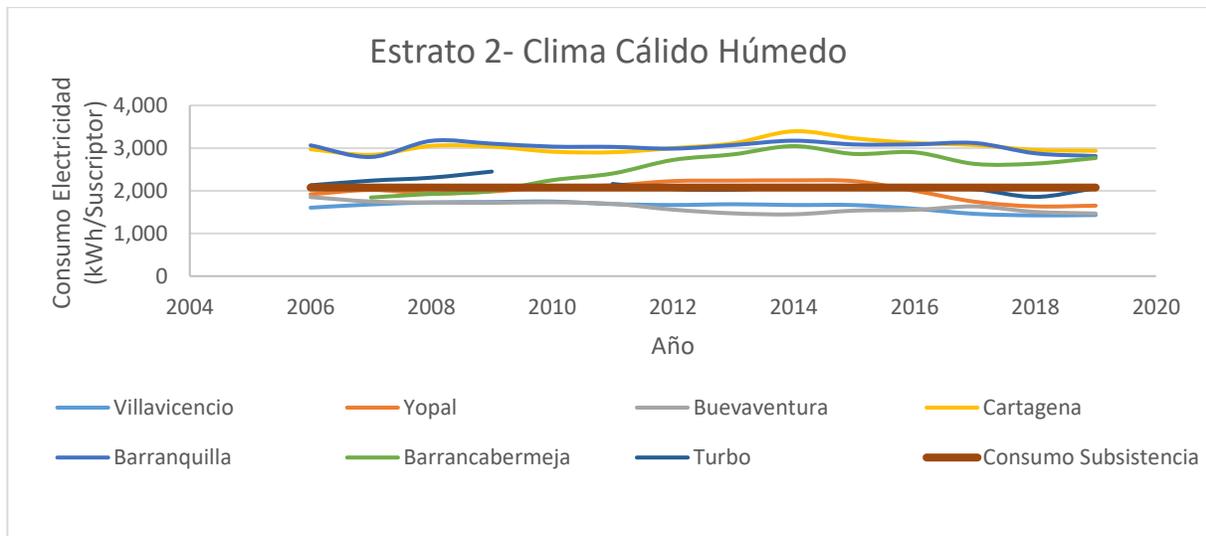
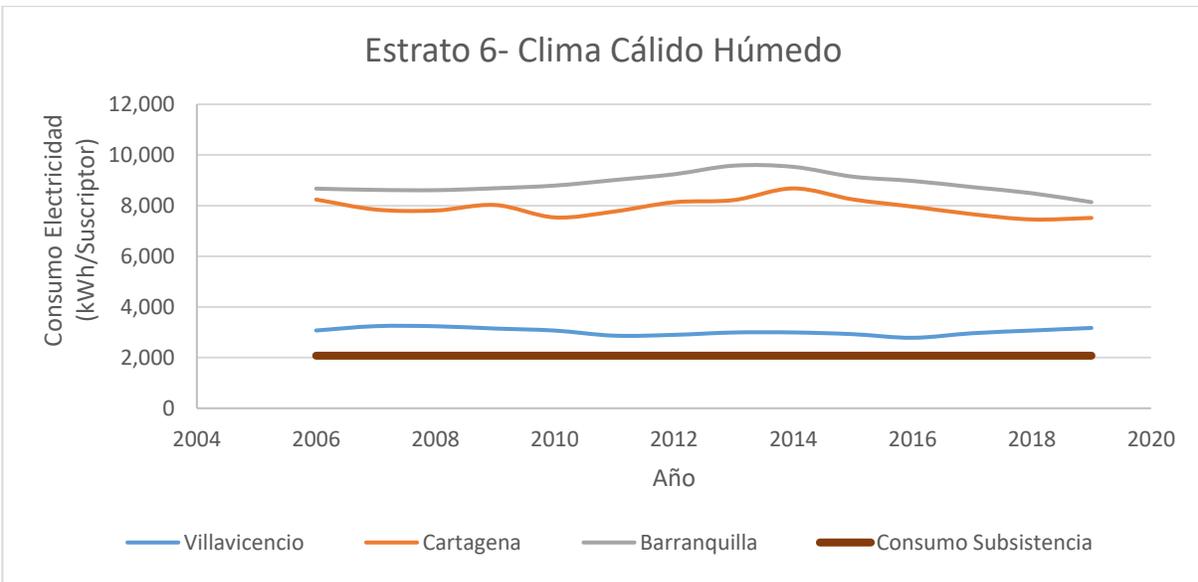
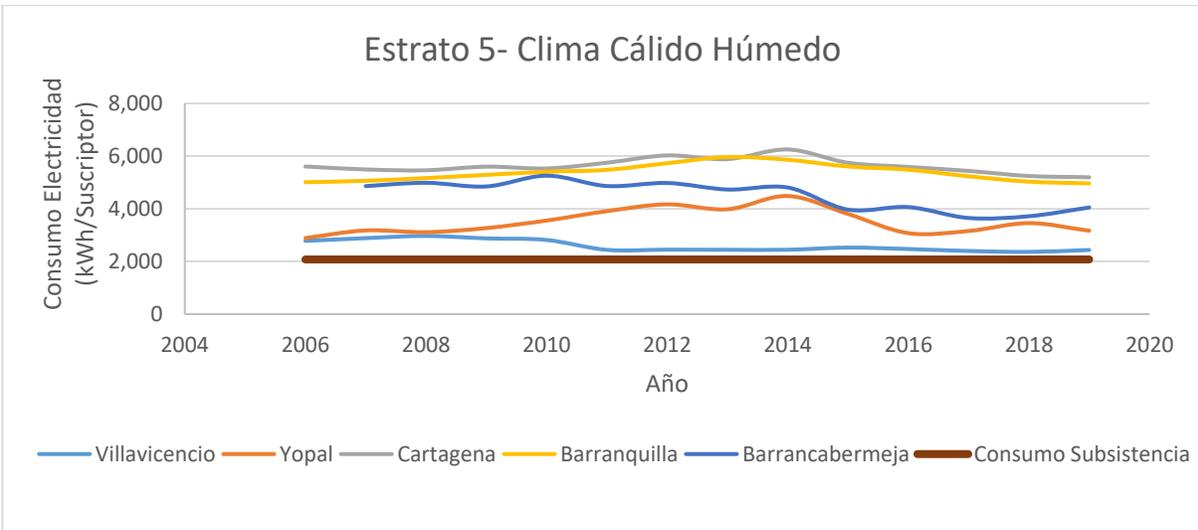


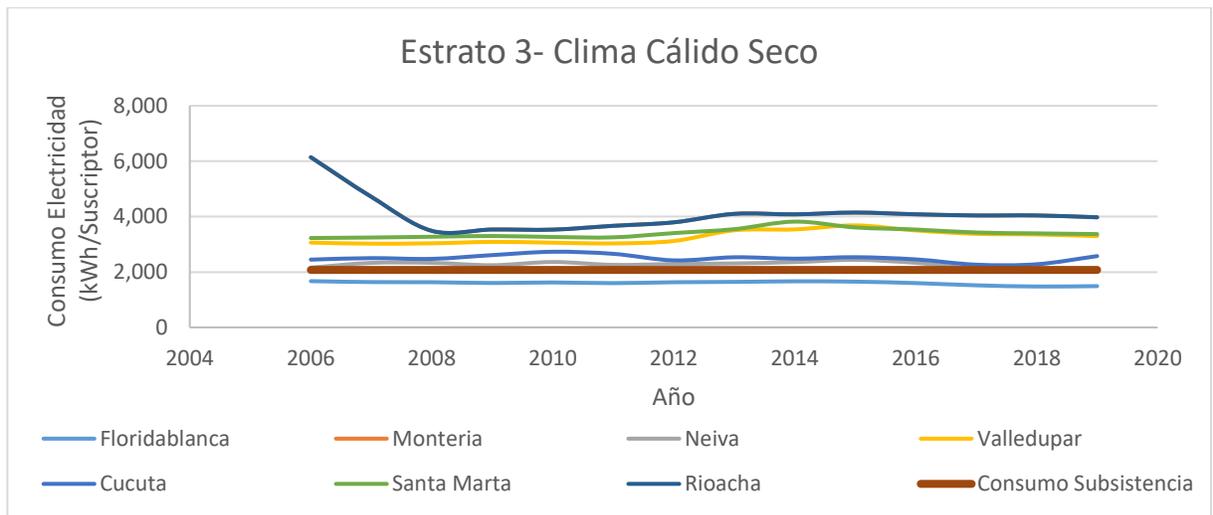
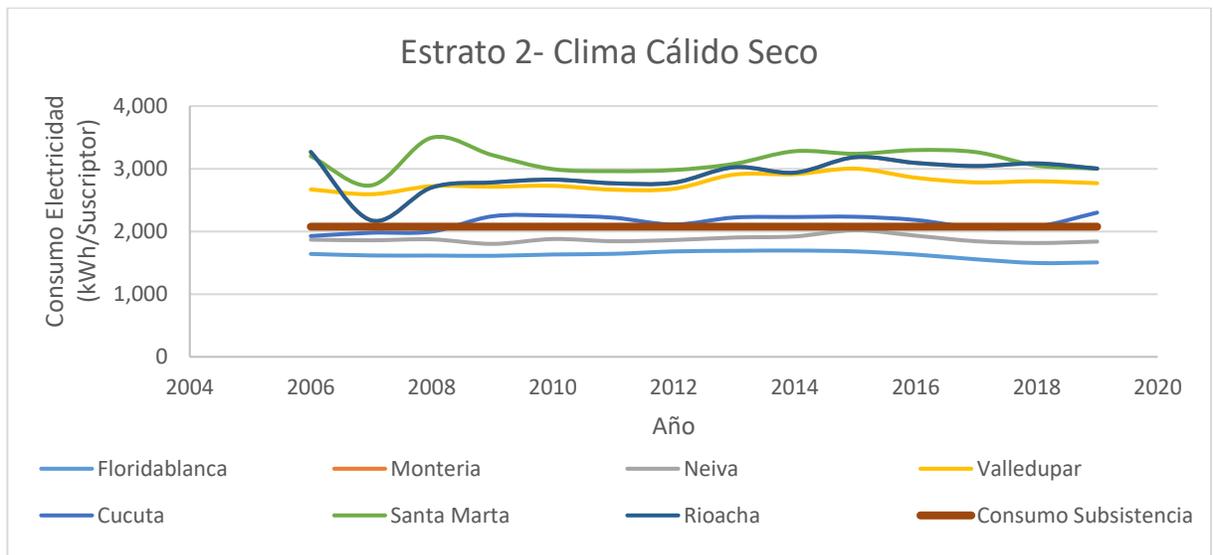
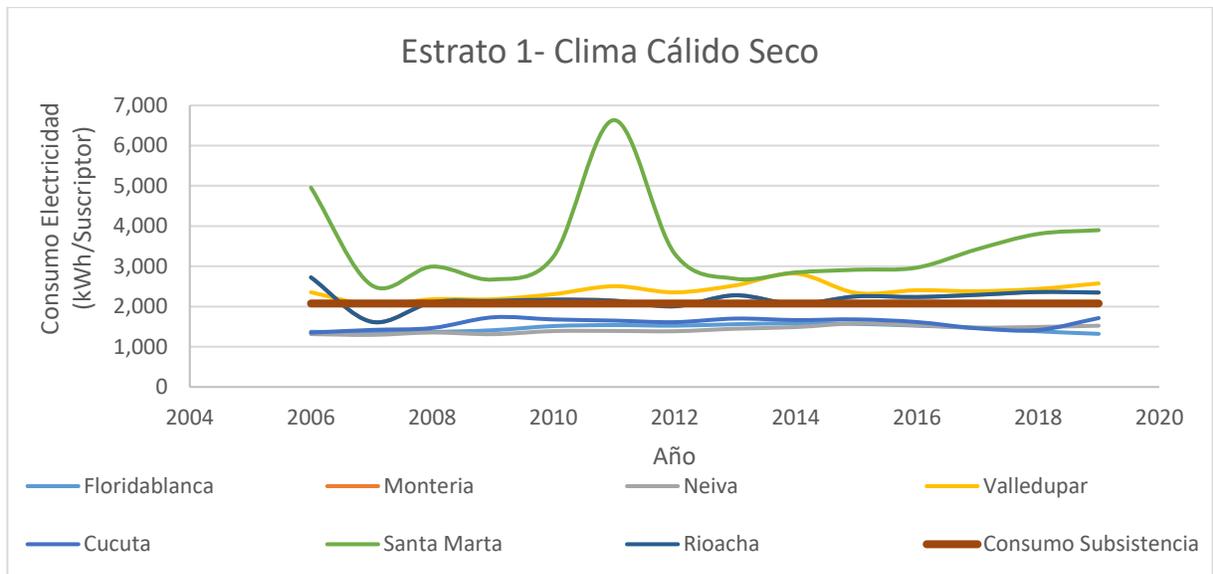
Figura A 6. Consumo promedio de energía por estrato en clima templado.

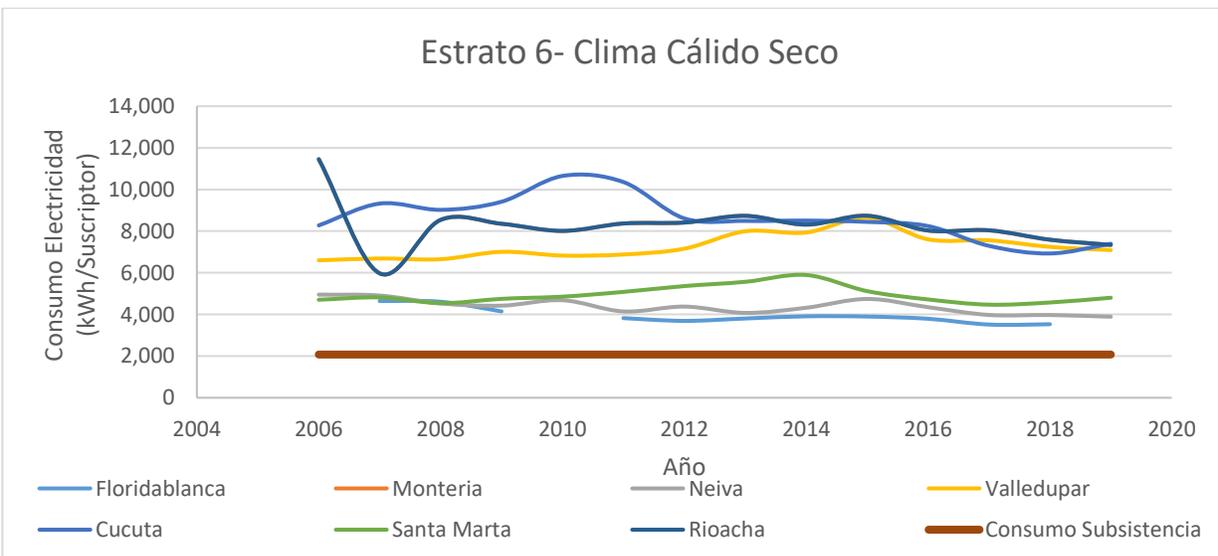
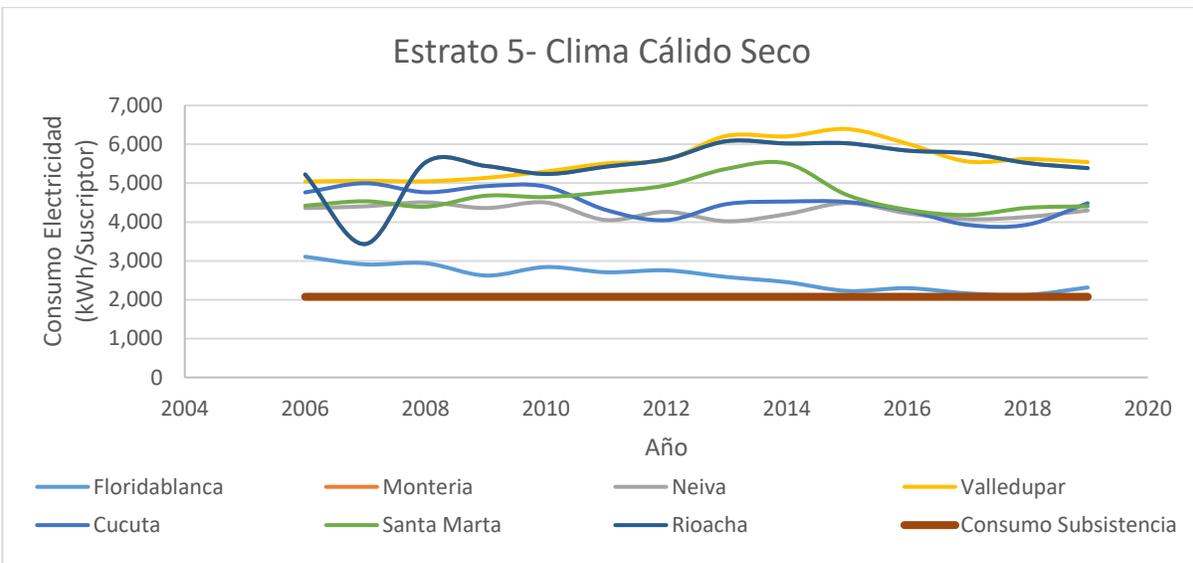
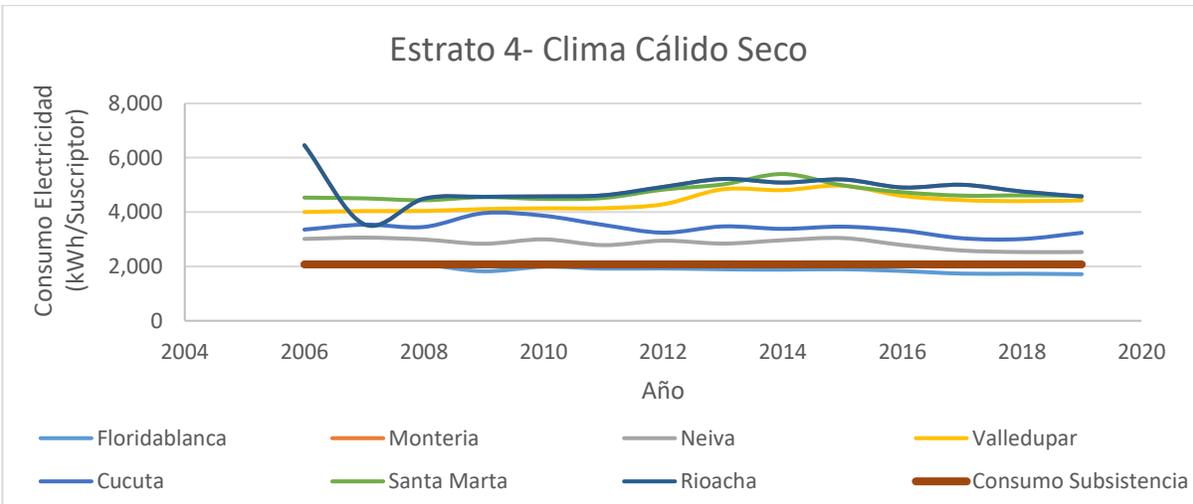
Fuente: elaboración propia.

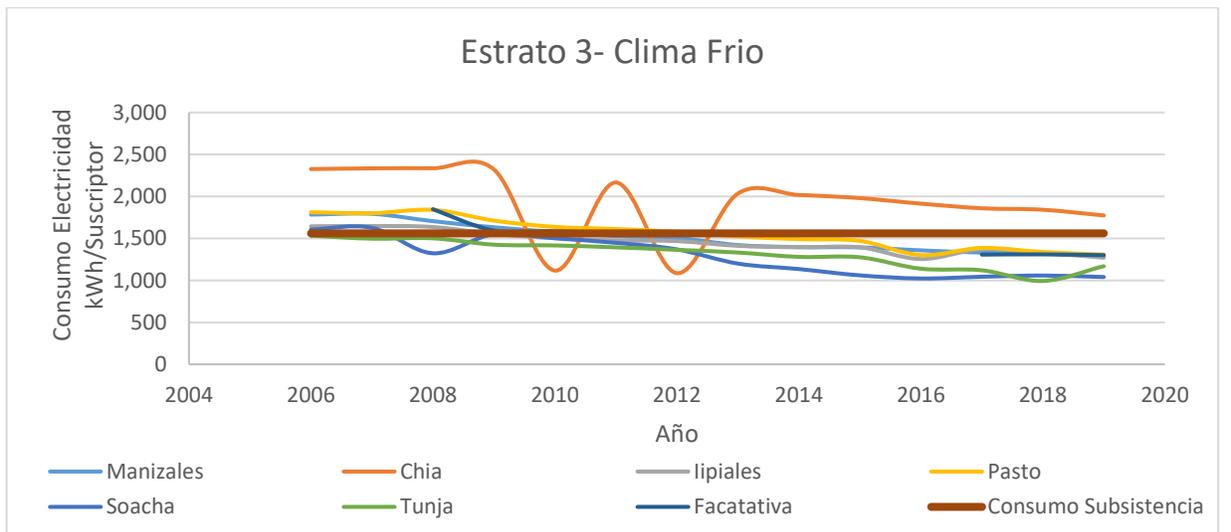
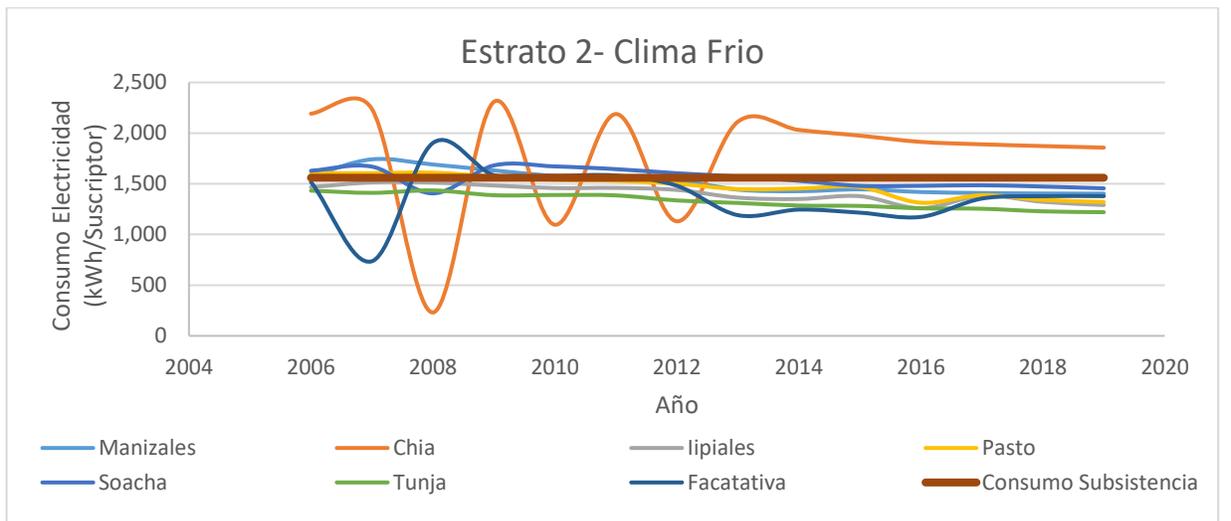
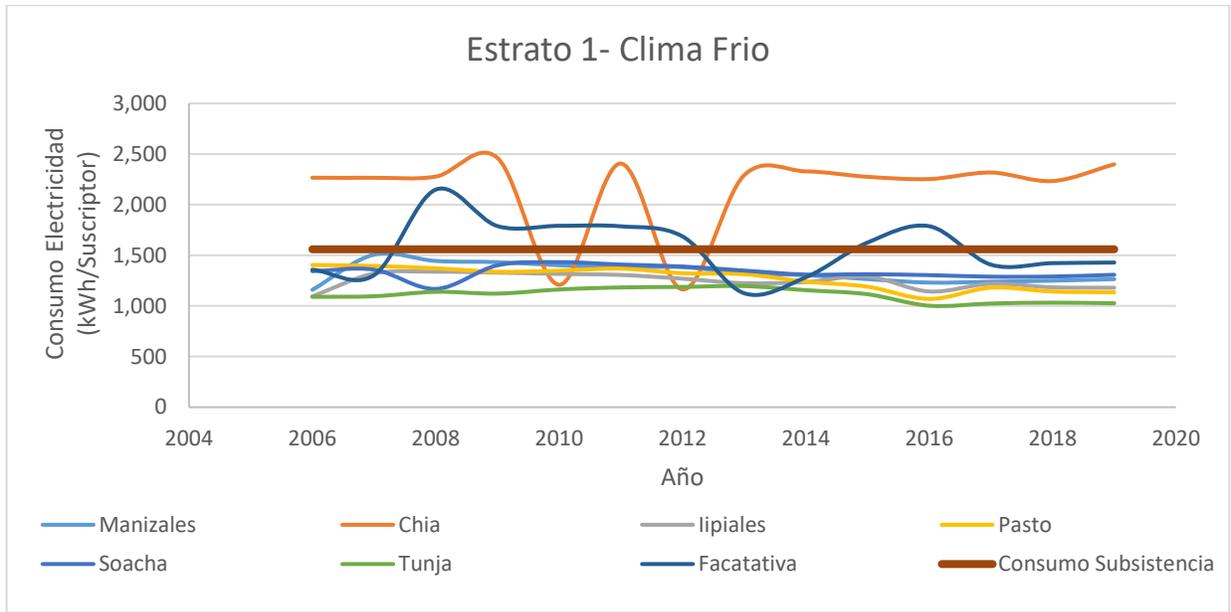


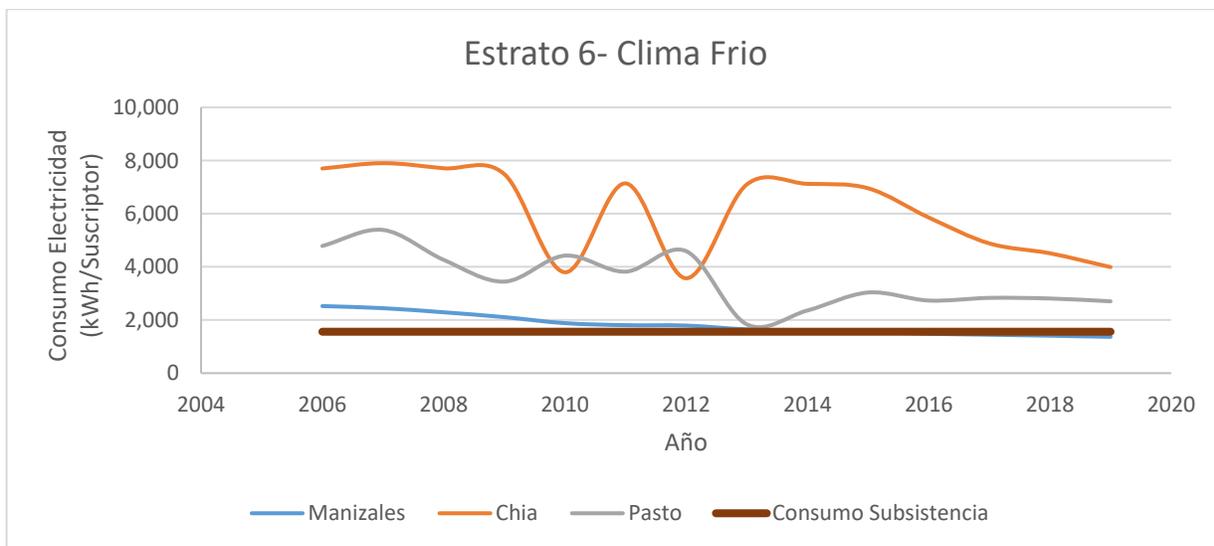
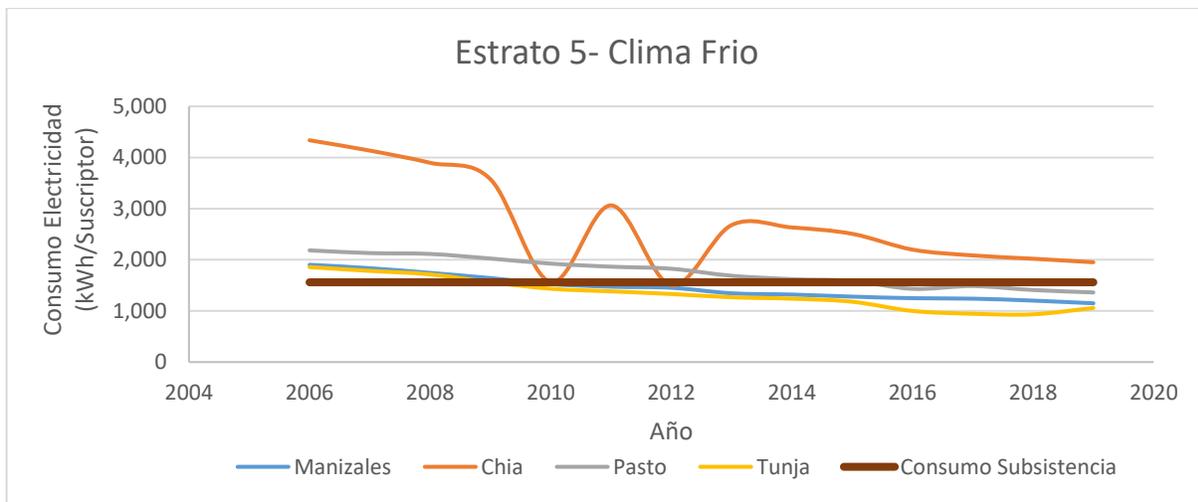
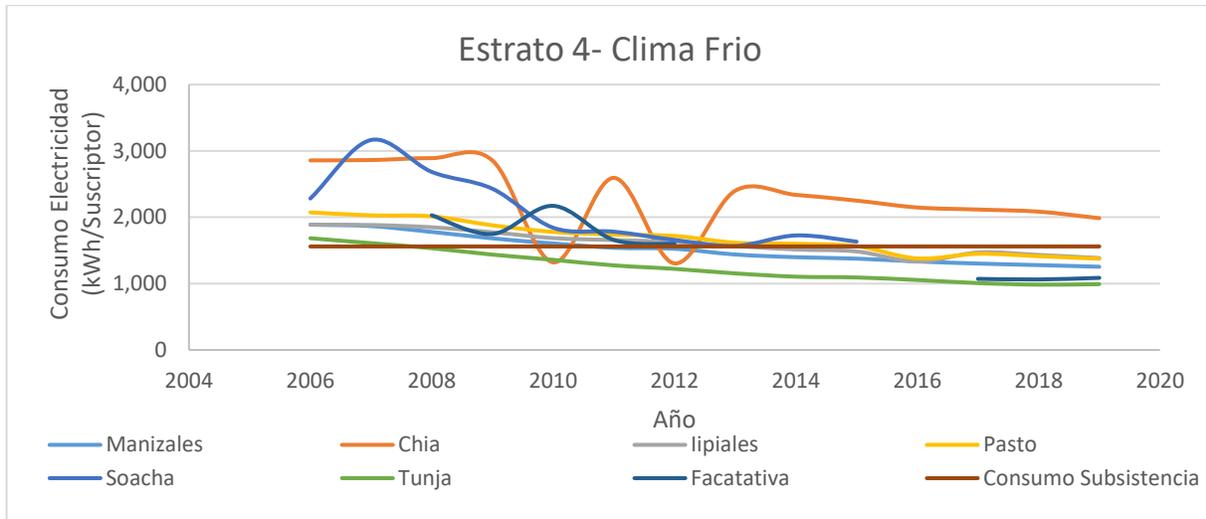


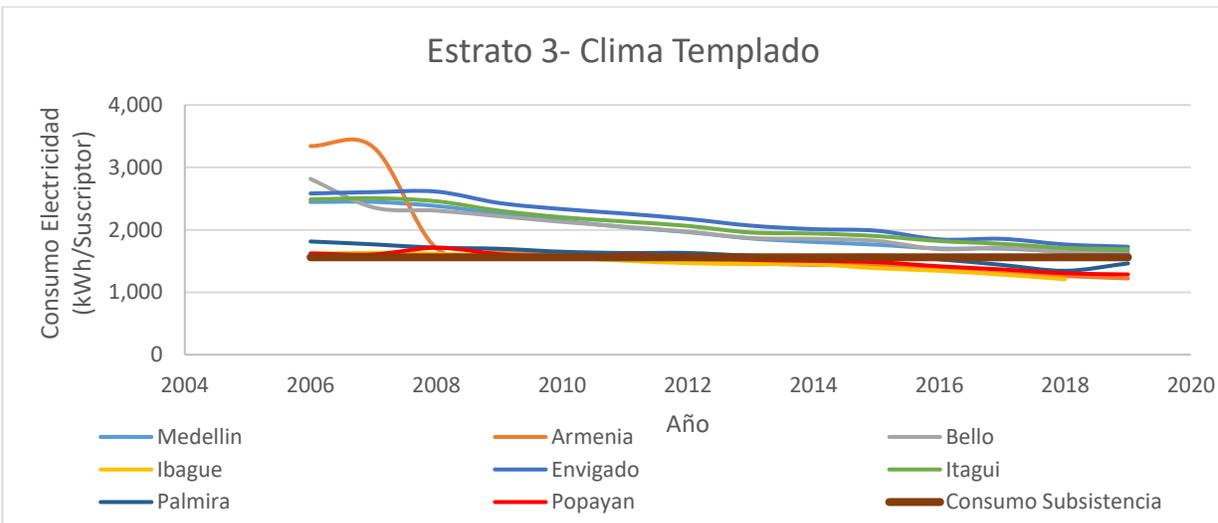
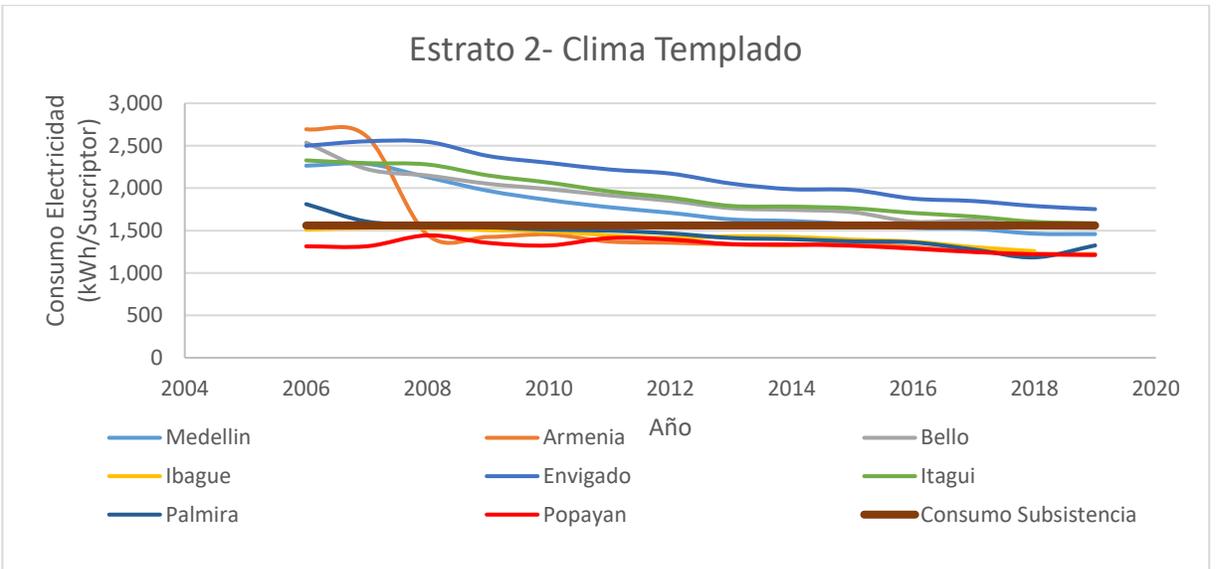
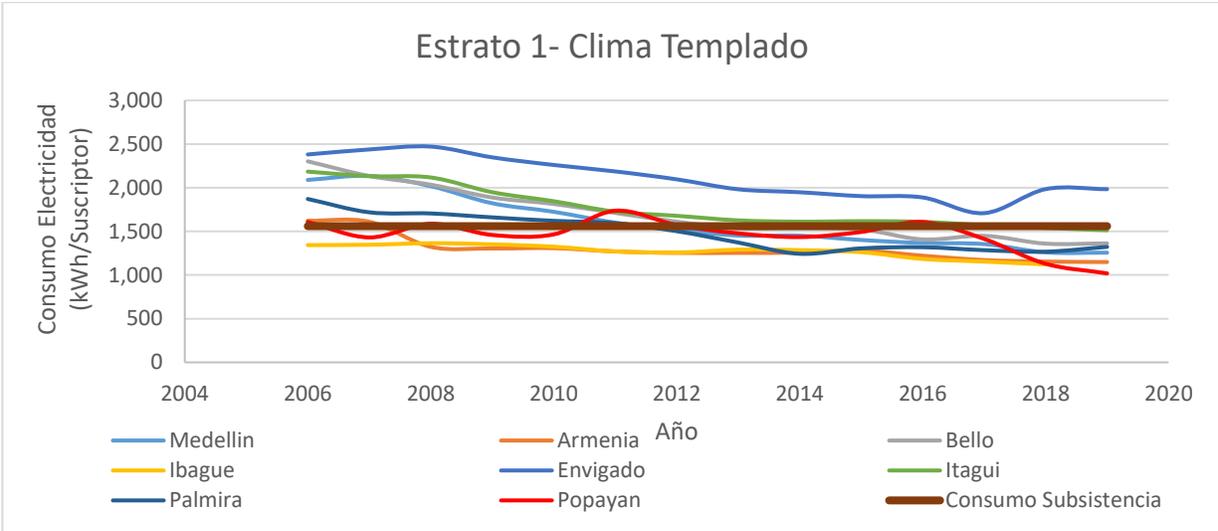


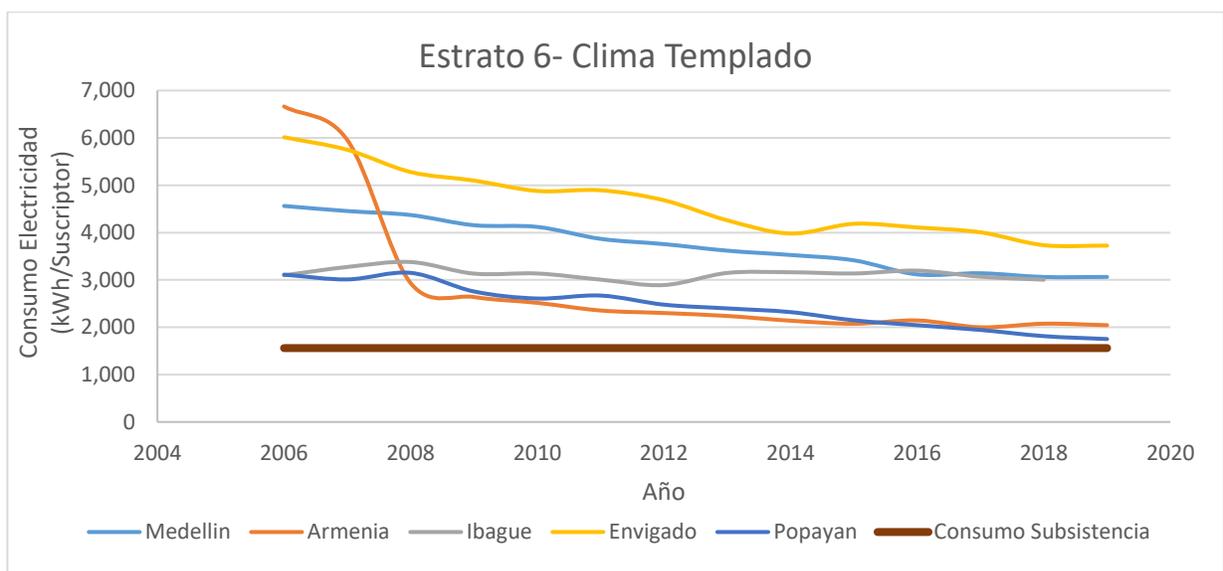
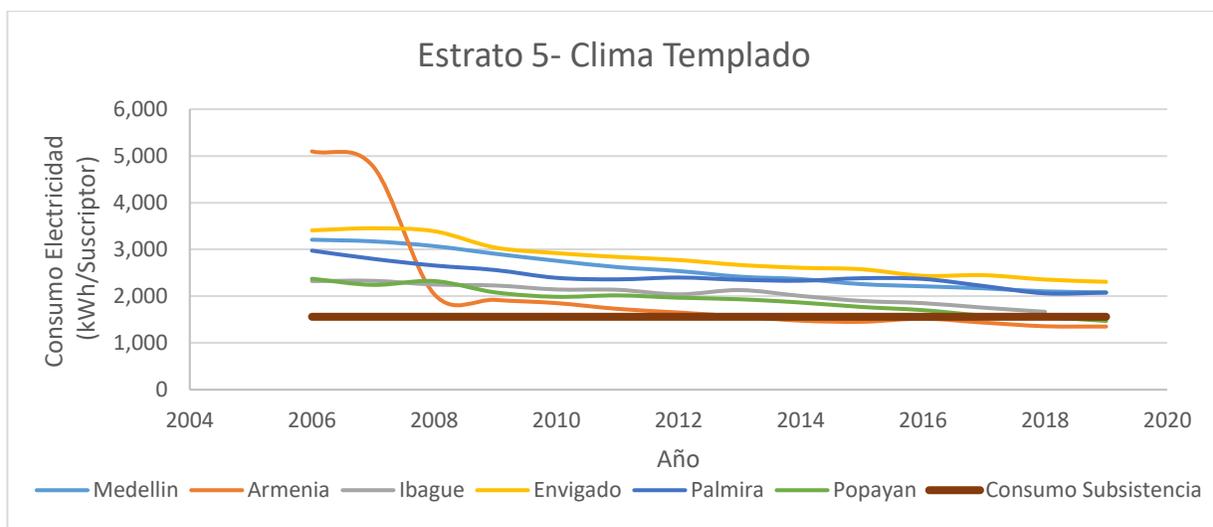
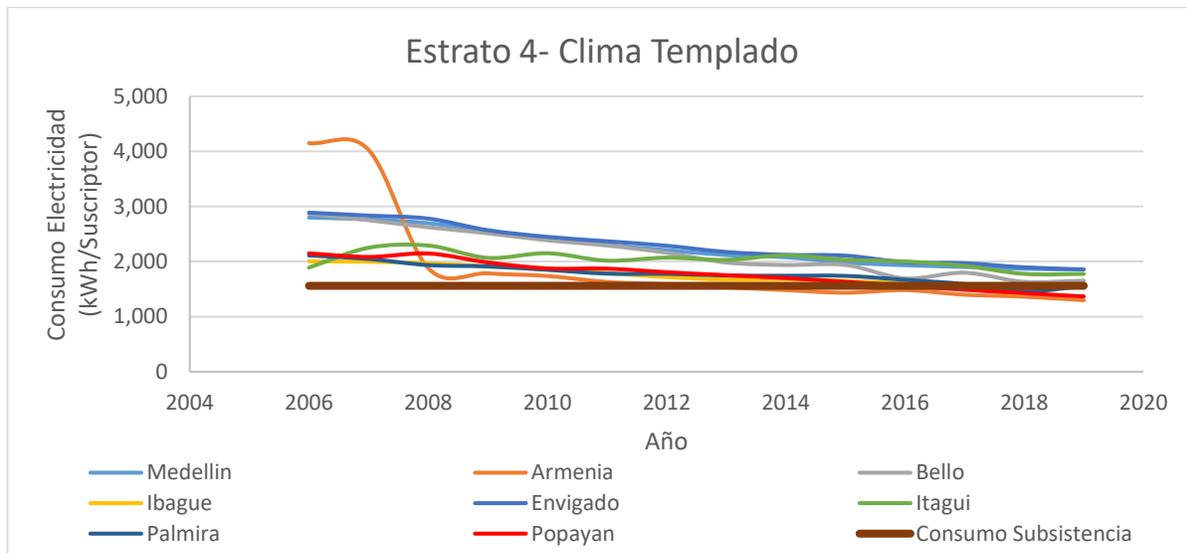












Anexo 11. Análisis sobre consumo de gas natural por estrato, ciudad y clima.

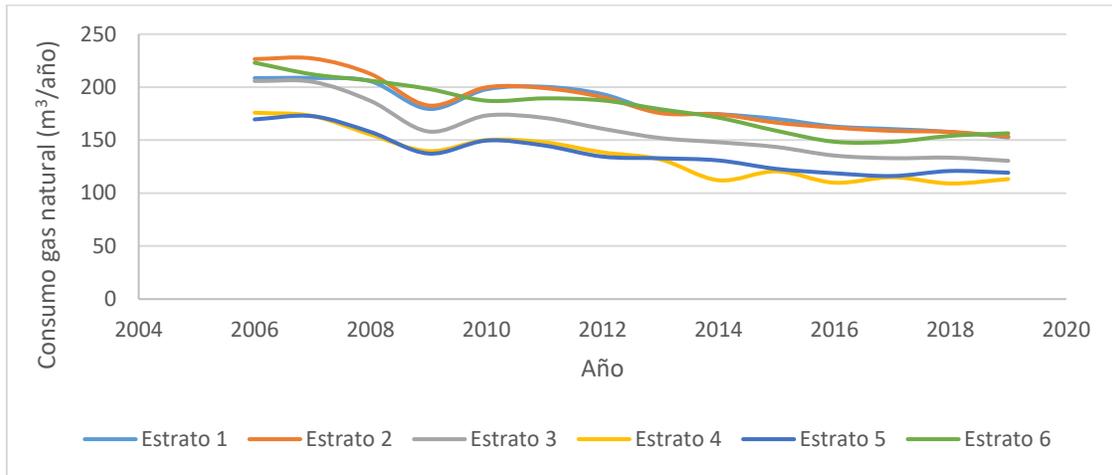


Figura A 7. Consumo promedio de Gas Natural por estrato clima cálido húmedo.

Fuente: elaboración propia.

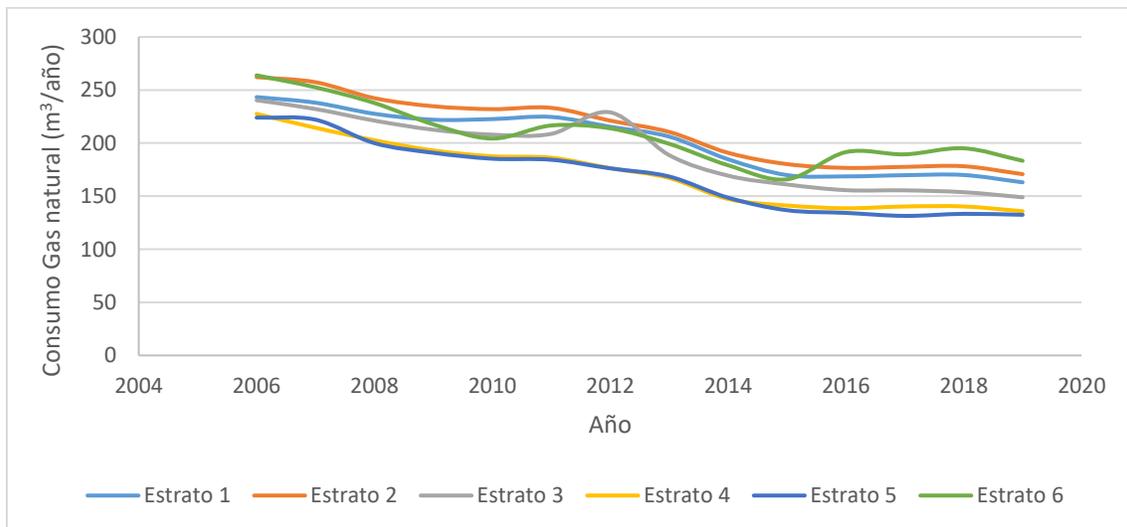


Figura A 8. Consumo promedio de Gas Natural por estrato clima Cálido Seco.

Fuente: elaboración propia.

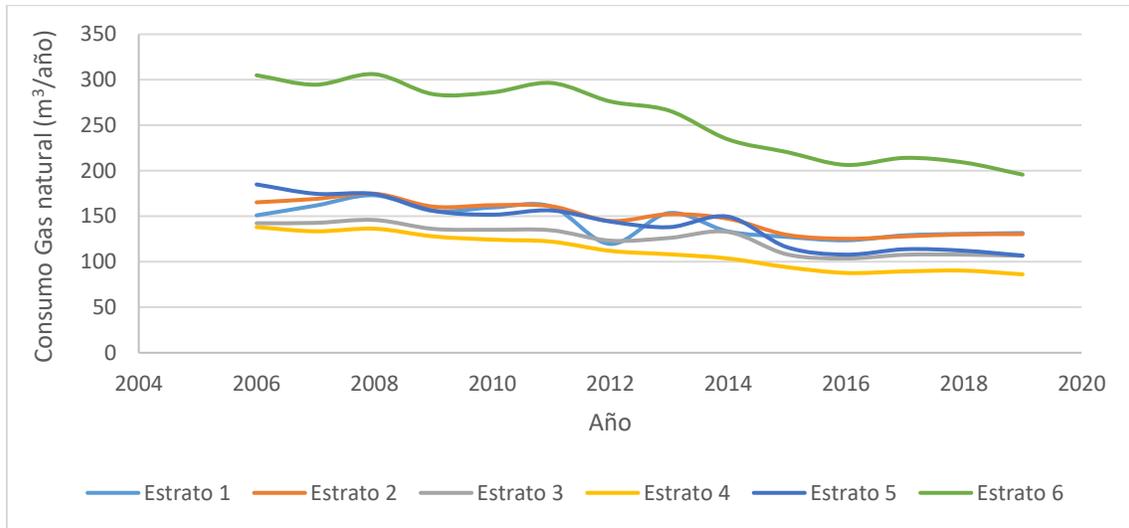


Figura A 9. Consumo promedio de Gas Natural por estrato Cali.

Fuente: elaboración propia.

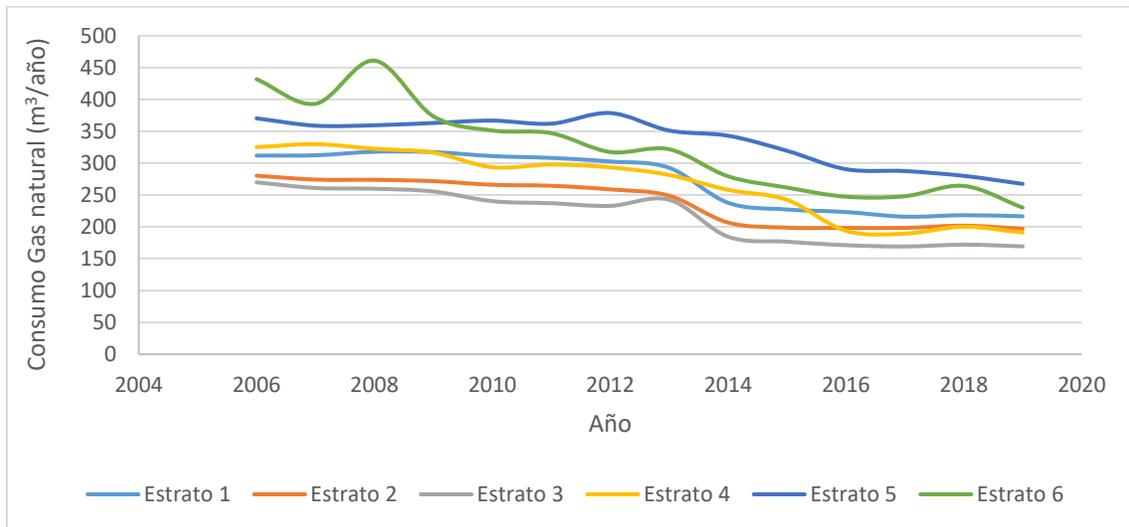


Figura A 10. Consumo promedio de Gas Natural por estrato clima frío.

Fuente: elaboración propia.

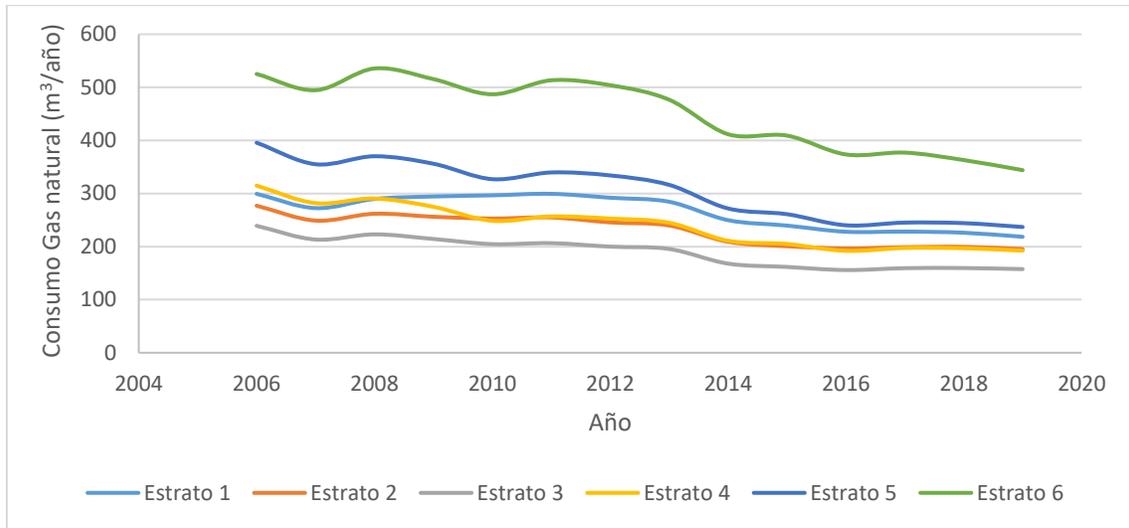


Figura A 11. Consumo promedio de Gas Natural por estrato Bogotá

Fuente: elaboración propia

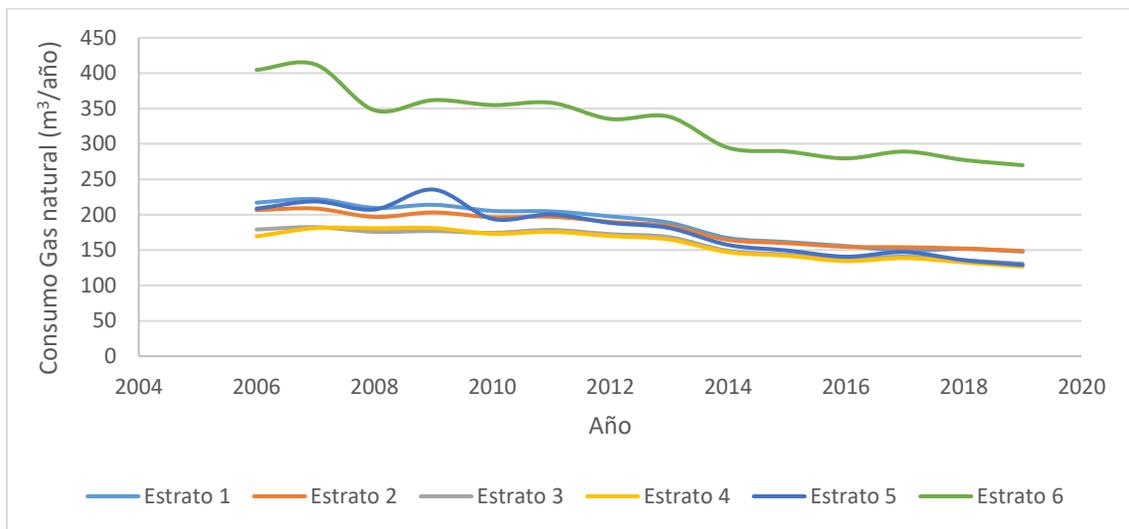
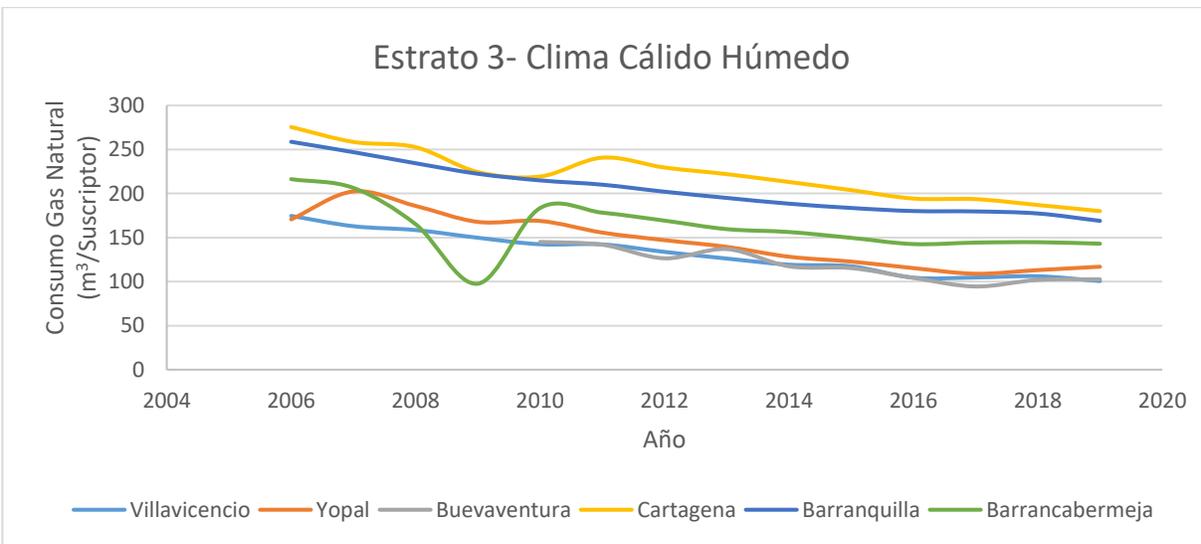
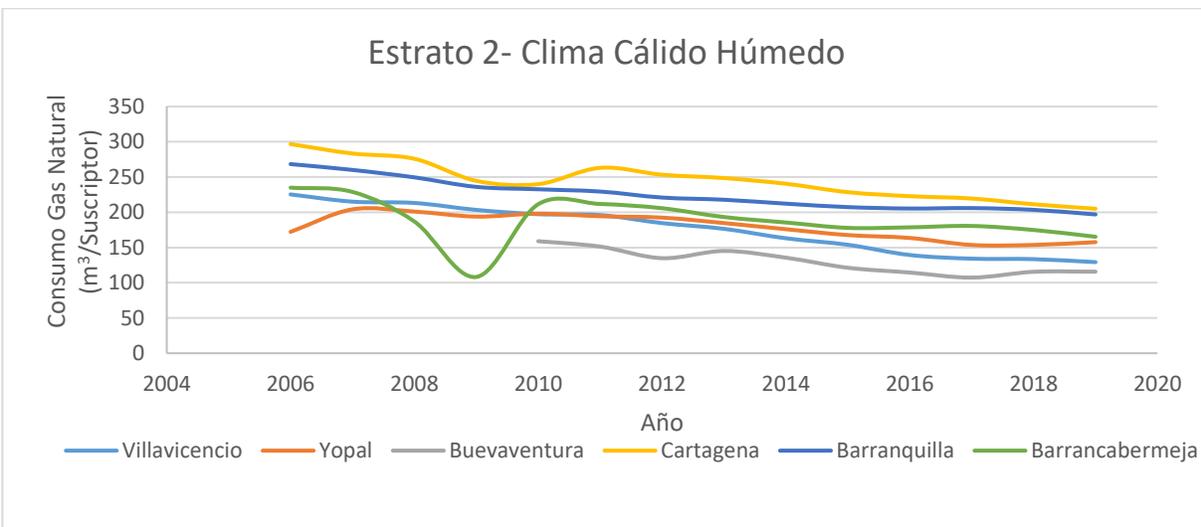
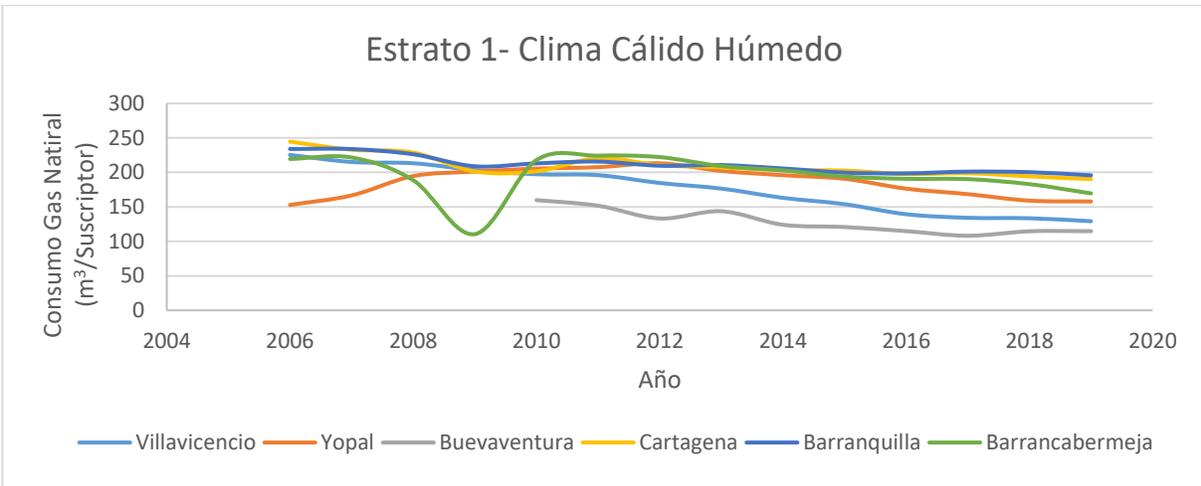
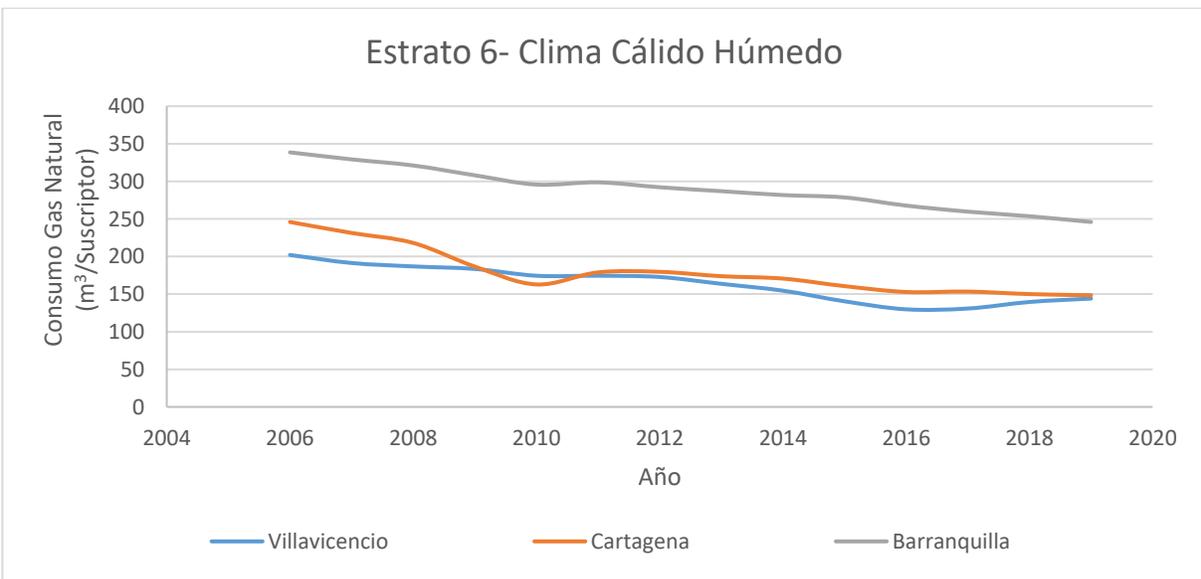
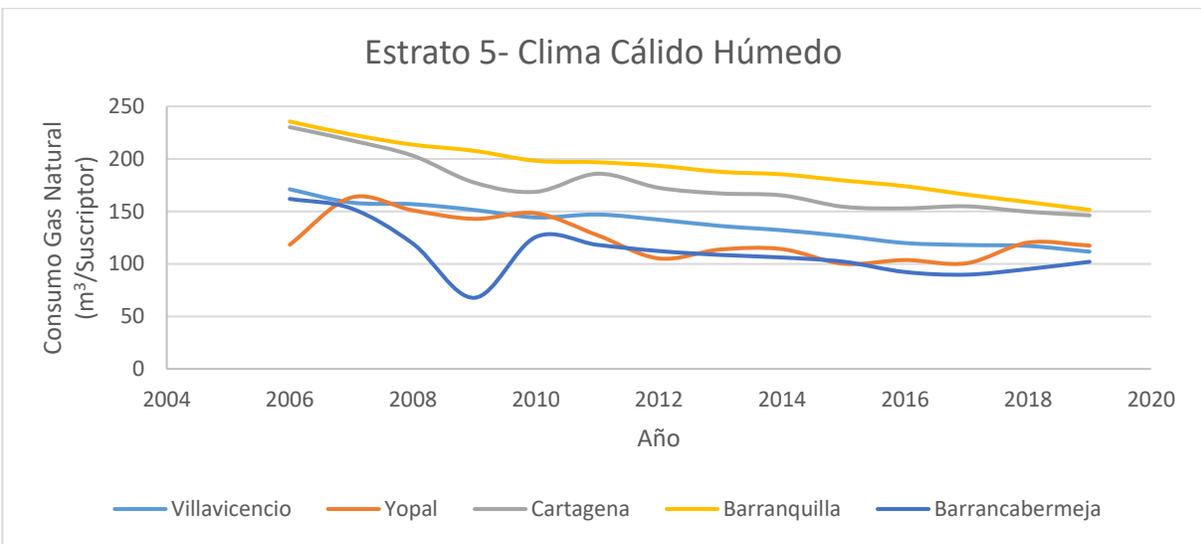
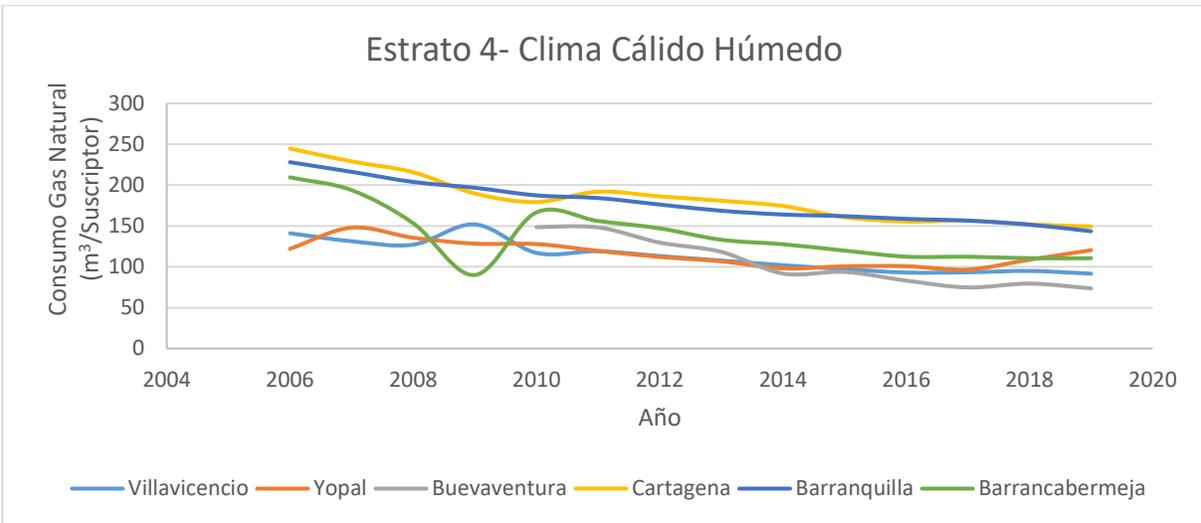
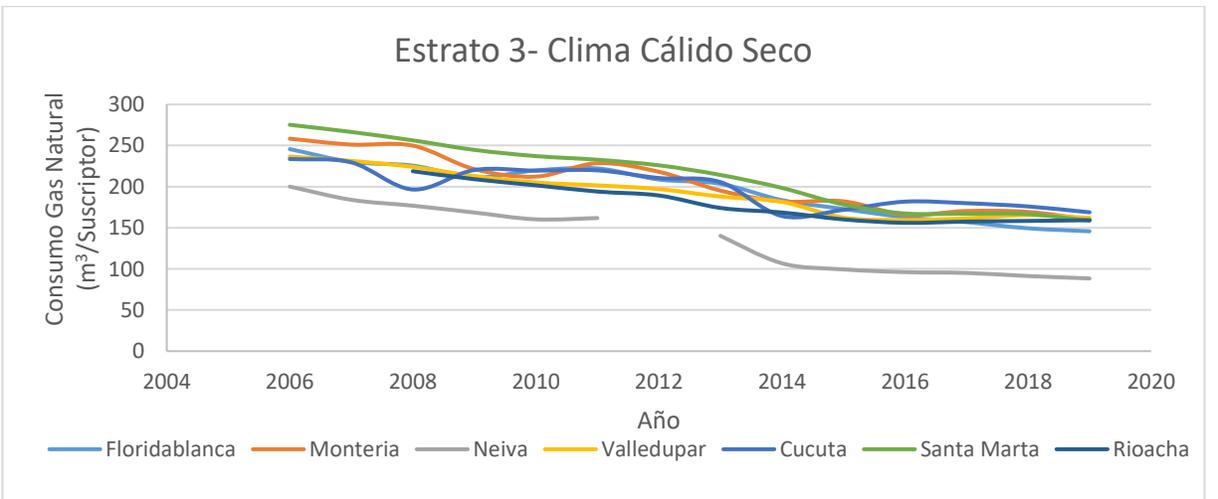
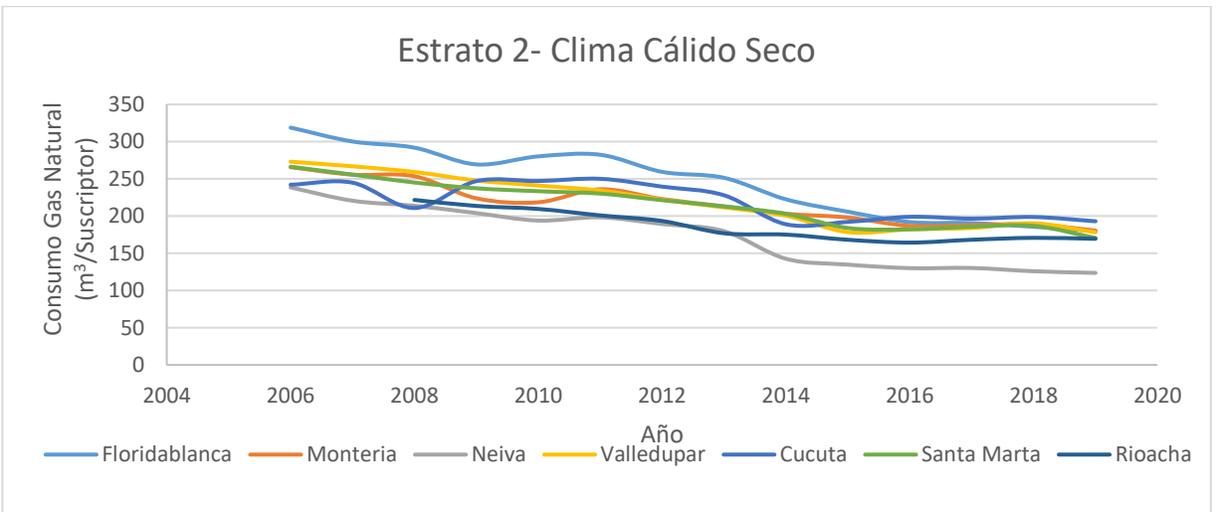
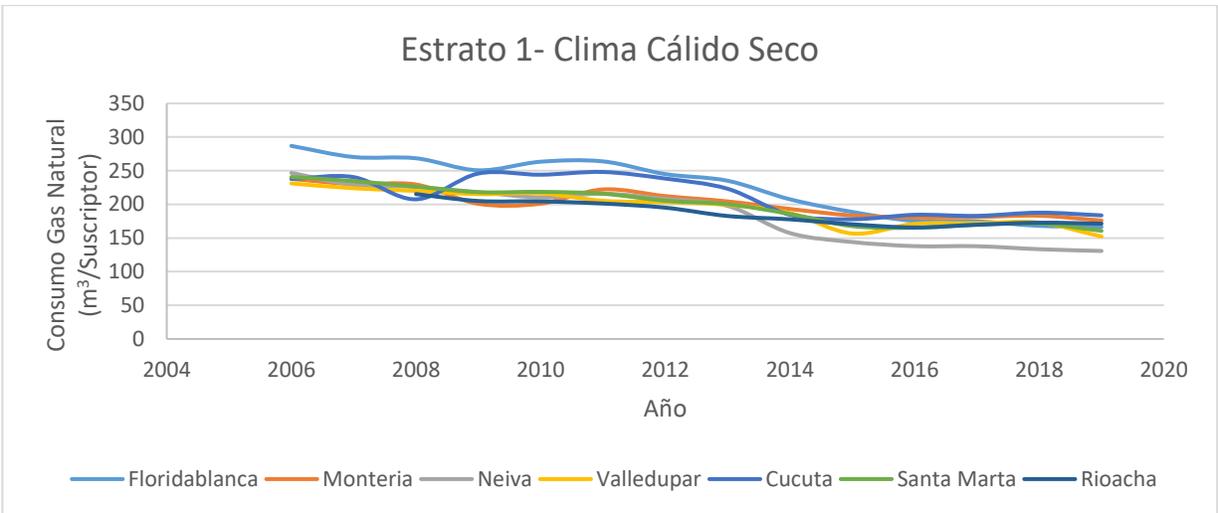


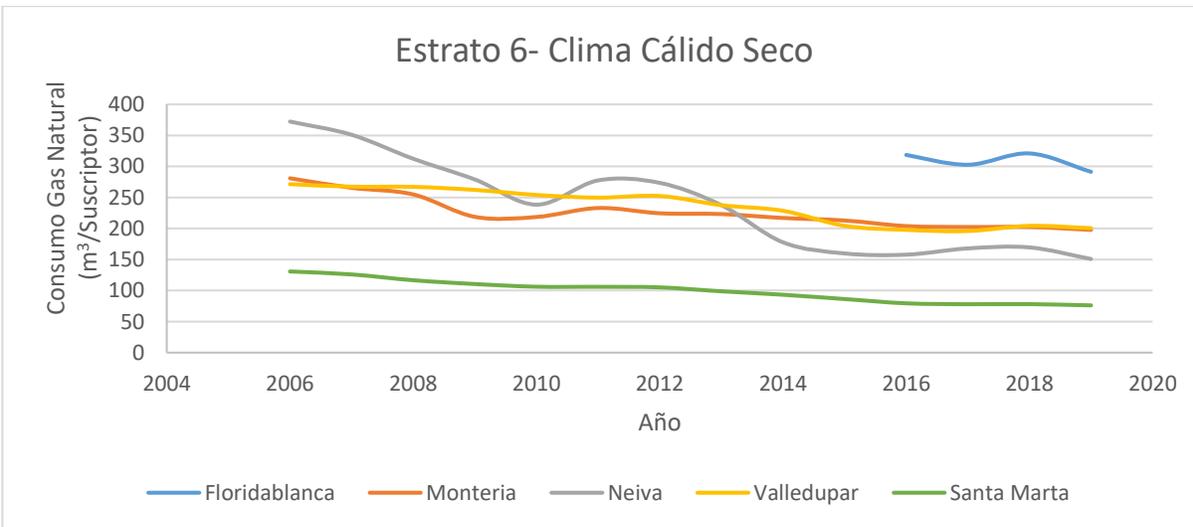
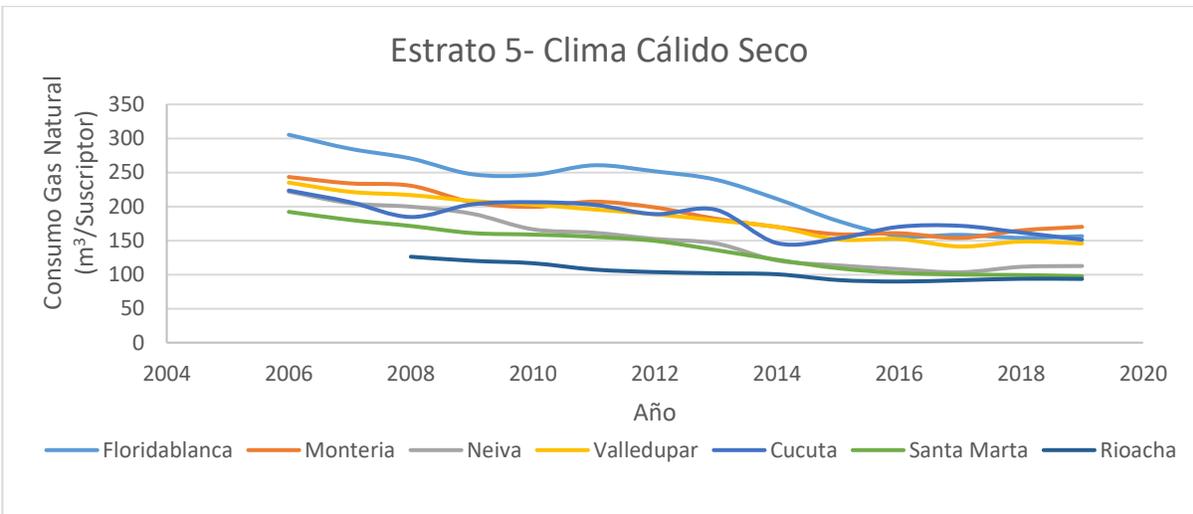
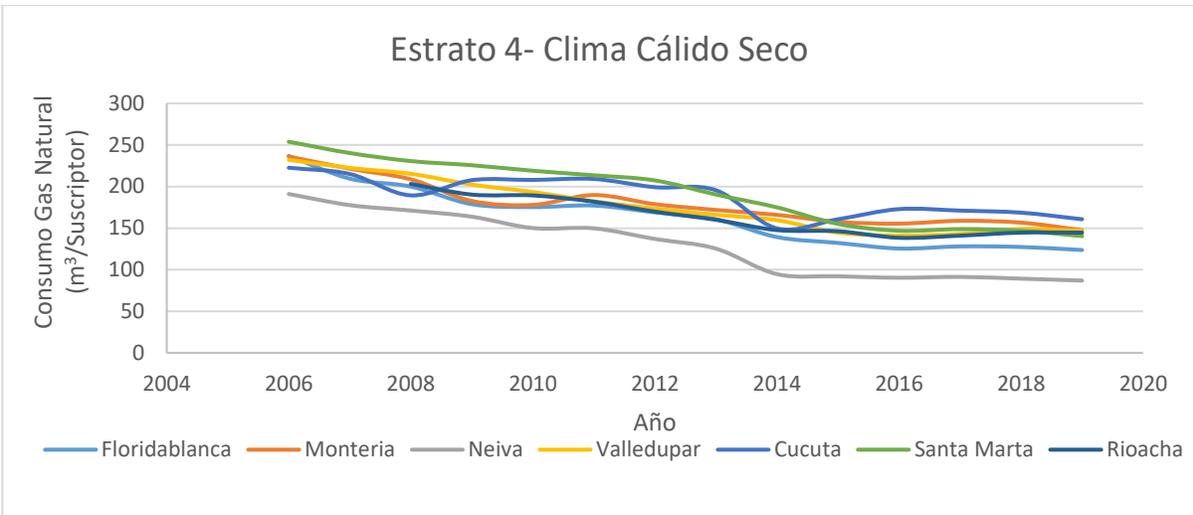
Figura A 12. Consumo promedio de Gas Natural por estrato clima templado.

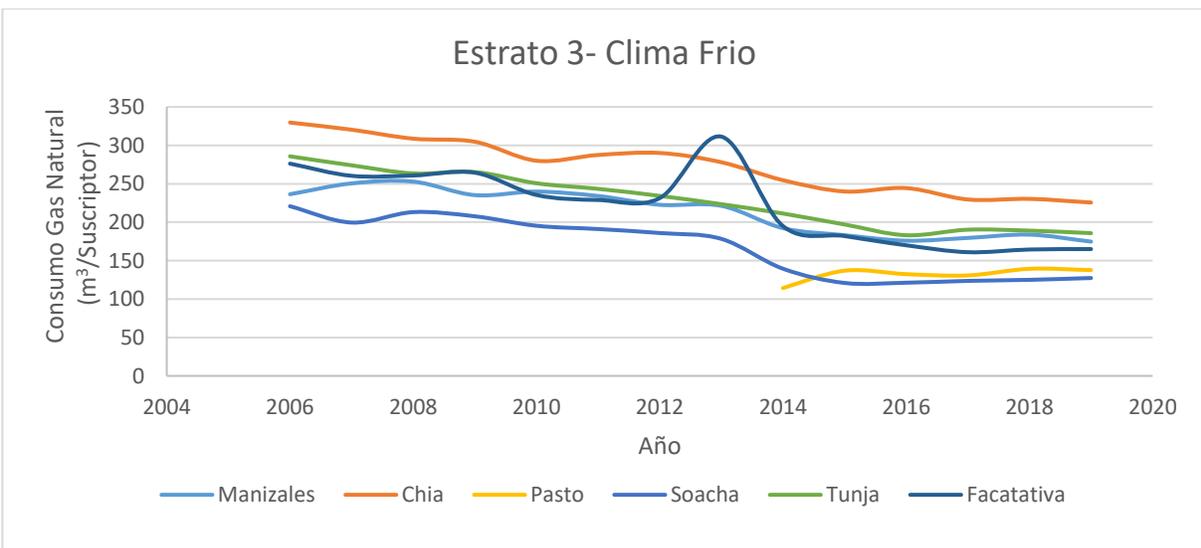
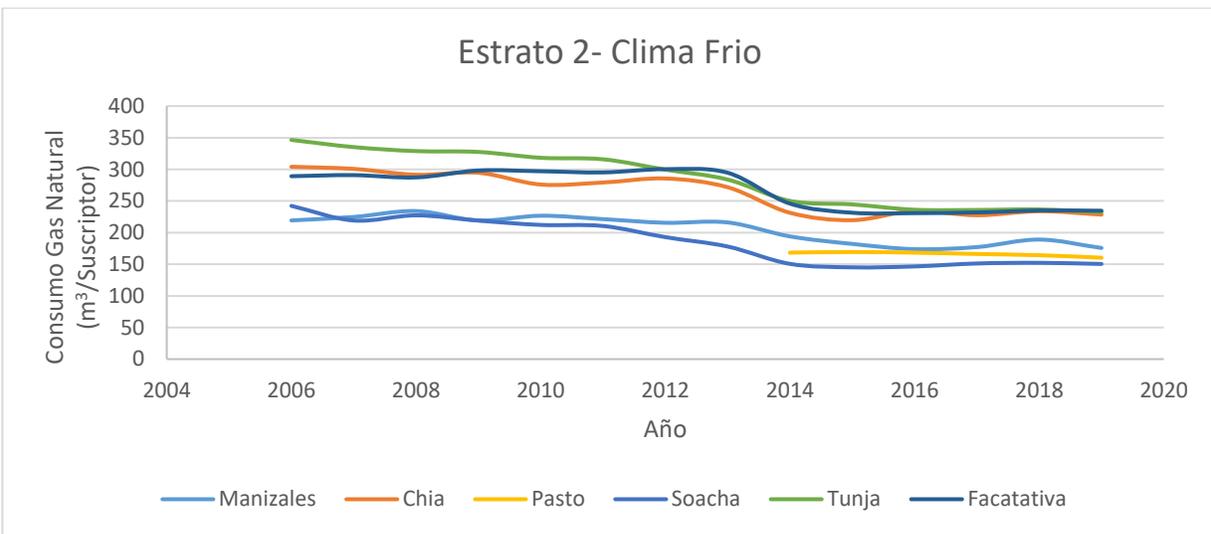
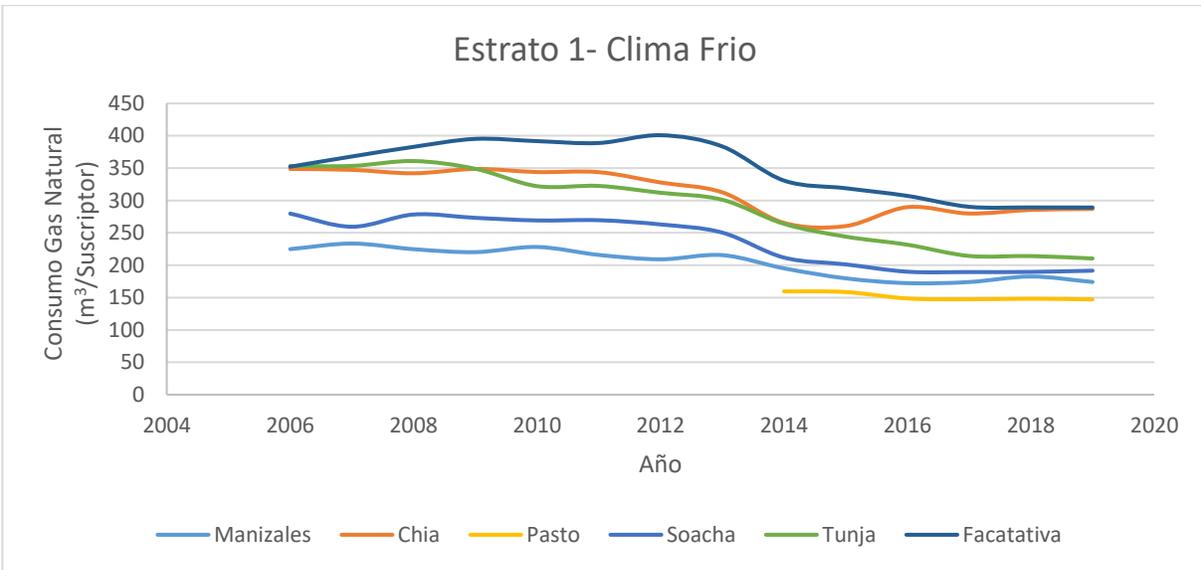
Fuente: elaboración propia.

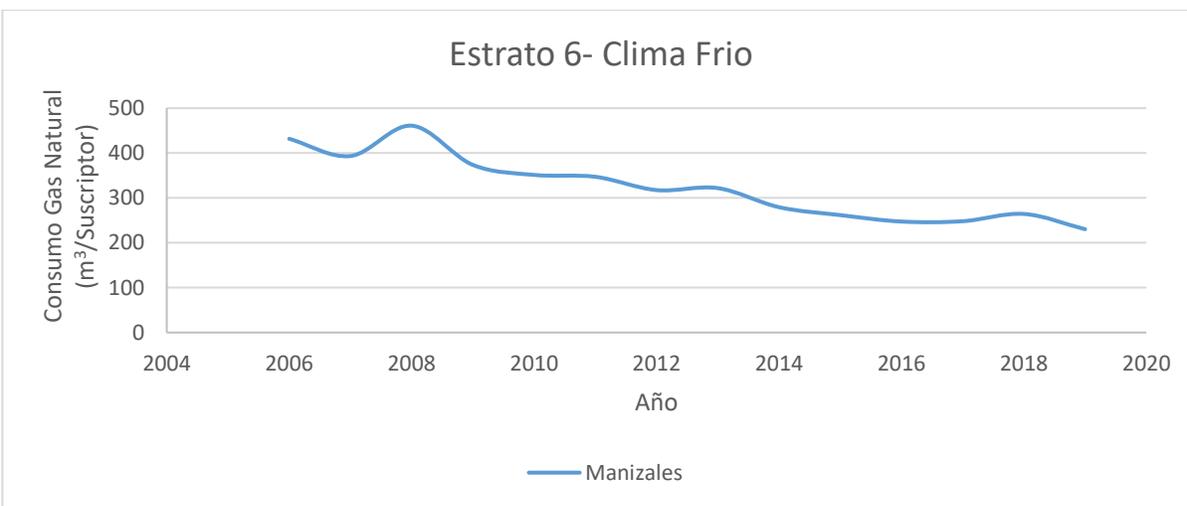
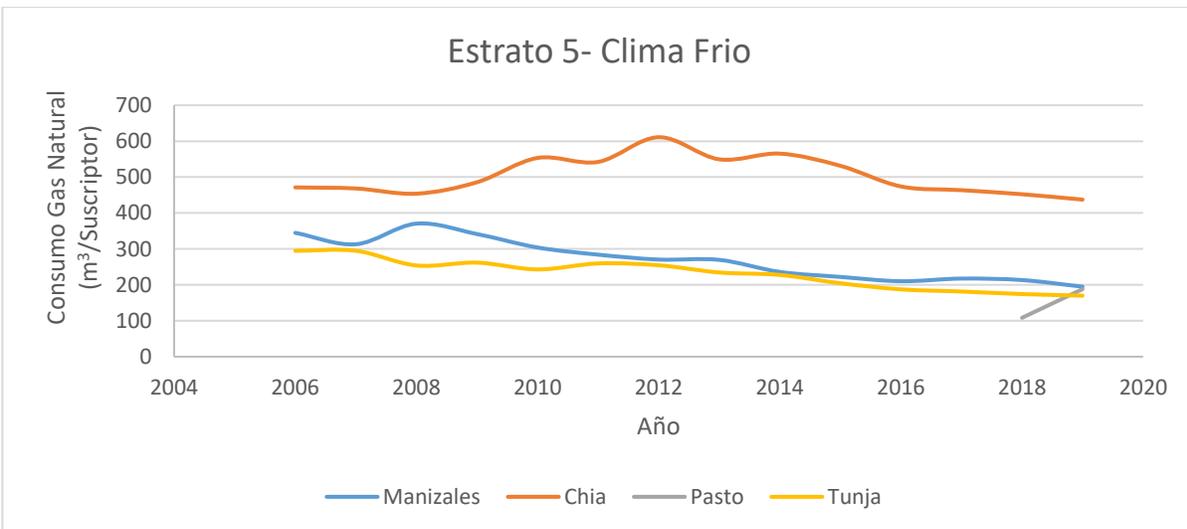
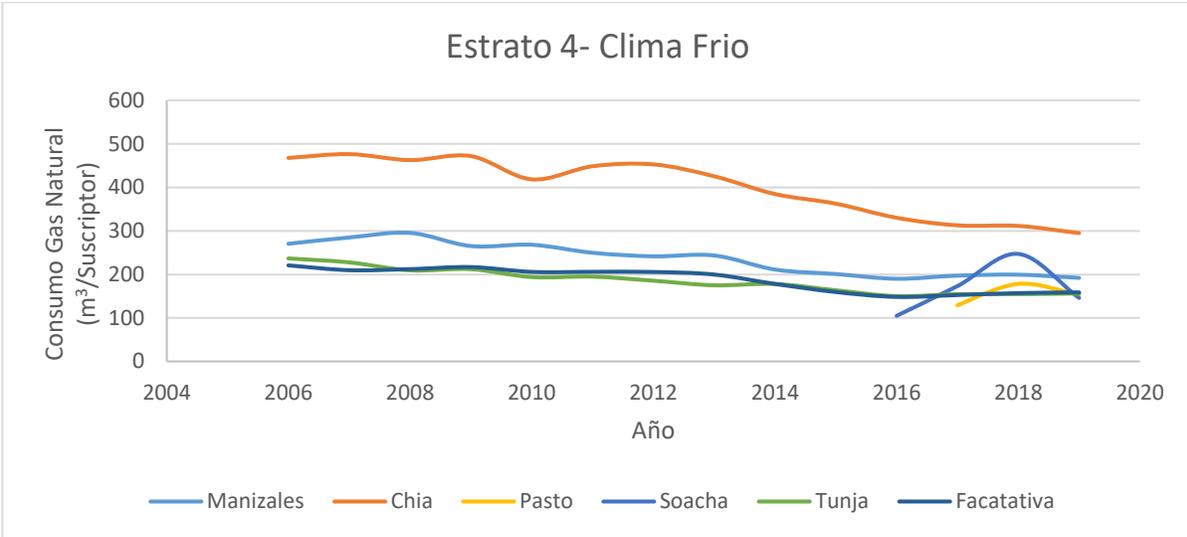


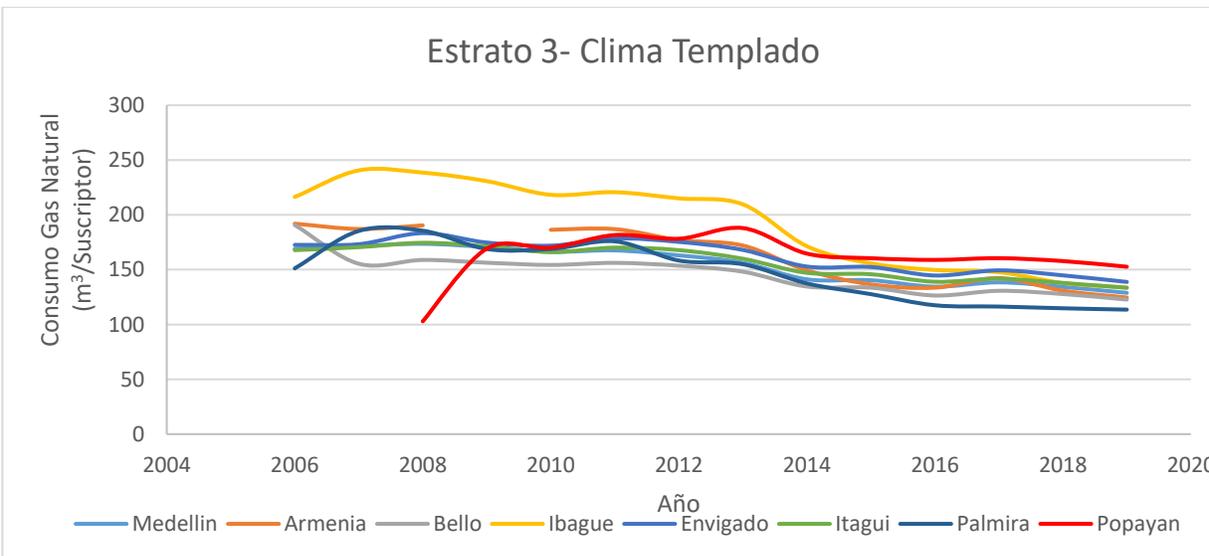
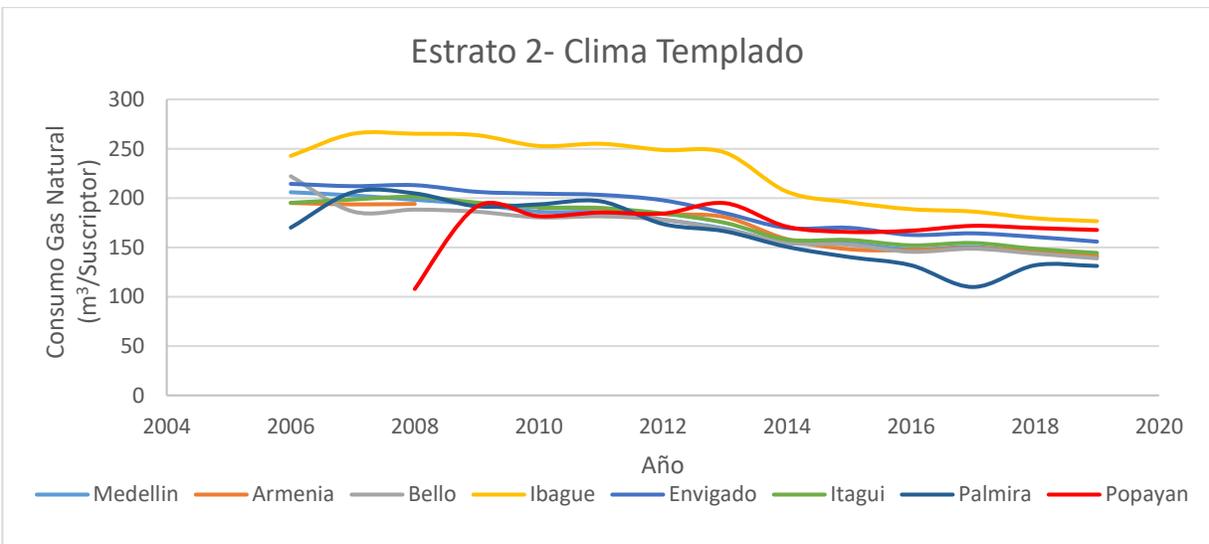
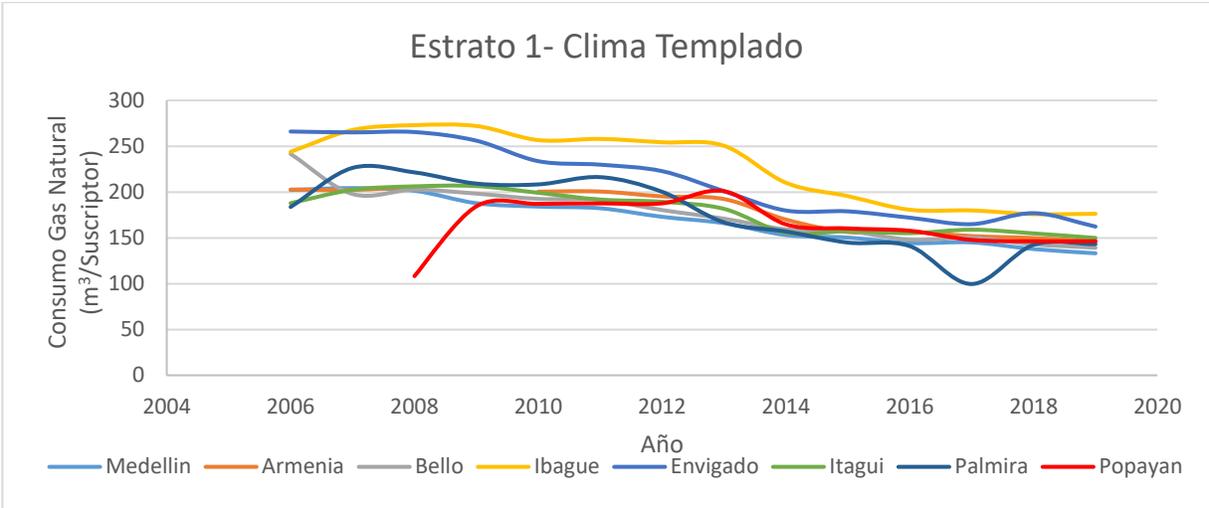


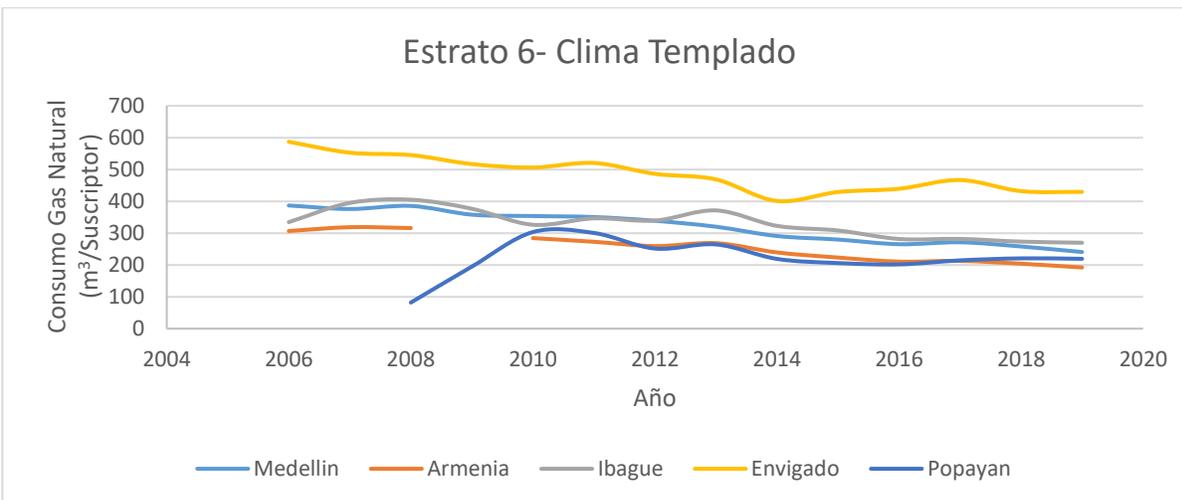
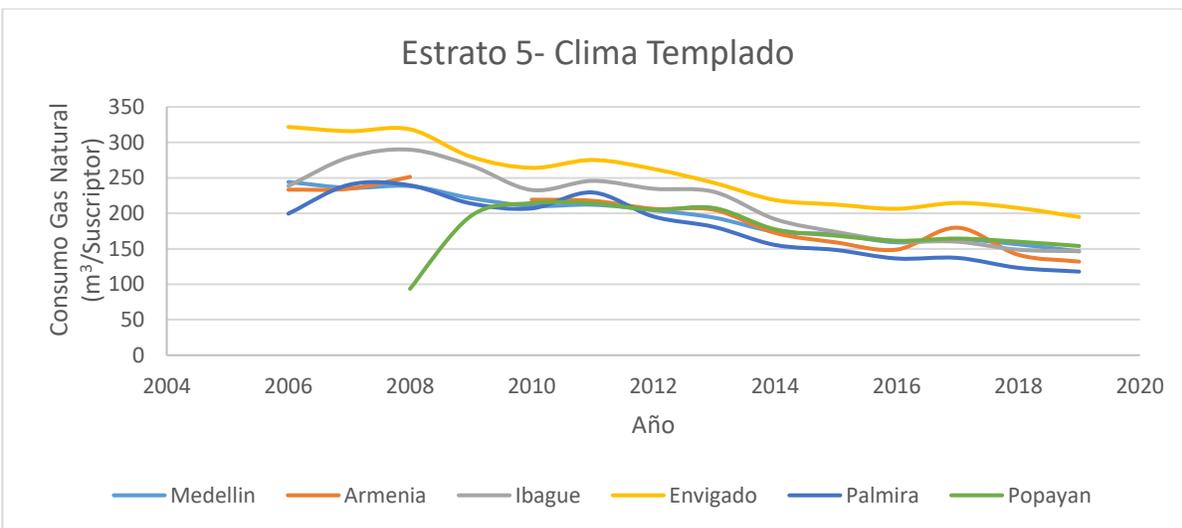
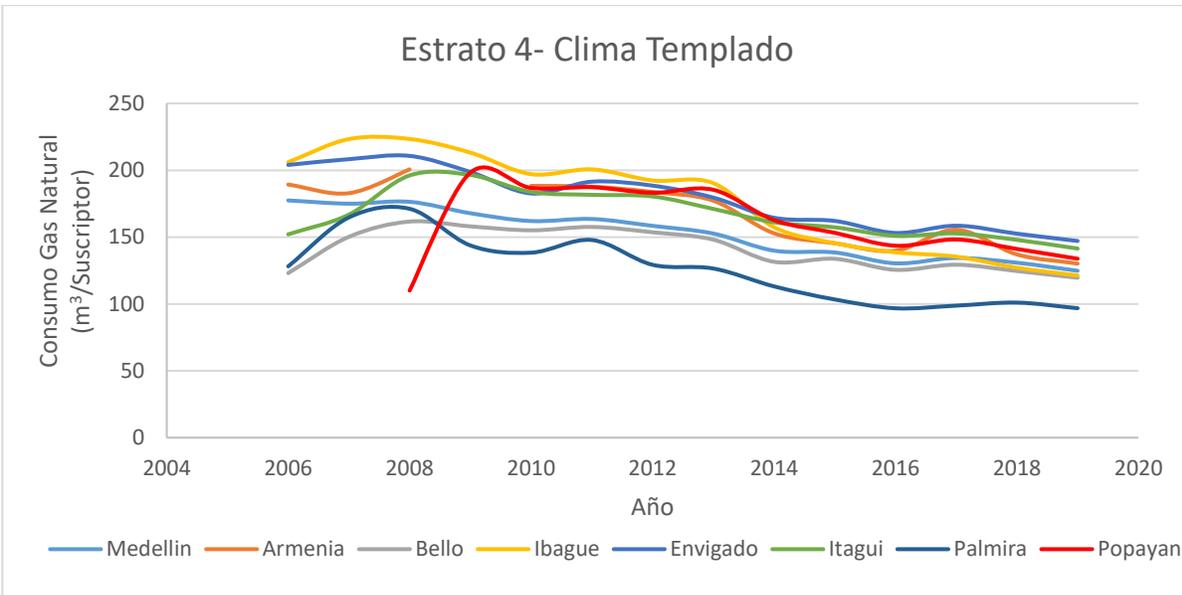












Anexo 12. Análisis sobre consumo de agua por estrato, ciudad y clima.

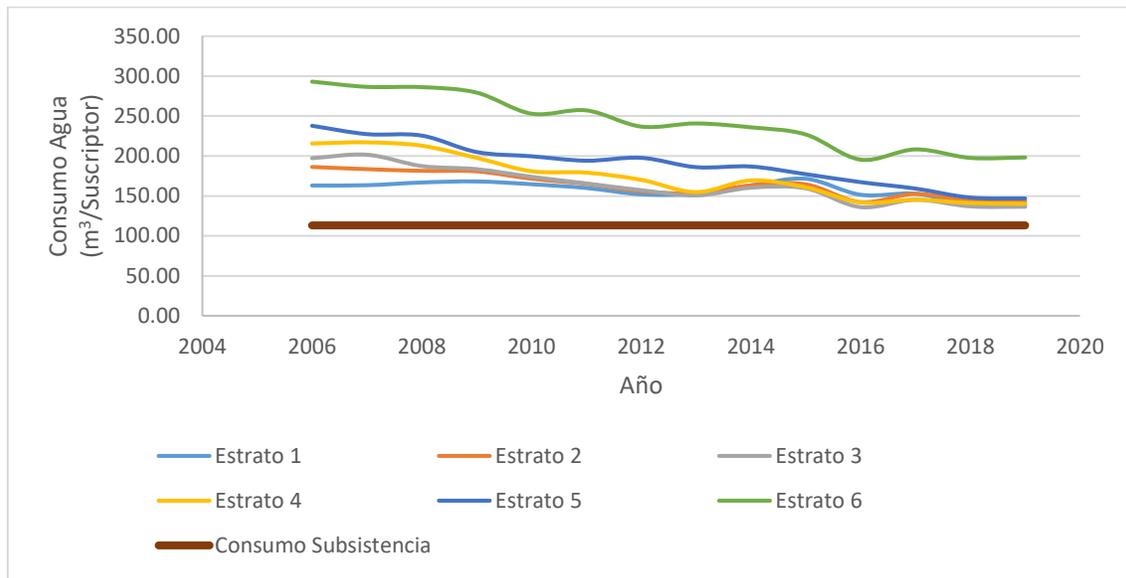


Figura A 13. Consumo promedio de agua por estrato nivel nacional.

Fuente: elaboración propia.

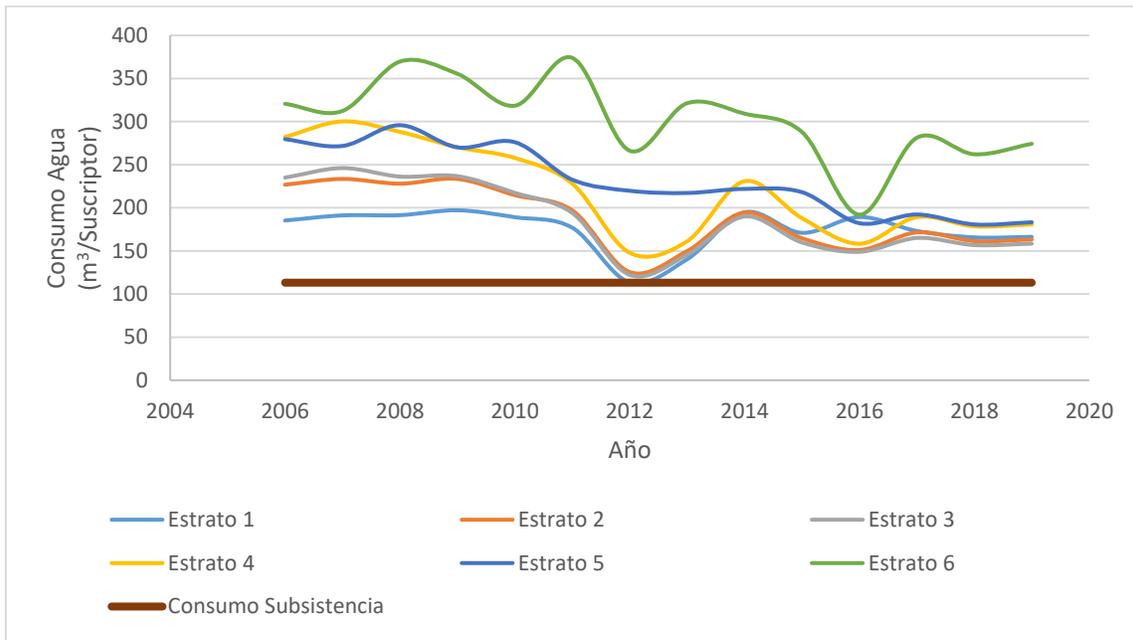


Figura A 14. Consumo promedio de agua por estrato clima cálido húmedo.

Fuente: elaboración propia.

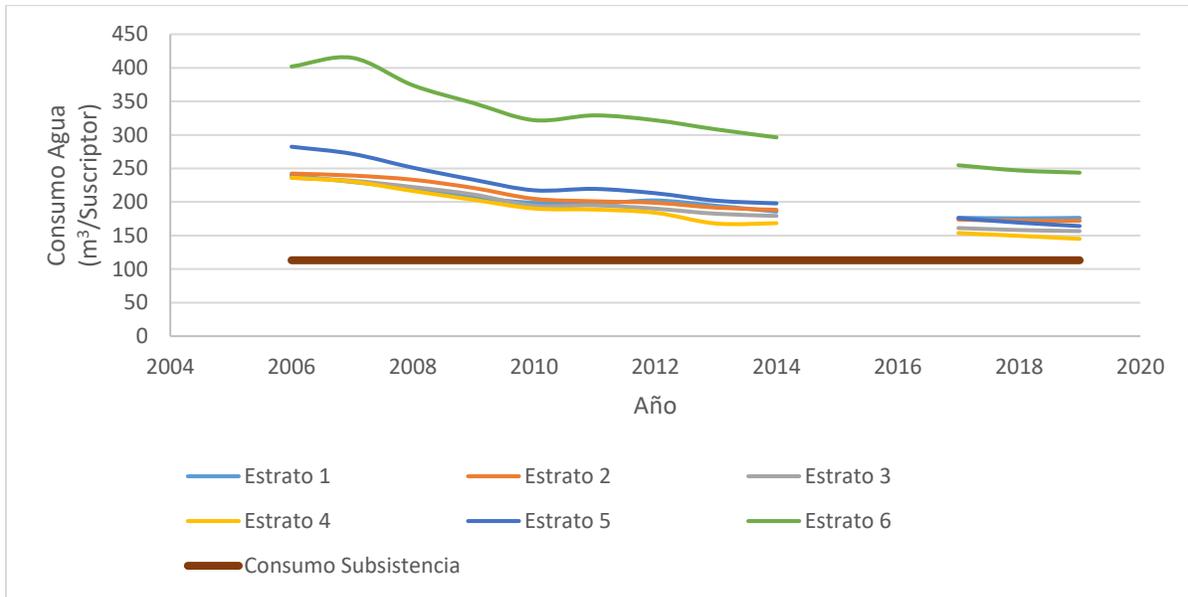


Figura A 15. Consumo promedio de agua por estrato Cali.

Fuente: elaboración propia.

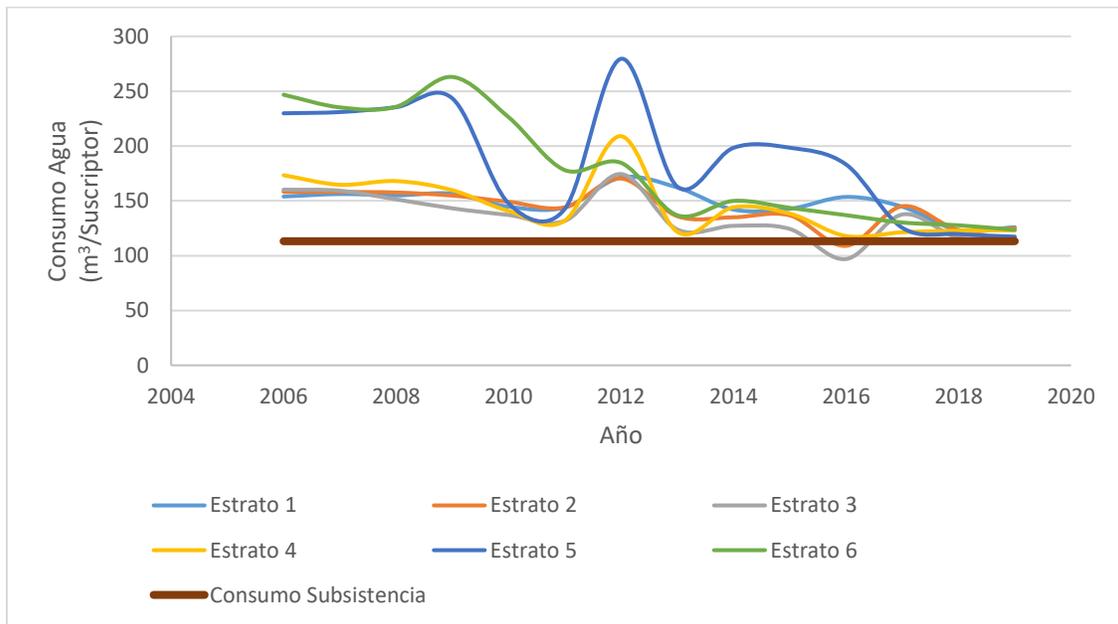


Figura A 16. Consumo promedio de agua por estrato clima frío.

Fuente: elaboración propia.

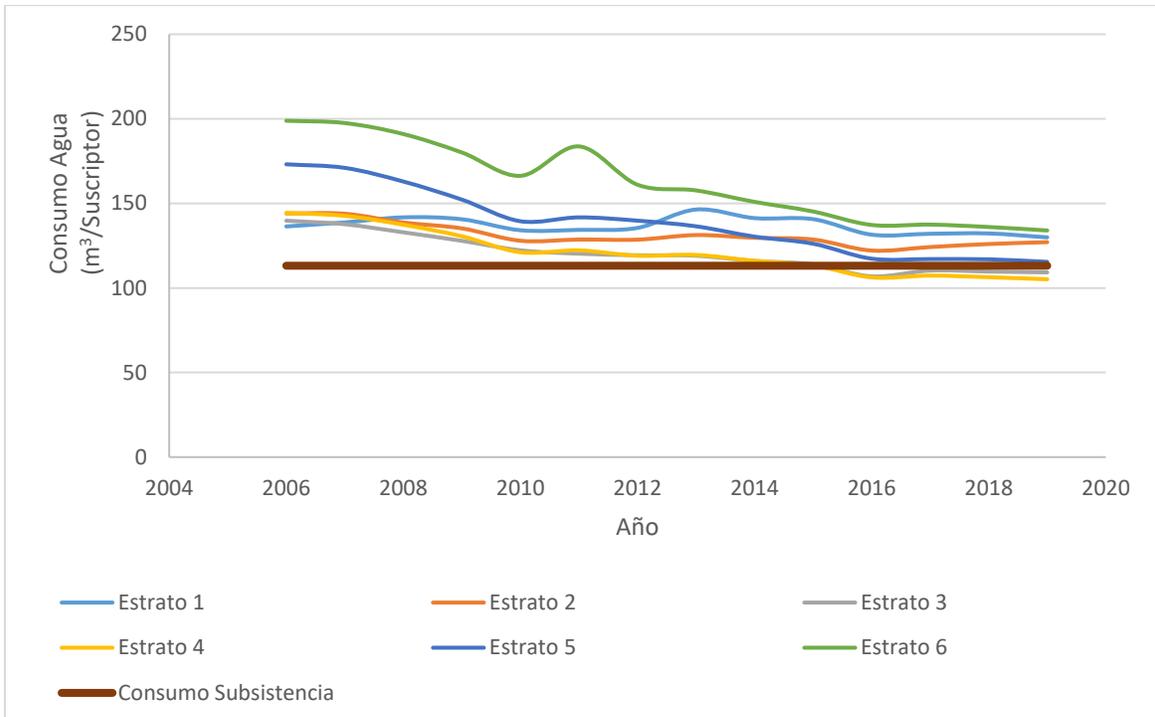


Figura A 17. Consumo promedio de agua por estrato Bogotá.

Fuente: elaboración propia

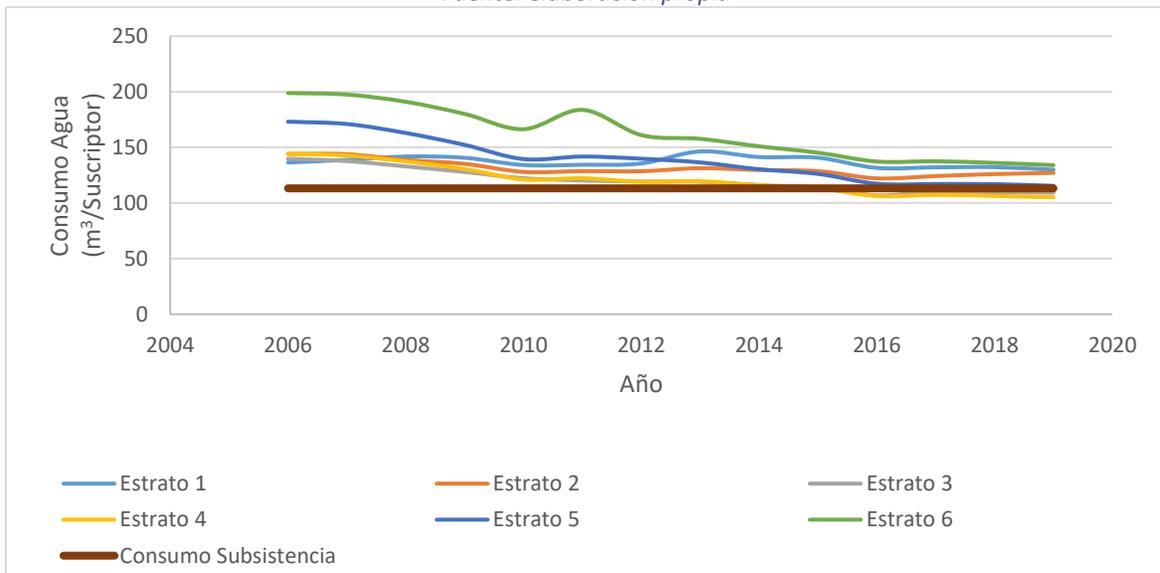


Figura A 18. Consumo promedio de Agua por estrato clima Templado

