

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA AGROFORESTAL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS
NATURALES Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

LA HUELLA DE CARBONO EN LA MUNICIPALIDAD DE
SAN CARLOS Y LOGRO DE LA CARBONO
NEUTRALIDAD

Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área
Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica
para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos
Naturales y Tecnologías de Producción

Gabriela Montes de Oca Vásquez
Eliécer Arce Ramírez

Campus San Carlos, Costa Rica

2011

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a nuestros profesores y compañeros que colaboraron dándonos mucha motivación e ideas.

A nuestros padres, por estar siempre presentes apoyándonos y mostrarnos confianza

A los Departamentos de la Municipalidad de San Carlos que nos brindaron su apoyo de colaboración.

Además de la contribución de la Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos (COOPELESCA R. L); y a la compañía Áreas de Frío, que brinda asistencia técnica de los equipos de refrigeración, por la información suministrada.

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica , como requisito parcial para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción.

**Edgar Ortiz Malavasi, Ph. D.
Director de Tesis**

**Gustavo Torres Córdoba, M.Sc
Lector de Tesis**

**Rodolfo Canessa Mora, M.Sc
Coordinador del Área Académica Agroforestal**

**Gabriela Montes de Oca Vásquez
Estudiante**

**Eliécer Arce Ramírez
Estudiante**

Índice

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN.....	X
I. ANTECEDENTES.....	1
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. Calentamiento Global y Cambio Climático.....	6
2.3. Huella de carbono.....	8
2.4. Carbono neutralidad	9
2.5. Descripción geográfica e histórica del área de estudio: Municipalidad de San Carlos.....	10
2.5.1. Descripción geográfica.....	10
2.5.2. Historia del Cantón de San Carlos.....	11
CAPITULO III. LA HUELLA DE CARBONO DE LA MUNICIPALIDAD.....	14
3.1. Introducción.....	14

3.2. Marco Metodológico.....	14
3.2.1. Tipo de estudio	14
3.2.2. Método de investigación:	14
3.2.3. Fuentes y técnicas para la recolección de la información	15
3.2.4. Ubicación del proyecto.....	15
3.2.5. Medición de la Huella de carbono.....	16
3.2.6. Inventario y cuantificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero	17
3.2.6.1. Emisiones directas:	17
3.2.6.1.1. Emisiones por consumo de combustibles.....	17
3.2.6.1.2. Viajes aéreos:.....	18
3.2.6.1.3. Emisiones de los sistemas de refrigeración.....	18
3.2.6.2. Emisiones indirectas:	19
3.2.6.2.1. Consumo eléctrico	19
3.2.6.2.2. Emisión de metano del vertedero municipal	20
3.2.6.3. Otras emisiones indirectas:	22
3.2.6.3.1. Papel	22
3. 3. Resultados.....	22
3.3.1. Inventario de las fuentes de emisiones y remociones totales provenientes de las actividades de la Municipalidad de San Carlos.	22
3.3.2. Emisiones directas	23
3.3.2.1. Emisiones por consumo de combustibles.....	23
3.3.2.2. Emisiones por viajes aéreos de la Municipalidad.....	25
3.3.2.3. Emisiones de los sistemas de refrigeración.....	25
3.3.3. Emisiones Indirectas	27
3.3.3.1. Emisiones por consumo eléctrico	27
3.3.3.2. Emisiones del vertedero municipal	28
3.3.3.3. Papel.....	29
3.3.4. Emisiones causadas por la Municipalidad de San Carlos.....	30
3.4. Discusión.....	31
3.4.1. Emisiones directas	31
3.4.1.1. Consumo de Combustibles.....	31
3.4.1.2. Emisiones viajes aéreos de la Municipalidad.....	31
3.4.1.3. Emisiones de los sistemas de refrigeración	32
3.4.2. Emisiones indirectas	33
3.4.2.1. Generación por consumo eléctrico	33
3.4.2.2. Emisiones del vertedero municipal	34

3.4.3.	Emisiones totales de CO ₂ de la Municipalidad	38
3.5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	38
CAPITULO IV. IDENTIFICACION DE SUMIDEROS INSTITUCIONES Y REDUCCIONES DE CARBONO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS		
.....		40
4.1.	Introducción.....	40
4.2.	Marco Metodológico.....	41
4.2.1.	Identificación y Cuantificación de las remociones de GEI's en la Municipalidad de San Carlos	41
4.3.	Resultados	43
4.4.	Discusión.....	44
4.5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	46
CAPITULO V. PROPUESTA PARA REDUCCIONES Y COMPENSACIONES DE GEI'S PARA LLEVAR A CABO LA CARBONO NEUTRALIDAD EN LA MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS		
.....		47
5.1.	Introducción	47
5.2.	Marco Metodológico.....	48
5.2.1.	Propuesta para reducciones y compensaciones de GEI's para llevar a la carbono neutralidad	48
5.3.	Resultados	49
5.3.1.	Lineamientos para el logro de la Carbono Neutralidad en la Municipalidad	49
5.3.2.	Acciones para la reducción de GEI.....	50
5.3.2.1.	Vertedero municipal.....	50
5.3.2.1.1.	Escenario 1. Compostaje de los residuos orgánicos	51
5.3.2.1.2.	Escenario 2. Reciclaje de los residuos de papel blanco y cartón.....	51
5.3.2.1.3.	Escenario 3. Reciclaje de los residuos de papel blanco y cartón; y el compostaje de los residuos orgánicos.....	52
5.3.2.2.	Consumo Eléctrico.....	54
5.3.2.3.	Consumo de Combustibles.....	55
5.3.2.3.1.	Predio:.....	55

5.3.2.3.2. Planificación de giras	56
5.3.2.3.3. Programa de plantación, mantenimiento y manejo de plantaciones forestales.....	56
5.3.2.4. Sistemas de refrigeración.....	56
5.3.2.5. Papel	57
5.3.3. Compensaciones de CO ₂	57
5.4. Conclusiones y Recomendaciones.....	59
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS.....	68
Anexo 1. Inventario de aires acondicionados presentes en el Edificio Municipal	68
Anexo 2. Mapa de Ubicación y delimitación del vertedero municipal San Luis de Florencia. 69	
Anexo 3. Lista de vehículos municipales que utilizan diesel como combustible.	70
Anexo 4. Lista de vehículos municipales que utilizan gasolina como combustible.....	71
Anexo 5. Consumo de Diesel de los vehículos municipales para el periodo agosto 2010-julio 2011.....	72
Anexo 6. Consumo de Gasolina de los vehículos municipales para el periodo agosto 2010-julio 2011.....	73
Anexo 7. Vertedero municipal San Luis de Florencia, San Carlos. a) Disposición de los residuos en el Vertedero, b) lixiviados del Vertedero	74
Anexo 8. Vegetación presente en el vertedero municipal San Luis de Florencia. a y b: Bosque ripario	75

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Factores de emisión para derivados del petróleo.....	17
Cuadro 2. Factores de emisión para viajes aéreos.....	18
Cuadro 3. Factores de emisión para la producción de electricidad producida con energía térmica (hidrocarburos)	19
Cuadro 4. Energía térmica producida por hidrocarburos en Costa Rica	19
Cuadro 5. Fuentes de emisiones y remociones incluidas para la determinación de la huella de carbono de la Municipalidad de San Carlos.....	23
Cuadro 6. Emisiones de CO ₂ en tCO ₂ e del consumo de combustibles de los vehículos municipales.....	24
Cuadro 7. Emisiones de tCO ₂ e por viajes aéreos	25
Cuadro 8. Ubicación y Características de los aires acondicionados presentes en el Palacio Municipal.....	26
Cuadro 9. Emisiones de CO ₂ en tCO ₂ e del consumo eléctrico de las propiedades Municipales	27
Cuadro 10. Emisiones de metano en Gg/año mediante el método por Defecto del IPCC 2006 .	28
Cuadro 11. Emisiones totales de CO ₂ en tCO ₂ e causadas por la institución durante el periodo agosto 2010-julio 2011	30
Cuadro 12. Fijación de carbono en ecosistemas naturales.....	42
Cuadro 13. Fijación de carbono/ton/ha/año, en algunas plantaciones forestales del trópico húmedo	42
Cuadro 14. Clasificación por tipo de ecosistema presente en el vertedero municipal, San Luis de Florencia.....	43
Cuadro 15. Toneladas de CO ₂ e fijadas por tipo de ecosistema	44
Cuadro 16. Resumen de los escenarios propuestos para la reducción de metano en el vertedero municipal	52
Cuadro 17. Balance neto de emisiones de la Municipalidad de San Carlos en toneladas de CO ₂ equivalente para el periodo agosto 2010- julio 2011	57
Cuadro 18. Toneladas CO ₂ almacenado por hectárea según especie	58
Cuadro 19. Área a reforestar (ha), según especie forestal, para mitigar emisiones de la Municipalidad de San Carlos	58

Índice de figuras

Figura 1. Representación gráfica de la generación del efecto invernadero.	7
Figura 2. Cantón de San Carlos, Provincia de Alajuela.....	11
Figura 3. Palacio Municipal de San Carlos	16
Figura 4. Porcentaje de tipo de carga vehicular por tipo de combustible	24
Figura 5. Porcentaje de consumo eléctrico de las propiedades Municipales	28
Figura 6. Clasificación y cantidad (t/año) de los residuos sólidos del vertedero municipal San Luis de Florencia.....	29
Figura 7. Emisiones totales de CO ₂ en tCO ₂ e causadas por la institución durante el periodo agosto 2010- julio 2011	30
Figura 8. Mapa del Uso del suelo actual del vertedero municipal, San Luis de Florencia, San Carlos.....	43

La huella de carbono en la Municipalidad de San Carlos y logro la carbono neutralidad

Resumen

El cambio climático, provocado por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), especialmente por el CO₂, es uno de los principales temas de discusión de nuestro tiempo y existen evidencias de que la mayor parte del calentamiento global ha sido causado por las actividades humanas. Tal situación ha provocado una preocupación a nivel mundial, lo que ha llevado a las instituciones a tomar medidas para conocer, reducir y mitigar los GEI. Una metodología para conocer la concentración de estos gases es mediante el cálculo de la huella de carbono, la cual se obtiene cuantificando las emisiones de GEI originadas a lo largo de un periodo de tiempo, expresadas en tCO₂ equivalente. En esta investigación se determinó la huella de carbono de la Municipalidad de San Carlos y se realizó una propuesta para lograr la carbono neutralidad. El inventario tiene como año base desde agosto 2010 hasta julio 2011, identificando las emisiones directas, indirectas y otras indirectas y evaluando la capacidad de remoción de los distintos ecosistemas que se identificaron en el capital natural. El total de emisiones de gases de efecto invernadero fue de 51608 tCO₂e; las actividades que representaron la mayor intensidad de emisiones fueron, en primer lugar el vertedero municipal con un total de emisiones de 49631 tCO₂/año, que representa un 96,5% del total de las emisiones de la Municipalidad. En segundo lugar, pero en bajo porcentaje, se encuentra, el consumo de combustible (diesel y gasolina) para abastecer la maquinaria y vehículos de la institución y el consumo eléctrico de todas las

propiedades Municipales. Las remociones totales para el capital natural fue de 364 tCO₂, identificándose bosques secundarios y sistemas agroforestales. El balance de la institución en el periodo evaluado infiere que el capital natural no remueve una mayor cantidad de CO₂ de lo que la institución emite. Por lo tanto son necesarias medidas de reducción y mitigación de GEI, principalmente los provenientes del vertedero municipal, proponiéndose varios escenarios que incluyen medidas de reciclaje y compostaje.

I. ANTECEDENTES

Ante la amenaza del cambio climático, a nivel mundial, se inician acciones orientadas a contrarrestar dicho problema, ya para el año de 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMN) establecieron en conjunto el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el cual tiene como propósito, evaluar el estado del conocimiento científico sobre diversos aspectos del cambio climático, evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos y analizar estrategias de mitigación. El IPCC se reconoce internacionalmente como la autoridad científica y técnica sobre cambio climático, y sus evaluaciones tienen gran influencia en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto.

En 1992, 16 países de América firmaron un acuerdo internacional para establecer el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático, con la misión de entender el impacto del cambio global presente y futuro en los ambientes regionales y continentales de América, y para promover la colaboración científica y proveer de información útil y de manera oportuna a los tomadores de decisiones (IAI, 2011).

A partir de 1995 se han adoptado decisiones sobre cómo prestar ayuda a los países más pobres, que carecen de las capacidades financieras, técnicas y de personal para adoptar medidas apropiadas de adaptación. A partir de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático

en el año 2002, la adaptación al cambio climático se ha convertido en un tema central. La comunidad internacional financia la adaptación al cambio climático a través del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), y de tres fondos especiales, que se constituyeron como consecuencia de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y del Protocolo de Kioto (GTZ, 2011). El protocolo de Kioto en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se creó en 1997, tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible y cada una de las partes incluidas en el protocolo, debe cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones de tal manera que se reduzcan al mínimo los efectos adversos, comprendidos los efectos adversos del cambio climático, los efectos en el comercio internacional, y las repercusiones sociales, ambientales y económicas (Protocolo de Kioto, 1997).

Costa Rica no es ajena ante el problema del cambio climático, ya que en el marco de la pasada Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Bali, Diciembre 2007), hizo público su compromiso voluntario por convertirse en un país “Carbono Neutral”, para lo cual estableció como fecha meta el año 2021. Posteriormente, en el décimo período de Sesiones Extraordinarias del PNUMA y el Foro Ambiental Mundial, realizado en el año 2008 en la ciudad de Mónaco, se anunció el establecimiento oficial de la Red de Neutralidad Climática, la cual es una iniciativa liderada por Costa Rica, por medio de la cual se pretende influenciar internacionalmente en el intercambio de experiencias y prácticas para la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) con el objetivo de alcanzar sociedades con cero emisiones.

Dentro de dicha Red se encuentra: Costa Rica, Islandia, Etiopía, Mónaco, Noruega y Nueva Zelanda (Stagno y Ugalde, 2008).

El Gobierno de Costa Rica en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2006 – 2010 posiciona la Agenda de Cambio Climático como prioritaria a nivel nacional e internacional. En la Iniciativa Paz con la Naturaleza, se propone elaborar y poner en práctica un Plan Nacional de Cambio Climático que permita consolidar una visión del país y tener una coordinación interinstitucional para atender los retos en diversos sectores del país, con el propósito de convertir a Costa Rica en líder mundial en C-neutral. El Ministro de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica, toma liderazgo tanto a nivel nacional como internacional en el tema de cambio climático y se compromete que Costa Rica sea un país carbono neutral para el año 2021. Para enfrentar este gran reto y elaborar el Plan Nacional de Cambio Climático, se crea la oficina de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), que trabaja con base en 5 ejes de acción que incluyen, mitigación, vulnerabilidad y adaptación, métrica, desarrollo de capacidades y transferencia tecnológica, y educación y sensibilización.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Determinar la huella de carbono en la Municipalidad de San Carlos y realizar una propuesta para lograr la carbono neutralidad.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Realizar un inventario de las fuentes de emisiones y remociones totales provenientes de las actividades de la Municipalidad de San Carlos.
2. Cuantificar las emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero de la Municipalidad de San Carlos.
3. Realizar una propuesta para la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para lograr la carbono neutralidad en la Municipalidad de San Carlos.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Introducción

Desde los inicios de la revolución industrial, la influencia del ser humano sobre los ecosistemas naturales ha alcanzado una escala mundial, producto del aumento poblacional en los últimos tiempos, del consumo de combustibles fósiles, de la intensidad de uso de la tierra, la agricultura y de otras actividades humanas que contaminan el ambiente y deterioran la calidad de vida de los humanos (Githeko et al., 2009). Todas las anteriores actividades ocasionan un aumento de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, entre otras) en la atmósfera (Ruiz y Musmanni, 2007). El efecto invernadero se define como un fenómeno natural y beneficioso, sin embargo, cuando por causas naturales y humanas se da un incremento en la atmósfera de los GEI, se produce un aumento de este efecto y trae como consecuencia el calentamiento global del planeta (IPCC, 2007).

El calentamiento global se define como la modificación del clima, de la atmósfera terrestre y los océanos, a nivel mundial. Principalmente en los parámetros climáticos, como la temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros; dichos cambios en el clima se miden con respecto al historial climático a una escala global o regional y se producen a muy diversas escalas de tiempo (Caballero et al., 2007; Saenz-Romero et al., 2009). El calentamiento global, ha sido un fenómeno progresivo y constante (IPCC, 2007), lo cual ha obligado a

que se tomen medidas inmediatas para reducir o mitigar los gases de efecto invernadero (Osman-Elasha, 2009).

2.2. Calentamiento Global y Cambio Climático

La Tierra está compuesta por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, que incluye a los GEI, como lo son, el vapor de agua, bióxido de carbono (CO_2) (principal gas de invernadero después del vapor de agua, y el más importante de los relacionados con actividades humanas), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Estrada, 2001). Estos gases, absorben parte de las radiaciones térmicas de la superficie terrestre e impiden que escapen hacia el espacio exterior, constituyendo así el efecto de invernadero natural de nuestro planeta (figura 1). En ausencia de los GEI, la temperatura media de la tierra sería de alrededor de -20°C . (Estrategia Nacional del cambio climático, 2009).

Por otra parte, la variabilidad climática de la Tierra, está determinada por tres factores: la variación en la concentración de gases de invernadero, actividad solar y la actividad volcánica (González et al., 2003). Varios estudios científicos indican que parece existir una correlación entre el calentamiento global y el aumento de gases de invernadero en la atmósfera (Mitchell y Johns, 1997; González et al., 2003).



Figura 1. Representación gráfica de la generación del efecto invernadero.
Fuente: PNUMA-GRID-Arendal, 2011.

Dentro de las principales causas del calentamiento global, se encuentra, el aumento de CO₂ proveniente de las actividades humanas (la cual es considerada la principal causa de este cambio climático) y la combinación de estas actividades con la variabilidad natural del clima (como las variaciones en el comportamiento del sol o las circulaciones de los océanos) (Guerra, 2007; IMN, 2009).

Durante las últimas décadas ha habido un incremento en la influencia de las actividades humanas sobre el clima, mucha atención se ha puesto principalmente sobre el aumento en el dióxido de carbono, resultante de la deforestación y quema de combustibles fósiles, además de otros gases de efecto invernadero incluyendo los clorofluorocarbonos y el metano (Rozas, 2003).

El calentamiento global da como resultado el cambio climático el cual provoca cambios en los patrones de temperatura y precipitación del planeta, así

como en la frecuencia y severidad de eventos extremos como huracanes y sequías (Rozas, 2003). González et al., 2003, señala que la concentración de CO₂ atmosférico ha aumentado en los últimos 250 años: de 280 ppm en 1750 a 353 ppm en 1990, y sigue en aumento a una tasa de 1.8 ppm por año; y Arias, 2011, estima que alcanzará entre 550 y 700 ppm para el año 2050.

Por su origen relacionado con actividades humanas y porque afectan la vida en todo el planeta, estos problemas ambientales deben ser conocidos y entendidos, no sólo por técnicos y científicos, sino también por la población en general (IPCC, 2007).

2.3. Huella de carbono

La Huella de Carbono se define como la cantidad total de GEI emitidos (directa e indirectamente) a la atmósfera medidos en toneladas CO₂ equivalente, emitidos por persona, o los asociados a las actividades productivas y de consumo de nuestra sociedad, tales como el transporte, la minería, la generación eléctrica, la agricultura, la producción de bienes de consumo, etc (Borquéz, 2010). Para su determinación, algunos autores toman en cuenta definiciones más simples que abarcan solo las emisiones directas de CO₂, otros consideran definiciones más complejas, y asocian el ciclo de vida completo de las emisiones de gases de efecto invernadero, abarcando desde la adquisición de materias primas, hasta la eliminación de sus desechos y sus respectivos embalajes, permitiendo establecer planes estratégicos para su eventual disminución. Sin embargo, todas las definiciones existentes en la literatura se

centran en el CO₂ como el principal eje de análisis (Schneider y Samaniego, 2010; Borquéz, 2010)

La preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático ha motivado a las organizaciones e instituciones a tomar medidas para conocer a fondo la dinámica de los gases de efecto invernadero, siendo la huella de carbono uno de los indicadores reconocidos mundialmente para comprender dicha dinámica. La relevancia que implica conocer más sobre el concepto de huella de carbono, queda de manifiesto además en las conclusiones propuestas por el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) de 2007 que demuestra que las emisiones siguen creciendo aún en un escenario de compromisos de reducciones en el marco del Protocolo de Kioto, con un evidente liderazgo de los países desarrollados miembros de la OCDE (IPCC, 2007; Schneider y Samaniego, 2010). El cálculo de la huella de carbono, según Guerra (2007), es el primer paso para lograr construir un balance de carbono institucional, el cual determina una combinación deseada de emisiones, que varía en el tiempo y en el espacio, y en el potencial de remoción.

2.4. Carbono neutralidad

El concepto de “Carbono Neutralidad” se refiere a la práctica de balancear, a nivel de país, los equivalentes de emisiones de CO₂, incluyendo no solamente a emisiones directas de CO₂, sino también, emisiones de los otros gases de efecto invernadero (GEI), tales como: metano, óxido nitroso, fluoruros de carbono, medidos en términos de sus equivalentes de dióxido de carbono

(ENCC, 2011). El logro de carbono neutralidad depende de la capacidad institucional u organizativa para neutralizar las emisiones que producen, respecto a su capacidad de reducción de emisiones, remociones en caso de existir capital natural involucrado (Hernández, 2010). La finalidad del carbono neutral es reducir o compensar las emisiones para llegar a un balance neto cero y de este modo contribuir al desarrollo sostenible. El término se refiere al carbono, pero las empresas que producen gases más contaminantes como el metano u otros, deben medir esas emisiones en toneladas equivalentes al CO₂ y hacer la reducción y compensación necesaria para llegar a cero (Arias, 2011).

2.5. Descripción geográfica e histórica del área de estudio: Municipalidad de San Carlos

2.5.1. Descripción geográfica

De acuerdo con la División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica, el cantón de San Carlos cubre una extensión de 3.348 km² y se divide en 13 distritos, que en conjunto reportan una población de 150.241 habitantes (población estimada, INEC, 2010). De acuerdo con estos datos la densidad de población es de 49 h/km².

Las coordenadas geográficas medias del cantón San Carlos están dadas por 10°37'02" latitud norte y 84°30'53" longitud oeste. La anchura máxima es de unos ochenta y dos kilómetros, en dirección norte a sur, desde el Hito No.2, en el margen oeste del río San Juan, frontera con la República Nicaragua, hasta la ladera norte del cerro Pelón, próximo a la naciente del río Aguas Zarcas.

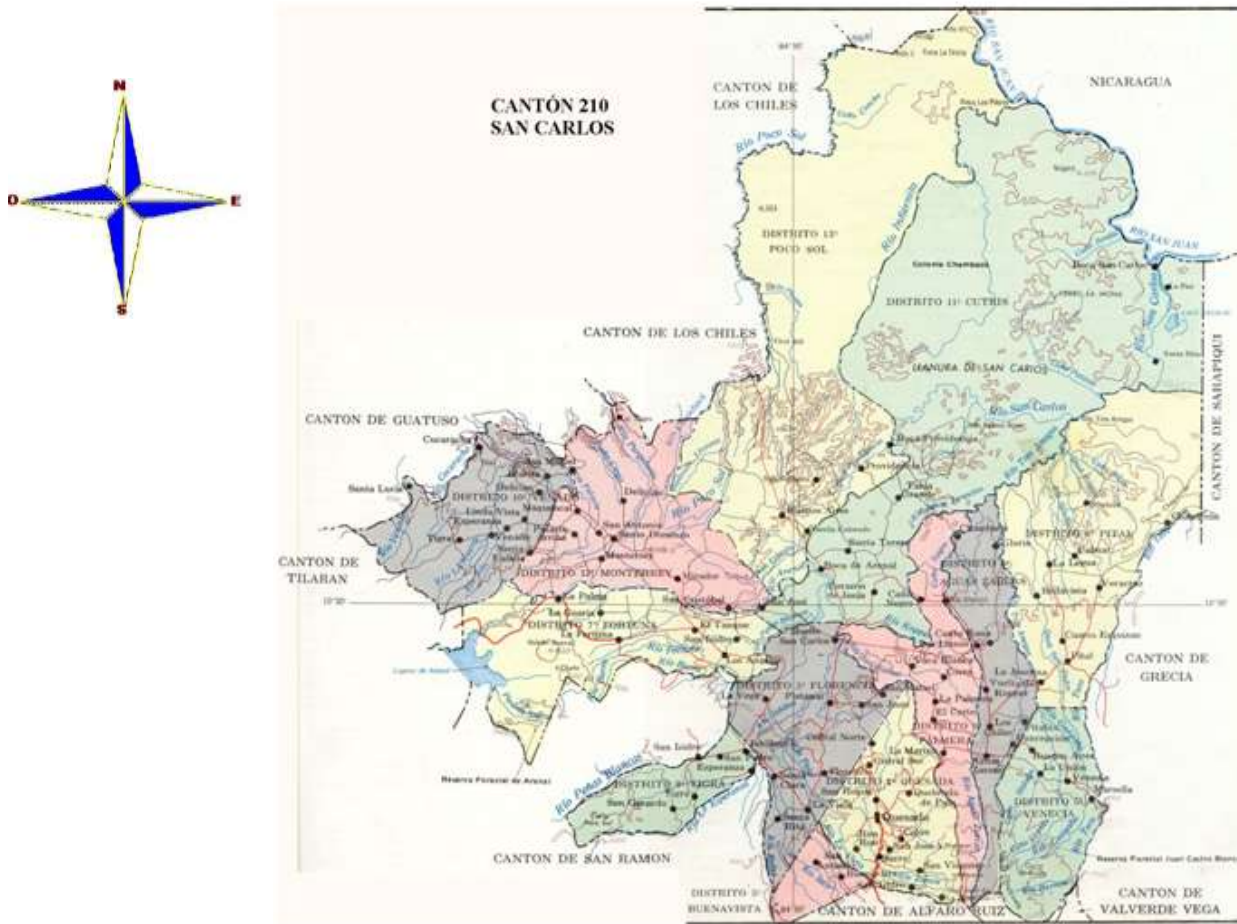


Figura 2. Cantón de San Carlos, Provincia de Alajuela
 Fuente: Departamento de Catastro, Municipalidad de San Carlos, 2012.

2.5.2. Historia del Cantón de San Carlos

En la época precolombina el territorio estuvo habitado por indígenas votos. En 1640, el conquistador español Don Jerónimo de Retes, visitó la región, bautizando a uno de los más importantes emplazamientos de los aborígenes, ubicados a orillas del río Cutris (hoy San Carlos), con el nombre de San Jerónimo de Votos.

En 1850, una expedición de vecinos de San Ramón, al mando de don Francisco Martínez, abrió una vereda a la zona. Al año siguiente don Victorino

Fernández, morador de San José, se estableció en el sitio; seguido por los señores Alfonso Carit, Teodoro Koschny, Pedro Nelson y Ramón Quesada. En 1884, Don José María Quesada Ugalde, Baltazar y Joaquín Quesada Rodríguez, vecinos de Grecia, efectuaron denuncios de los terrenos ubicados a lo largo de la angosta terraza, comprendida entre los ríos Peje y Platanar, en lo que hoy constituye Ciudad Quesada.

Los trabajos de construcción de las aceras, calles, postes, fueron efectuados por don Joaquín Quesada Rodríguez con la colaboración de sus hijos, otras familias y muchos vecinos del lugar. Este incipiente caserío se denominó La Unión.

En decreto No. 31 del 21 de agosto de 1893, se dispuso realizar el primer intento de colonización dirigida por parte del Estado, al crear una colonia en Aguas Zarcas.

Durante la administración de don Rafael Iglesias Castro (1894-1898), en vista de la importancia de la región y a fin de unir la vía fluvial del Río San Carlos con la red de caminos, se abrió una trocha desde Naranjo pasando por Zarcero, Buena Vista, Los Bajos y terminando en el sitio denominado Muelle; lugar en el margen del río, donde se construyó el embarcadero y una casa para el resguardo fiscal.

La primera escuela se construyó en 1900. Tiempo después en 1927, se abrió un nuevo centro educativo, que actualmente se denomina Escuela Juan Chaves Rojas, en el segundo gobierno de don Ricardo Jiménez Oreamuno. El Liceo San Carlos, empezó a funcionar en el año de 1945, diez años después se estableció como Liceo, en la primera administración de don José Figueres

Ferrer. Además, La primera ermita se construyó en 1908. Durante el episcopado de Monseñor don Juan Gaspar Stork Werth.

En la primera administración de don Ricardo Jiménez Oreamuno, el 26 de setiembre de 1911, en ley No.17, se le otorgó el título de Villa a la población La Unión, cambiándole el nombre por Quesada, cabecera del cantón creado en esa oportunidad. Posteriormente, el 8 de julio de 1953, en el gobierno de don Otilio Ulate Blanco, se decretó la ley No.1601, que le confirió a la Villa la categoría de Ciudad.

✓ **Misión de la Municipalidad**

Promover el desarrollo integral del cantón a través de la prestación de servicios y obras de calidad con la participación democrática de los ciudadanos.

✓ **Visión de la Municipalidad**

Ser una Municipalidad modelo en el ámbito nacional que satisfaga oportunamente las necesidades de los ciudadanos en obras, infraestructura, servicios comunales y desarrollo social, en armonía con el ambiente, a través de una organización moderna y de excelencia en el servicio, con recursos financieros adecuados y un personal motivado y capacitado.

CAPITULO III. LA HUELLA DE CARBONO DE LA MUNICIPALIDAD

3.1. Introducción

El calentamiento global es una realidad según las últimas evidencias expuestas por el Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático (IPCC, 2007). Costa Rica emite alrededor de 12 millones de toneladas equivalentes de carbono, y captura unas tres a través de sus bosques, para un total de nueve millones anualmente. Más de la mitad de la emisión corresponde a la quema de hidrocarburos. Ante tal situación el Gobierno de Costa Rica, apoyado por distintas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, ha reconocido la necesidad de adoptar medidas directas para contrarrestar los efectos de este fenómeno (Johnson, 2009), como consecuencia, nuestro país hizo pública a la comunidad nacional e internacional, su propuesta de alcanzar la neutralidad en las emisiones de carbono y ser el primer país “C-Neural” para el año 2021.

El objetivo de este proyecto es que la Municipalidad de San Carlos, posea el primer inventario de emisiones de gases de efecto invernadero durante el año base agosto 2010-julio 2011, y elaborar un plan para la reducción de los GEI para el logro de la carbono neutralidad.

3.2. Marco Metodológico

3.2.1. Tipo de estudio: Se realizó un estudio del tipo experimental.

3.2.2. Método de investigación: El método de investigación fue un análisis de información.

3.2.3. Fuentes y técnicas para la recolección de la información

La fuente y técnica que se utilizó para la recolección de la información fue la revisión de literatura sobre el tema a investigar, en base de datos en internet, revistas, libros, entrevistas.

Los documentos necesarios para determinar la huella de carbono se buscaron en los distintos departamentos de la Municipalidad de San Carlos, mediante entrevistas a los diferentes funcionarios y en instituciones que prestan servicios a la Municipalidad como lo es la Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos (COOPELESCA R.L) que brindó la información de consumo eléctrico y Áreas de Frío que dio la información de los aires acondicionados (ver anexo 1).

3.2.4. Ubicación del proyecto

El proyecto se realizó en la Municipalidad de San Carlos, ubicada en la provincia de Alajuela, Cantón de San Carlos, Distrito Quesada y en todas las propiedades Municipales presentes en el Cantón, incluyendo el vertedero municipal (ver anexo 2)

Como se observa en la figura 3, el palacio municipal de San Carlos, se ubica en el cuadrante inferior izquierdo.



Figura 3. Palacio Municipal de San Carlos
Fuente: Departamento de Catastro, Municipalidad de San Carlos, 2011.

3.2.5. Medición de la Huella de carbono

Se identificaron las actividades de la Municipalidad para seleccionar las fuentes, sumideros, reservorios de GEI, datos y metodologías apropiadas. Se realizó un inventario de las emisiones de GEI de la Municipalidad de San Carlos, que se clasificaron en directas, algunas indirectas, otras indirectas y remociones pertinentes de GEI, de todas las propiedades municipales. Se usaron valores conservadores en el cálculo de la huella de carbono, para evitar subestimar la cantidad emitida de GEI y para no sobreestimar la reducción o remoción de CO₂ por parte de los sumideros institucionales.

3.2.6. Inventario y cuantificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero

Se realizó un inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero de las actividades realizadas por la Municipalidad a partir del año base del estudio, que fue de agosto 2010 a julio 2011, el inventario se clasificó en emisiones directas, indirectas y otras indirectas.

3.2.6.1. Emisiones directas:

3.2.6.1.1. Emisiones por consumo de combustibles

Se consideró toda la flotilla de vehículos de la organización (ver anexo 3 y 4), que incluyó las emisiones por derivados del petróleo, se utilizó un informe de la compra de derivados de petróleo (gasolina y diesel), las cuales fueron proporcionadas por el departamento de informática (ver anexo 5 y 6), dicho informe fue dado con el precio del combustible, por lo que se procedió a realizar el cambio de colones a litros, según el tipo de conversión en la fecha de compra. Para el cálculo de las toneladas de CO₂ emitidas, se utilizó el factor de emisión para derivados del petróleo (cuadro 1) del GHG Indicator (UNEP Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Businesses and Non-Commercial Organizations, 2000).

Cuadro 1. Factores de emisión para derivados del petróleo

Tipo de combustible	Unidades base (litros)	Factor de emisión de CO ₂ (t CO ₂ /litro)	Toneladas de CO ₂ e emitido (t CO ₂)
Gasolina		0,00222	
Diesel		0,00268	

Fuente: The GHG Indicator: UNEP Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Businesses and Non-Commercial Organizations. 2000.

3.2.6.1.2. Viajes aéreos:

Se determinaron las cantidades de emisiones de tCO₂ provenientes de viajes aéreos que se realizaron por parte de empleados de la Municipalidad, y se discriminó entre distancias cortas y largas.

Para el cálculo de las toneladas de CO₂ emitidas, se utilizó el factor de emisión para viajes aéreos (cuadro 2) del GHG Indicator (UNEP Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Businesses and Non-Commercial Organizations, 2000).

Cuadro 2. Factores de emisión para viajes aéreos

Modo de transporte	Unidad Base	Factor de emisión (Km)	Factor de emisión (millas)	tCO ₂ e
Vuelos cortos (menos de 1600 Km)	Pasajero Km/milla	0,00018	0,000290	
Vuelos largos (mayor de 1600 Km)	Pasajero Km/milla	0,00011	0,000177	

Fuente: The GHG Indicator: UNEP Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Businesses and Non-Commercial Organizations. 2000.

3.2.6.1.3. Emisiones de los sistemas de refrigeración

Para el cálculo de las emisiones provenientes de los sistemas de refrigeración (aires acondicionados de las oficinas administrativas), se utilizó:

- Promedio de recargas por año.
- Promedio de la cantidad de gas refrigerante (g) adicionado por recarga.

Y se calcularon las toneladas de CO₂ equivalente de acuerdo al potencial de calentamiento por tipo de refrigerante, según metodología del GHG Indicator.

La empresa Áreas de Frío que le brinda asistencia técnica a la municipalidad, proporcionó un inventario de equipos instalados en el edificio municipal (ver

anexo 1), además de la información sobre el promedio de recargas y cantidad de gas por recarga.

3.2.6.2. Emisiones indirectas:

3.2.6.2.1. Consumo eléctrico

Se determinó el consumo eléctrico de la batería de oficinas, por iluminación, uso de equipos de oficina y aire acondicionado, la unidad de medición se hizo en kW/h, según datos proporcionados por COOPELESCA R.L para los diferentes medidores de las propiedades municipales. Las emisiones se calcularon mediante datos provenientes de la Unidad Estratégica de Negocios (UEN) de producción eléctrica ICE (2009), según el cuadro 3.

Cuadro 3. Factores de emisión para la producción de electricidad producida con energía térmica (hidrocarburos). Aplica para ICE

Año	Unidad Base	Factor de emisión	Cantidad de tCO ₂ emitido
2006	kW/h	0,000919	919 gramos de CO ₂ por kW/h de energía generado con plantas térmicas que es lo mismo que 0,000919 ton de CO ₂ por kW/h
2007	kW/h	0,000919	
2008	kW/h	0,000919	
2009	kW/h	0,000919	

Fuente: UEN de Producción Eléctrica ICE, 2009.

Cuadro 4. Energía térmica producida por hidrocarburos en Costa Rica

Año	Porcentaje (%)
2006	6,17
2007	8,03
2008	9,63
2009	6,41

Fuente: UEN de Producción Eléctrica ICE, 2009.

3.2.6.2.2. Emisión de metano del vertedero municipal

Según datos del estudio de impacto ambiental (2010), el vertedero en estudio se ubica en San Luis de Florencia, cantón de San Carlos, y se localiza a 3 kilómetros de Florencia.

Se determinó la emisión de metano en el vertedero municipal por medio del método por defecto, propuesto por el Manual de Referencia para el inventario de gases efecto invernadero del IPCC, 2006 (ecuación 1).

El método por defecto se basa en la ecuación siguiente:

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ (Gg/año)} = [(\text{RSUT} \cdot \text{RSUF} \cdot \text{L0}) - \text{R}] \cdot (1 - \text{OX}) \text{ (1)}$$

Donde:

- **RSUT** = cantidad total de RSU generados (Gg/año)
- **RSUF** = fracción de RSU eliminados en los VRS
- **L0** = potencial de generación de metano [$\text{FCM} \cdot \text{COD} \cdot \text{CODF} \cdot \text{F} \cdot 16 / 12$ (Gg de CH_4 /Gg de desechos)]
- **FCM** = factor de corrección para el metano (fracción)
- **COD** = carbono orgánico degradable [fracción (Gg C/Gg de RSU)]
- **CODF** = fracción de COD no asimilada
- **F** = fracción por volumen de CH_4 en el gas de vertedero
- **R** = CH_4 recuperado (Gg/año)
- **OX** = factor de oxidación (fracción)

El vertedero San Luis de Florencia recibe un promedio anual de 26017 toneladas de residuos, los cuales se clasifican en papel blanco, papel sanitario, cartón, plástico pet, otros plásticos, estereofón, hule, metal, tela, tetra pac, vidrio, madera, piedras, orgánico, agua y biopeligrosos.

Para el cálculo de las emisiones de metano en el vertedero, el dato de los residuos sólidos urbanos totales utilizado en la ecuación 1, provienen de los residuos orgánicos degradables obtenidos del total de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que incluyó los residuos de papel blanco, papel sanitario, cartón, tela, madera y material orgánico.

Muchos métodos y modelos han sido desarrollados para proyectar el potencial de generación del biogás. Las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996, definen que existen dos métodos para calcular las emisiones de CH_4 procedentes de los vertederos de residuos sólidos: el método por defecto adaptado de la metodología teórica desarrollada por Bingemer y Crutzen (1987), y el método de descomposición de primer orden (DPO).

Los métodos mencionados anteriormente, estiman la cantidad de carbono orgánico degradable accesible para la degradación bioquímica y de esta forma estima la cantidad de metano generado. Sin embargo, la principal diferencia entre ambos métodos es que el método DPO calcula la emisión de metano que depende del tiempo transcurrido y que refleja mejor las verdaderas pautas del proceso de degradación a lo largo del tiempo, sin embargo, se determinó que el método de descomposición de primer orden, no se utilizaría porque es necesario contar con información histórica de cantidades, composición y

prácticas de disposición de desechos de varios años; y en este caso no contamos con tal información.

3.2.6.3. Otras emisiones indirectas:

3.2.6.3.1. Papel

Los residuos de papel de la Municipalidad de San Carlos se tomaron en cuenta en los residuos sólidos totales que llevan al vertedero, ya que en el año base del estudio, no hubo un programa de reciclaje de papel en la Municipalidad.

3. 3. Resultados

3.3.1. Inventario de las fuentes de emisiones y remociones totales provenientes de las actividades de la Municipalidad de San Carlos.

Se realizó un inventario para la determinación de la huella de carbono de la Municipalidad de San Carlos, durante el año base de agosto 2010 hasta julio 2011; el cuadro 5 resume las fuentes de emisiones y remociones tomadas en cuenta para el estudio.

Cuadro 5. Fuentes de emisiones y remociones incluidas para la determinación de la huella de carbono de la Municipalidad de San Carlos

Fuentes de Emisiones					
Tipo de Emisión	Fuentes generadoras de CO ₂	Metodología	Componente	Unidad de medida	Factor de Emisión
DIRECTAS	Flotilla Vehicular	GHG	Diesel	Litros	0,00268
			Gasolina	Litros	0,00222
	Viajes aéreos	GHG	Jet Fuel	Pasajero/milla	0,000177
	Sistemas de Refrigeración	GHG	HCFC-22 HFC-32/HFC-125	Kg	NA
INDIRECTAS	Consumo de electricidad suministrada por el (ICE) y que ha sido generada de manera térmica.	UEN, ICE	Electricidad	Kw/h	0,000919
	Emisión de metano del Vertedero	IPCC: Método por defecto	Residuos sólidos	Gg	NA
OTRAS INDIRECTAS	Papel	NA	NA	NA	NA
Fuentes de remociones					
	Sistema Agroforestal Bosque secundario	Ortiz, 2011	Ecosistema	Ha	NA

3.3.2. Emisiones directas

3.3.2.1. Emisiones por consumo de combustibles

La Municipalidad de San Carlos cuenta con un total de 73 vehículos (ver anexos 3 y 4), de los cuales un 64% utilizan diesel y un 36% gasolina.

Cuadro 6. Emisiones de CO₂ en tCO₂e del consumo de combustibles de los vehículos municipales

Tipo de combustible	Unidades base (litros)	Porcentaje de consumo de combustible (%)	Factor de emisión de CO ₂ (tCO ₂ /litro)	Toneladas de CO ₂ e emitido (tCO ₂)
Gasolina	53248,89	8,37	0,00222	118
Diesel	582537,97	91,63	0,00268	1561
TOTAL				1679

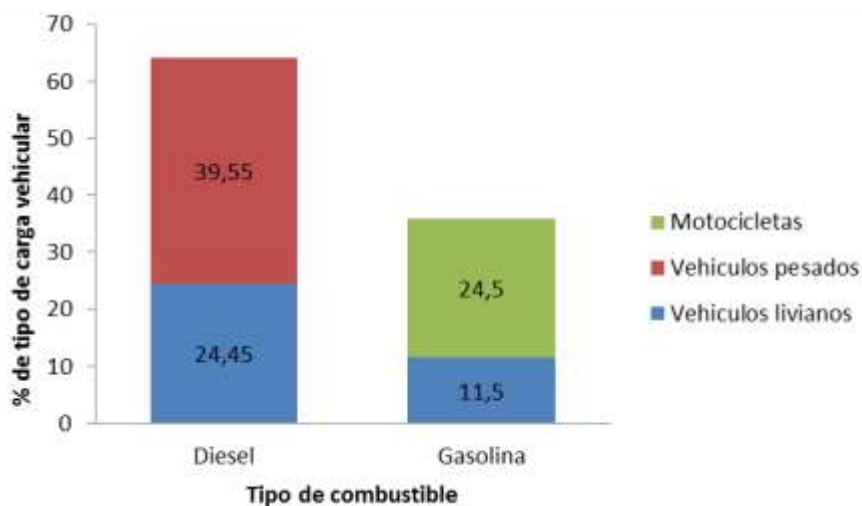


Figura 4. Porcentaje de tipo de carga vehicular por tipo de combustible

De acuerdo al cuadro 6, se obtuvo que hay un total de 1679 tCO₂e producto del consumo de combustibles, de las cuales 118 tCO₂ son emitidas por el consumo de gasolina y 1561 tCO₂ emitidas por el diesel; lo anterior refleja que el consumo de combustibles es mayoritario para el derivado diesel, con un 91,6% y de gasolina un 8,4% del total del consumo. Además los vehículos que se clasifican como maquinaria pesada (un 39,6% del total de vehículos) utilizan diesel como combustible (Figura 4).

3.3.2.2. Emisiones por viajes aéreos de la Municipalidad

Cuadro 7. Emisiones de tCO₂e por viajes aéreos

Modo de transporte	Unidad Base	Pasajero millas	Factor de emisión (millas)	tCO ₂ e
Vuelos cortos (menos de 1600 Km)	Pasajero Km/milla	-	0,000290	-
Vuelos largos (mayor de 1600 Km)	Pasajero Km/milla	21 810	0,000177	3,86

El viaje aéreo realizado desde Costa Rica con destino a Japón (escalas ida y vuelta de Alajuela- Miami, Miami- Los Ángeles, Los Ángeles- Tokyo. Tokyo-Sapporo) tuvo un total de 21 810 millas recorridas, emitiendo 4 tCO₂e (cuadro 7).

3.3.2.3. Emisiones de los sistemas de refrigeración

La Municipalidad de San Carlos cuenta con 48 unidades de aire acondicionado que se ubican en el palacio municipal. En el cuadro 11 se identifican las características de los mismos. Como se puede observar en el cuadro 8, 47 aires acondicionados en el edificio utilizan el refrigerante HCFC-22 (r22-a), el cual es un refrigerante controlado por el protocolo de Montreal y un aire acondicionado ubicado en el departamento de gestión ambiental que utiliza el refrigerante R410-A, el cual es permitido según el protocolo de Montreal, por lo tanto sus emisiones no se consideran en el inventario de GEI.

El promedio de recargas por año fue de 3, con un promedio de 500 gramos de refrigerante por recarga, lo que dio 1500 gramos de refrigerante por año, el cual equivale a 3 tCO₂e.

Cuadro 8. Ubicación y Características de los aires acondicionados presentes en el Palacio Municipal

Unidad	Ubicación	Marca	BTU	Modelo Eva	Serie Eva	Tipo de refrigerante
MUNI01	Alcalde	Innovair	18000	E18C2DB5	r22-a
MUNI 02	Sala Alcalde	Innovair	24000	E24C2DB5	r22-a
MUNI 03	Vice	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 04	Control interno	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 05	Servidor	Innovair	24000	E24C2DB5		r22-a
MUNI 06	Informática	Innovair	18000	ULWC18DB		r22-a
MUNI 07	Servicios generales Keilor	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 08	Recursos humanos #2	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 09	Enlace comunal	Innovair	18000	ULWC18DB	19269	r22-a
MUNI 10	Relaciones publicas Walter	Innovair	12000	E12C2DB2	35150	r22-a
MUNI 11	Auditorio #1	Pioneer	60000	UG060GKA2LACL2	72028	r22-a
MUNI 12	Auditorio #2	Pioneer	60000	UG060GKA2LACL2	72049	r22-a
MUNI 13	Auditoria	Innovair	18000	ULWC18DB	18992	r22-a
MUNI 14	Jefe de auditoria	Innovair	9000	E09C2DB2	28521	r22-a
MUNI 15	Secretaria	Innovair	18000	ULWC18DB	16525	r22-a
MUNI 16	Dirección general	Pioneer	9000	WAX009EDA-L	0019	r22-a
MUNI 17	Notaria institucional Gaby	York	12000			r22-a
MUNI 18	Gestión de proyectos	Innovair	10000	E10C2DB5		r22-a
MUNI 19	Dirección jurídica	Innovair	12000	ULWC13DB	13252	r22-a
MUNI 20	Planificación	Innovair	24000	E24C2DB5		r22-a
MUNI 21	Asistente de acalde	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 22	Jefe tributario	Innovair	10000	ULWC10DB		r22-a
MUNI 23	Patentes	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 24	Administración tributario	Temstar	18000	TWA18SQM		r22-a
MUNI 25	Ingeniería	Innovair	18000	ULWC18B		r22-a
MUNI 26	Jefe catastro y censos	Toshiba				r22-a
MUNI 27	Catastro , censos	Temstar	36000	MK036AWAT	50163	r22-a
MUNI 28	Bienes inmuebles	Temstar		THWA18SQBE	0338	r22-a
MUNI 29	Proveeduría #2	Goodman	12000	MSEI-RCR	529	r22-a
MUNI 30	Proveeduría	Innovair	24000	ULWC2DB	16545	r22-a
MUNI 31	Recepción proveeduría	Innovair	10000	E10C2DB5	00006	r22-a
MUNI 32	Inspectora unidad técnica	Nova	10000	ASW-09A2/EL	00005	r22-a
MUNI 33	Unidad técnica	Innovair	36000	U36C2SM	000105GD	r22-a
MUNI 34	Recursos humanos	Temstar	18000	ATHWA18SQBE		r22-a
MUNI 35	Acueductos	Nova	18000	ASW-18-A2/EL	00008	r22-a
MUNI 36	Gestión ambiental R410-a	Nova	12000	ASW-12BB3/EWR1-1	0008	R410-a
MUNI 37	Servicios públicos	Innovair	10000	E10C2DB5		r22-a
MUNI 38	Director financiero	Innovair	9000			r22-a
MUNI 39	Contabilidad	Innovair	18000	ULWC18B		r22-a
MUNI 40	Tesorería	Innovair	12000	ULWC24B		r22-a
MUNI 41	Biblioteca entrada	Innovair	60000	U60C25M		r22-a
MUNI 42	Biblioteca oficina	Innovair	90000	WAX009JA-L		r22-a
MUNI 43	Biblioteca Sirzee	Innovair	36000			r22-a
MUNI 44	Biblioteca sala de reunión	Innovair	48000			r22-a
MUNI 45	Oficina de la mujer	Innovair	24000	E24C2B5		r22-a
MUNI 46	Oficina basurero Florencia	Innovair	12000	E13C2DB5		r22-a
MUNI 47	Ventana computo					r22-a
MUNI 48	Ventana Dixie					r22-a

Fuente: Áreas de Frío, encargados del mantenimiento de los aires acondicionados de la Municipalidad de San Carlos, 2011.

3.3.3. Emisiones Indirectas

3.3.3.1. Emisiones por consumo eléctrico

Se obtuvieron registros del consumo de electricidad (kW/h) de las propiedades Municipales, los cuales fueron proporcionados por COOPELESCA R.L, durante el período agosto 2010-julio 2011. La Municipalidad de San Carlos posee 17 propiedades, dentro de las cuales se encuentran 21 medidores. Las emisiones de tCO₂e se obtuvieron por propiedad municipal (Cuadro 9), identificando los sitios con mayor y menor consumo eléctrico en kW/h.

Cuadro 9. Emisiones de CO₂ en tCO₂e del consumo eléctrico de las propiedades Municipales

Propiedad Municipal	Medidor	Total (kW/h)/año	ton CO₂e/año
Mercado Plazoleta	5115	20929	19,23
Mercado	30450	32046,88	29,45
*Vertedero Municipal	60199	0	0,00
Plantel Alcantarillas	42646	9901	9,10
Cómputo	4903	820	0,75
Parque	4902	1569	1,44
Cementerio	5251	24	0,02
Edificio Municipal	44882	28755,84	26,43
Oficina Sindicato	4969	299	0,27
Nuevo taller Municipal	66050	22580	20,75
Oficina de la Mujer	4952	5553	5,10
Unión Cantonal	831	1137	1,04
Mercado Municipal Local	81373	274	0,25
Mercado Municipal	4945	1230	1,13
Estadio	4933	28108	25,83
Estadio	6685	7286	6,70
Estadio	8813	22484	20,66
Estadio	23030	61529,6	56,55
Estadio	23031	62867	57,77
Urbanización La Torre B ^o Los Ángeles	137603	7346	6,75
Barrio El Jardín	140719	517	0,48
TOTALES		315256,32	290

* Vertedero Municipal: Coopelesca R.L no tenía registrado el medidor

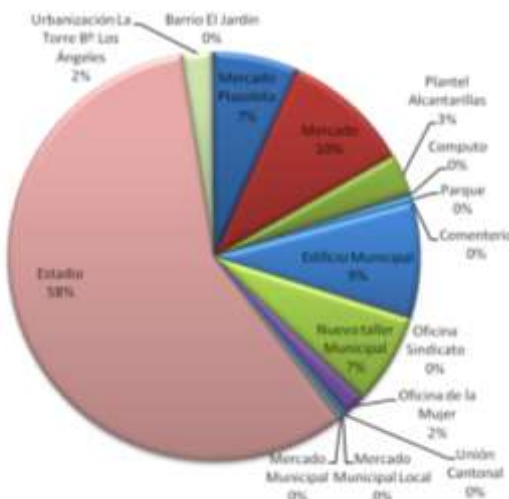


Figura 5. Porcentaje de consumo eléctrico de las propiedades Municipales

Como se observa en la figura 5, el estadio es el que consume mayor electricidad (Kw/h), un 58% del total de las propiedades, seguido por los demás sitios de menor consumo eléctrico, que van de un 10% a 0%.

3.3.3.2. Emisiones del vertedero municipal

Las emisiones de metano en Gg/año obtenidas por medio del método por Defecto del IPCC 2006, en el vertedero San Luis de Florencia, Municipalidad de San Carlos, fueron de 2,36 Gg/año de CH₄ (ver cuadro 10).

Cuadro 10. Emisiones de metano en Gg/año mediante el método por Defecto del IPCC 2006

Descripción		Valor
RSUT	Residuos sólidos urbanos totales (Gg/año)	17,77
RSUF	Residuos sólidos urbanos que llegan al vertedero (fracción)	1
Lo	Potencial de generación de metano [FCM • COD • CODf • F • 16 / 12 (Gg de CH ₄ /Gg de desechos)]	-
FCM	Factor de corrección para el metano (fracción)	0,4
COD	Carbono orgánico degradable [fracción (Gg C/Gg de RSU)]	1
CODf	Fracción de COD no asimilada	0,5
16/12	Conversión de C a CH ₄	1,33
F	Fracción por volumen de CH ₄ en el gas de vertedero	0,5
R	CH ₄ recuperado (Gg/año)	0
OX	Factor de oxidación (fracción)	0
Total de Emisiones de metano (Gg/año)		2,36

El total de toneladas de desechos que llegan al vertedero por año es de 26017 (ver figura 6), de los cuales 17776 se clasifican como residuos sólidos orgánicos.

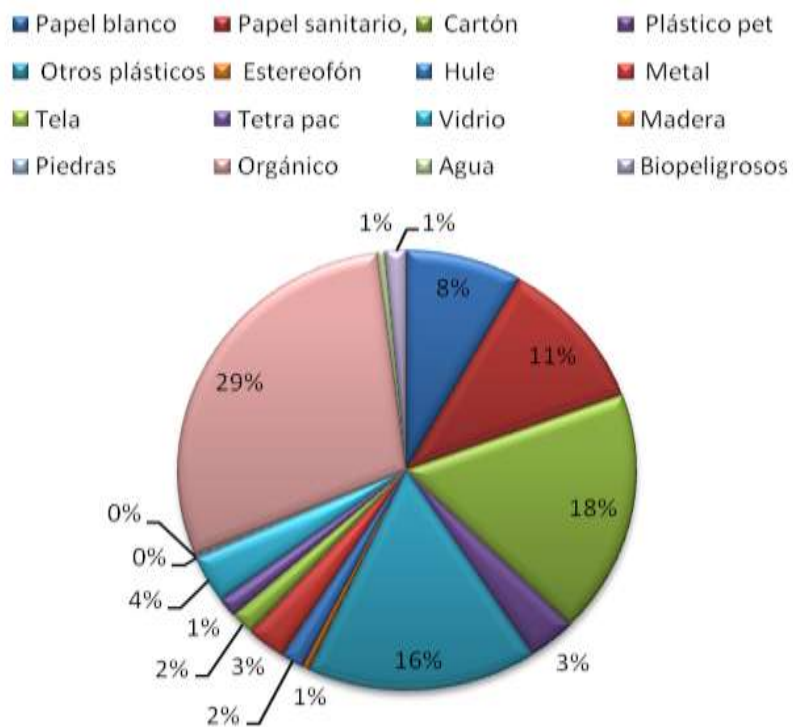


Figura 6. Clasificación y cantidad (t/año) de los residuos sólidos del vertedero municipal San Luis de Florencia

3.3.3.3. Papel

Debido a que en el año base del estudio no se dio un programa de reciclaje de papel en la Municipalidad, no se consideró como una medida de reducción para la determinación de la huella de carbono, sin embargo el mismo si se cuantificó en las emisiones del vertedero como un residuo sólido, contribuyendo a las emisiones de metano.

3.3.4. Emisiones causadas por la Municipalidad de San Carlos

A continuación se presenta el resumen de las emisiones de la Municipalidad durante el período agosto 2010- julio 2011.

Cuadro 11. Emisiones totales de CO₂ en tCO₂e causadas por la institución durante el periodo agosto 2010-julio 2011.

Fuente de emisión	tCO ₂ e
Emisiones directas	
Combustibles	
• Diesel	1561,2
• Gasolina	118,21
Viajes aéreos	3,86
Aires acondicionados	2,71
Emisiones indirectas	
Consumo eléctrico	290
Vertedero	49631,6
Total	51608

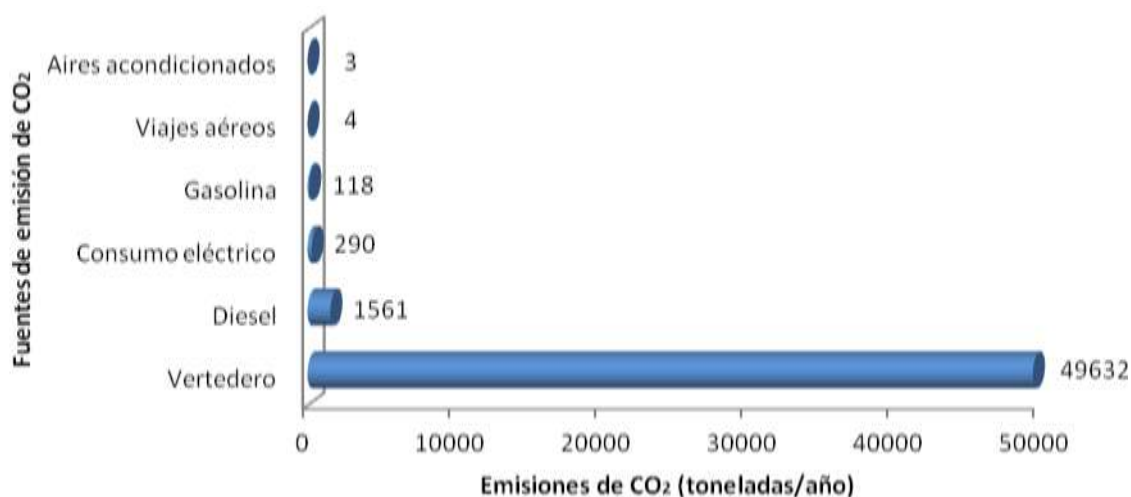


Figura 7. Emisiones totales de CO₂ en tCO₂e causadas por la institución durante el periodo agosto 2010- julio 2011

Como se observa en la figura 7, las mayores emisiones son causadas por el Vertedero de San Luis de Florencia, con un 97% del total de las emisiones de CO₂ y el restante 3% se distribuye en las emisiones producto de los derivados del petróleo, consumo eléctrico, viajes aéreos y aires acondicionados.

3.4. Discusión

3.4.1. Emisiones directas

3.4.1.1. Consumo de Combustibles

El consumo de combustibles por parte de la flotilla vehicular de la Municipalidad, ocupa el segundo lugar de emisiones de tCO₂e, después del vertedero municipal, con una emisión de 1679 tCO₂e.

Dentro de los combustibles, el mayor porcentaje de emisiones es debido al consumo del diesel, lo anterior podría atribuirse a que son vehículos pesados, se presentan en mayor número (ver figura 4), consumen mayor volumen para lograr adecuadamente sus funciones, además de que son los que tienen un mayor uso y la movilización de los equipos requiere, al final de la jornada diaria, su retorno al plantel municipal, independientemente si se encuentran cerca o en lugares adecuados; asimismo, el factor de emisión del diesel es mayor que el de la gasolina, como se muestra en el cuadro 1.

3.4.1.2. Emisiones viajes aéreos de la Municipalidad

Las emisiones totales de CO₂, provenientes del sector aviación, actualmente constituyen el 2% del total de emisiones globales (IPCC, 2007), y

aproximadamente un 40% es representado por emisiones de aviaciones domésticas.

Para el periodo agosto 2010- julio 2011 solamente se realizó un viaje aéreo, que contribuyó con 4 tCO₂e del total de emisiones de la Municipalidad de San Carlos, pudiendo inferir que no es una actividad muy frecuente, y que se da como un plan estratégico para capacitar a sus funcionarios y por lo tanto no contribuye en gran medida sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que emite la institución, sin embargo, cabe destacar que la intensidad de emisiones en tCO₂e a la atmosfera por vuelos aumenta en destinos fuera del continente americano y en vuelos que presentan en sus trayectorias muchas escalas.

3.4.1.3. Emisiones de los sistemas de refrigeración

Casi la totalidad de los equipos de acondicionamiento de ambiente, presentes en la institución utilizan el refrigerante r22-a, el cual pertenece a la familia de los Hidroclorofluorcarbonos (HCFC).

Los HCFC, en orden de deterioro a la capa de ozono, ocupan el segundo lugar, ya que poseen un potencial de calentamiento global (100 años) de 1810. Lo anterior implica que las recargas y cargas que se les haga del gas sean muy contribuyentes para el calentamiento global, sin embargo, a pesar de esto, en la

Municipalidad el promedio de recargas por año es de tres, por lo que sus emisiones de GEI son muy pocas, comparadas con el resto de los factores de emisión de la institución.

3.4.2. Emisiones indirectas

3.4.2.1. Generación por consumo eléctrico

Las emisiones en tCO₂e provenientes del consumo eléctrico ocupan el tercer lugar del total de emisiones de la Municipalidad de San Carlos, las cuales se estimaron con los factores de emisión para la producción de electricidad producida con energía térmica (hidrocarburos), del ICE y a nivel nacional el mayor porcentaje de energía producida, proviene de fuentes hidroeléctricas (Guerra, 2007), por lo tanto el consumo de electricidad (kW/h) no necesariamente presenta el mismo comportamiento que el de las emisiones.

En Costa Rica la electricidad no tiene significancia sustancial en la producción de emisiones de GEI y el factor de emisión de nuestro país es bastante bajo, debido a que la generación eléctrica del país es mayoritariamente de fuentes renovables. Según el inventario de GEI en Costa Rica del 2000-2005, el país tiene una matriz energética asentada en fuentes limpias, aproximadamente 80% de la generación es hidroeléctrica, 14% geotérmica y 2,5% eólica (DSE, 1994) (ver cuadro 4).

3.4.2.2. Emisiones del vertedero municipal

Según el reglamento de residuos sólidos ordinarios, publicado en la gaceta No. 158 de 16 de agosto del 2010, un relleno sanitario, es la técnica mediante la cual diariamente los residuos sólidos se depositan en celdas debidamente acondicionadas para ello, esparcen, acomodan, compactan y cubren. Su fin es prevenir y evitar daños a la salud y al ambiente, especialmente por la contaminación de los cuerpos de agua, de los suelos, de la atmósfera y a la población al impedir la propagación de artrópodos, aves de carroña y roedores. Por otra parte, un vertedero, es un sitio o paraje donde se depositan ilegalmente los residuos, sin técnica o mediante técnicas muy rudimentarias, por lo tanto de acuerdo con esta definición, se clasifica como tal, al vertedero San Luis de Florencia (ver anexo 7).

Los rellenos sanitarios constituyen las principales vías de los residuos sólidos municipales (Chalvatzaki y Lazaridis, 2010), y surgen como resultado a la problemática generada por la alta producción de residuos sólidos urbanos, principalmente en las áreas urbanas. Sin embargo, en la actualidad estos sitios de disposición de residuos sólidos, son considerados fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos, debido a las actividades de descomposición biológica de los desechos sólidos que en ellos se dan, produciéndose, principalmente gases de efecto invernadero, como el metano, dióxido de carbono y en menor cantidad compuestos orgánicos volátiles (COV) (Humer y Lechner, 1999). El metano es el segundo mayor contribuyente al calentamiento global entre los gases de efecto invernadero, con una contribución relativa

estimada en 20% (Baethgen y Martino, 2000). La concentración de metano en la atmósfera en los últimos dos siglos ha aumentado en más de 140% (IPCC, 1996), el potencial de calentamiento global del metano (en 100 años) es 21 veces mayor que el del dióxido de carbono. Sin embargo, debido a su tiempo de vida atmosférico más corto, de 12 años, se estima que las emisiones totales sólo deberán reducirse en aproximadamente el 8% de los niveles actuales para estabilizar las concentraciones de metano (Baethgen y Martino, 2000; Camargo y Vélez, 2009). La composición del biogás depende de diversas variables, dentro de las que sobresalen las características y volumen del residuo, humedad, compactación y edad del relleno sanitario. La generación de emisiones de biogás varía en el tiempo y con las condiciones ambientales (Camargo y Vélez, 2009). Por lo tanto es importante que se den efectivas medidas de mitigación de los gases de efecto invernadero, lo cual podría ofrecer beneficios ambientales, de desarrollo sostenible y reducir los impactos adversos sobre la salud pública (Chalvatzaki y Lazaridis, 2010).

Según los cálculos realizados mediante el método por defecto del IPCC (2006), tenemos que en el Vertedero de San Luis de Florencia, se emiten 2,36 Gg/año de CH₄, lo que equivale a 49631 toneladas de CO₂e, lo cual podría atribuírsele a su capacidad como vertedero y no como relleno, y su mal manejo, ya que todo el metano liberado va directamente a la atmósfera producto de la falta de un tecnología de recolección y transformación de metano. Además actualmente no se cuenta con un programa de reciclaje en funcionamiento por lo que toda la basura recibe el mismo tratamiento.

Estudios de estimaciones de gases de efecto invernadero, realizados en diversos Rellenos Sanitarios en Costa Rica, en el 2009, (ubicados en el GAM: Los Mangos, Los Pinos, La Carpio y Aserrí), utilizaron la metodología “Approved consolidated baseline methodology ACM0001: Consolidated baseline and monitoring methodology for landfill gas project activities (Version 8.1)” y la herramienta “Methodological tool: Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site (Version 04)”, aprobados por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio y fueron complementados y sustentados con los datos levantados en las visitas a los sitios de disposición de residuos e información entregada por las empresas. Los resultados del estudio revelan que la Carpio recibe 1100 t/d de residuos con una emisión de 188133 tCO₂e/año, los mangos recibe 650 t/d, con una liberación de 61401 tCO₂e/año, Aserrí recibe 600 t/d y emite 176333 tCO₂e/año, los Pinos recibe 300 t/d de residuos con una emisión de 28140 tCO₂e/año; además se analizaron dos vertederos, el de Pérez Zeledón que recibe 100 t/d de residuos con una liberación de 224485 tCO₂e/año y el vertedero Zagala que recibe 190 t/d, dando una emisión de 238486 tCO₂e/año. Los resultados anteriores y el obtenido en el vertedero San Luis de Florencia de la Municipalidad de San Carlos, son muy variables entre sí, lo anterior se podría atribuir a las diferentes metodologías utilizadas para el cálculo de emisiones de metano en vertederos y los Rellenos Sanitarios. Además de que la liberación de CH₄, depende de diversas variables, como el volumen y composición de residuos que llegan al sitio de disposición, del manejo que se le da a los residuos, las tecnologías de captación de metano existentes en los diferentes

sitios, de la vida útil, condiciones ambientales, entre otras; por los factores antes mencionados se diversifican las metodologías, las cuales toman en consideración diversos criterios de selección para el cálculo de las emisiones, siendo algunas más específicas y otras más simples, utilizando valores por defecto en muchos casos.

A nivel internacional también se han realizado diversos estudios de cálculo de emisiones de metano, una investigación realizada en la Habana, Cuba (en el mayor vertedero del país) en el año 2005, por medio del método por defecto del IPCC, 2006, dio como resultado un total de 54,5 Gg/año, sin embargo la cantidad de basura que recibe este vertedero es de 618,7 Gg/año, lo cual es 23,5 veces mayor a la cantidad que llega al vertedero de San Luis, de ahí su gran cantidad de metano liberado a la atmósfera. En India, algunos estudios estiman que los rellenos sanitarios contribuyen aproximadamente con el 80% de las emisiones totales de metano en Delhi, con valores que oscilan entre 83 y 138 Gg/año. Chiemchaisri et al., 2005 realizaron una comparación de los resultados obtenidos luego de aplicar el modelo por defecto, recomendado por el IPCC y el modelo LandGEM de la EPA, para estimar la generación de metano en 142 sitios de disposición de residuos sólidos en Tailandia; el potencial de emisión de estas fuentes fue estimado en 138,9 Gg/año por el método IPCC y 94,7 Gg/año, de acuerdo con predicciones del modelo LandGEM

Como se menciona por Pire y González, 2005; y en el IPCC, 2006, el método por defecto del IPCC, da un grado de incertidumbre mayor a otros métodos más específicos y complejos (ya que este método supone que el metano se libera en

el mismo año en que los desechos se disponen en el vertedero. Esto no es lo que sucede realmente, pero proporciona una primera aproximación a las emisiones reales. También la descomposición de carbono orgánico que se deposita en los vertederos no es total y parte de éste permanece durante largo tiempo en el relleno. El método por defecto permitió obtener una estimación anual razonable de las emisiones reales siempre que la cantidad y la composición de los desechos eliminados se hayan mantenido constantes o hayan variado lentamente en el transcurso de varias décadas.

3.4.3. Emisiones totales de CO₂ de la Municipalidad

La Municipalidad de San Carlos emitió 51609 t/año de CO₂ equivalente, durante el período agosto 2010- julio 2011. Las fuentes de emisión evaluadas para toda la institución fueron: vertedero municipal, con un 97% del total de emisiones de CO₂, consumo de combustibles, con un 3,27%, consumo eléctrico con 0,18%, viajes aéreos y aires acondicionados con un 0,01%.

3.5. Conclusiones y Recomendaciones

- A partir de los resultados obtenidos de las cantidades de tCO₂e emitidas al ambiente, se conoció cuál es el sector dentro de la institución que mayor presión provoca sobre el ambiente, y de esta manera se realizó un plan estratégico para reducir y mitigar las emisiones de GEI.

- El vertedero municipal de San Luis de Florencia es la actividad que produce más emisiones de GEI, debido al mal manejo que se le da a los desechos. Un mejor tratamiento de los residuos y estrategias de recolección de gases tiene influencia directa sobre las emisiones de CH₄.
- El consumo de combustible es otra fuente de emisión que tiene una participación importante dentro del total de emisiones de CO₂e, su disminución respondería a una mejor planificación del lugar donde se guardan los vehículos después de las giras.
- La Electricidad utilizada no tiene un predominio importante en el total de CO₂e, ya que el factor de emisión de Costa Rica es bastante bajo, debido a que en el país las fuentes renovables son las predominantes.
- Las emisiones producto de consumo de papel y aires acondicionados no son importantes dentro del balance de emisiones. Sin embargo para el papel, es necesaria la realización de un plan de reducción, reciclaje y reutilización para que se genere conciencia respecto a la huella de carbono. Por otra parte, por la problemática que genera el uso del refrigerante r-22, sería recomendable sustituirlo por una sustancia más amigable con el medio ambiente, lo que implicaría el cambio de los equipos con que se cuenta; los nuevos entonces podrían utilizar refrigerante R410-a, que se ubica en el Departamento de Gestión Ambiental, los cuales no presentan potencial destructor de la capa de ozono.

- Es imprescindible que la Municipalidad posea registros de las recargas por fecha y con la cantidad de libras de refrigerante aplicado al aire acondicionado, para poder realizar posteriormente los cálculos de la emisiones de CO₂.
- Es necesario un programa informativo que permita la concientización hacia los empleados de los diferentes departamentos de la Municipalidad, para su conocimiento e interés en el tema de la huella de carbono, y su colaboración en el desarrollo del proyecto.

CAPITULO IV. IDENTIFICACION DE SUMIDEROS INSTITUCIONES Y REDUCCIONES DE CARBONO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS

4.1. Introducción

Para desarrollar una estrategia que lleve al logro de la carbono neutralidad, se deben conocer todas las opciones y los factores que compensen un determinado nivel de emisiones. En este sentido, los ecosistemas presentes involucrados, son capaces de remover un determinado nivel de emisión (Guerra, 2007).

Un bosque natural en crecimiento o una plantación forestal son considerados como sumideros de carbono (INTE-ISO 14064-1), ya que este se define como cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o remueve flujos de un GEI de la atmósfera. El Carbono secuestrado en un

bosque es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido a la atmósfera durante la respiración (Martínez et al., 2003). Esta diferencia de C es convertida en biomasa, mientras el árbol está vivo, el almacenamiento es acumulativo con el crecimiento y con el transcurso del tiempo; es por ello que las plantaciones resultan un mecanismo muy efectivo para mitigar el incremento de CO₂ atmosférico (Sánchez, 2002; Nakama et al., 2008).

En este capítulo se identificarán los posibles sumideros de las propiedades de la Municipalidad de San Carlos, considerando la importancia que estas tienen para conocer su capacidad de remoción.

4.2. Marco Metodológico

4.2.1. Identificación y Cuantificación de las remociones de GEI's en la Municipalidad de San Carlos

Se identificaron los sumideros y reservorios que se producen en la Municipalidad, mediante un análisis de fijación de carbono en ecosistemas naturales (bosque primario, secundario y terciario) según datos de Russo; EARTH (2009) (ver cuadro 12) y fijación de carbono en plantaciones forestales según Mediciones de la Unidad de Carbono Neutro (2009), como se observa en el cuadro 13; y datos obtenidos de Ortiz, 2011. Se tomaron en cuenta las propiedades como fincas con bosque, plantaciones forestales y sistemas agroforestales, que poseía la Municipalidad para determinar las cantidades de CO₂ que se remueven.

Cuadro 12. Fijación de carbono en ecosistemas naturales

Tipo de bosque	Carbono fijado en fuste/t/ha/año	Carbono total t/ha/año	CO ₂ /t/ha/año	CO ₂ total/t/ha/año
Primario	1,5	1,8	5,5	6,6
Secundario	4,8	4,8	14,68	17,62
Plantaciones forestales	9,6	9,6	29,36	35,23

Datos: Dr. Ricardo O. Russo; Earth 2009

Cuadro 13. Fijación de carbono/ton/ha/año, en algunas plantaciones forestales del trópico húmedo

Nombre científico	Nombre común	Carbono fijado en fuste (t/ha/año)	Carbono fijado en fuste, ramas y raíces	CO ₂ fijado en fustes	CO ₂ fijado en fuste, ramas, raíces (t/ha/año)
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Chancho blanco	7,55	11,33	27,7	41,58
<i>Vochysia ferruginea</i>	Botarrama	5,42	8,13	19,89	29,84
<i>Terminalia amazonia</i>	Roble coral	4,18	6,27	15,34	24,59
<i>Pentaclethra macroloba</i>	Gavilán	3,83	5,75	14,06	21,1
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	4,33	6,49	15,89	23,82
<i>Gmelina arborea</i>	Melina	10,5	15,75	38,53	57,8
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	Pilón	4,42	6,63	16,22	24,33
<i>Dipteryx panamensis</i>	Almendra	3,57	5,35	13,1	19,63

Fuente: Mediciones de la Unidad Carbono Neutro, 2009.

4.3. Resultados

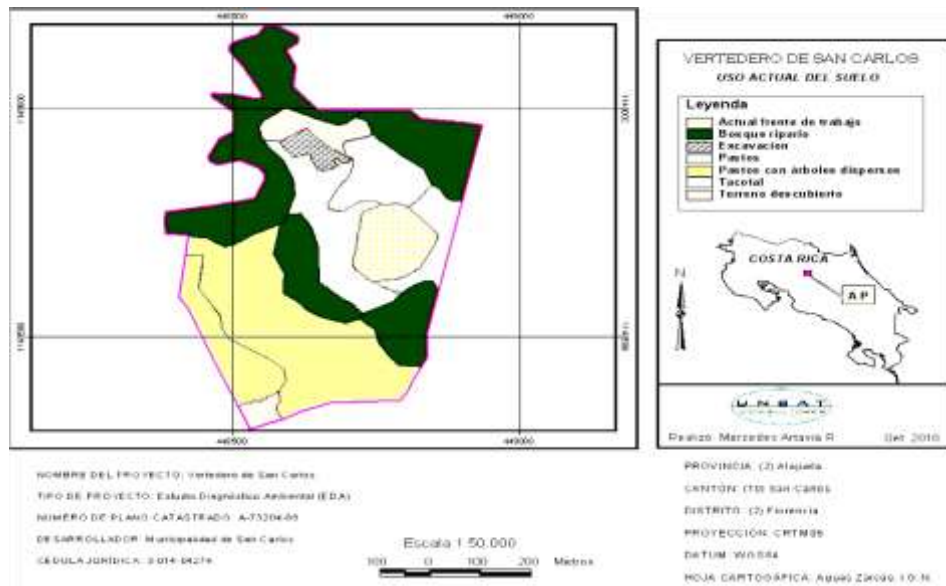


Figura 8. Mapa del Uso del suelo actual del vertedero municipal, San Luis de Florencia, San Carlos.

Según datos obtenidos por un estudio de diagnóstico ambiental, en el 2009, en el vertedero de San Luis, se clasifican 5 tipos de ecosistemas (Figura 9), bosque ripario, pastos, pastos con árboles dispersos, tacotal y suelo.

Cuadro 14. Clasificación por tipo de ecosistema presente en el vertedero municipal, San Luis de Florencia.

Tipo de ecosistema	Área (ha)	Fijación de CO ₂ /año	Clasificación del tipo de bosque
Bosque ripario	14,7		Bosque secundario tardío
Pastos	5,5		Pastos
Pastos con árboles dispersos	12,64		Sistema agroforestal
Tacotal	2,5		Bosque secundario
Suelo	1,9		-

Como se observa en el cuadro 14, el bosque ripario (ver anexo 8) y el tacotal, se clasificaron como bosque secundario, con un área total de 12,64 ha, y pastos con árboles dispersos, se clasificaron como sistema agroforestal. El suelo o

terreno descubierto presente en el vertedero no se consideró dentro del análisis; sin embargo se aprecia como una constante respecto al balance general de fijación de carbono.

El bosque secundario posee una capacidad de fijación (ha/año) de 7,5, dando como resultado una fijación (CO₂/año) de 94,8, y el bosque secundario posee una capacidad de fijación (ha/año) de 16, dando una fijación de 269 (CO₂/año), para un total de fijación por parte de los sumideros institucionales de 364 tCO₂/año (ver cuadro 15)

Cuadro 15. Toneladas de CO₂e fijadas por tipo de ecosistema

Tipo de ecosistema	Área (ha)	Capacidad de fijación en t/ha/año	Fijación de tCO₂/año
Sistema agroforestal	12,64	7,5	94,8
Bosque secundario	17,2	15,65	269,18
Total	29,84	23,15	364

4.4. Discusión

El ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres está determinado por la producción primaria neta (PPN), la producción primaria bruta (PPB), la tasa de respiración y los patrones de crecimiento. Los bosques fijan y almacenan grandes cantidades de carbono y llegan a controlar hasta 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie terrestre. Los árboles en particular guardan grandes cantidades de carbono durante toda su vida, aun cuando

también pudieran constituir una fuente neta de emisión de CO₂ (Figuroa et al., 2010).

En el vertedero San Luis de Florencia, se encuentran dos tipos de ecosistemas principales, que en orden descendente de fijación de CO₂, está el bosque secundario con 269 ton de CO₂ por año y 95 ton de CO₂ por año de sistemas agroforestales, esto se debe, principalmente, al incremento medio anual en volumen (m³/ha/año) el cual es de 11,5 para los bosques secundarios y de 5,52 en el caso de las plantaciones agroforestales; además otro factor que influye en una fijación mayor por parte del bosque secundario con respecto a los sistemas agroforestales es el incremento medio anual en biomasa (t bs/ha/año) de 8,5 y de 4,1, respectivamente (Ortiz, 2011).

Los sistemas agroforestales, son ecosistemas artificiales o agroecosistemas donde existen, características muy definidas en el uso del suelo (Fassbender, 1993), poseen con una capacidad de fijación de 7,5 ton CO₂/ha/año; además de fijar un porcentaje importante de CO₂, permiten un manejo sostenible, favorecen las condiciones de suelo, disminuyen la erosión, entre otros, permitiendo que se de una interacción de diferentes sistemas productivos con el efecto favorable de captura de CO₂ perjudicial para la atmósfera.

Por su parte los bosques secundarios, se definen como vegetación leñosa de carácter sucesional secundaria que se desarrolla una vez que la vegetación original fue eliminada por actividades humana o fenómenos naturales; poseen una densidad no menor a 500 árboles/ha de diversas especies, con diámetro a la altura del pecho no menor de 5 centímetros (Melgar, 2006). Estos bosques presentan una mayor capacidad de fijación (15,65 ton CO₂/ha/año), permitiendo

un mayor aporte a la disminución del CO₂ presente en la atmosfera y por ende la disminución de GEI, favoreciendo la compensación que permite alcanzar la carbono neutralidad. Sin duda alguna los ecosistemas son los principales sumideros de CO₂ que se libera a la atmósfera, de ahí la importancia de su conservación y en caso de que no se cuente con áreas de este tipo implementarlas, de acuerdo a la cantidad necesaria para mitigar los GEI producto del sistema en estudio.

Una alternativa inmediata y cuantitativamente más importante son las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, ya que la capacidad de secuestro de carbono es del orden de 35,23 ton de CO₂/ha/año (Baethgen y Martino, 2000; Russo, 2010).

4.5. Conclusiones y Recomendaciones

- Los sumideros con que cuenta la Municipalidad de San Carlos y la capacidad que tienen los mismo de fijar CO₂, permiten tener un panorama claro del balance neto de emisiones, que facilite la elaboración de una propuesta enfocada hacia el alcance de la carbono neutralidad.
- Los sistemas agroforestales y bosques secundarios son principales sumideros para la compensación del CO₂ liberado a la atmósfera. Se hace necesario la implementación de otros tipos de ecosistemas que

permitan una mayor captura de gas, como por ejemplo las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, las cuales tienen una capacidad de fijación de 35,23 ton de CO₂/ha/año.

CAPITULO V. PROPUESTA PARA REDUCCIONES Y COMPENSACIONES DE GEI'S PARA LLEVAR A CABO LA CARBONO NEUTRALIDAD EN LA MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS

5.1. Introducción

Con el fin de lograr la carbono neutralidad, se hace necesario involucrar todos los sectores de la sociedad, además se deben considerar los aspectos sociales, económicos y ambientales, de este modo llegar a neutralizar un determinado nivel de emisiones (Githeko et al., 2009; Fernández, 2010).

Cumplir con el objetivo requiere de analizar y cuantificar la capacidad de reducir, en la medida de lo posible los GEI, por parte de los distintos sectores, considerando las emisiones producto de las actividades que conlleva el sistema y mediante lineamientos acordes con la capacidad con que se cuenta para alcanzarlos (Ruiz et al., 2007).

Además de las reducciones de GEI, se debe compensar, mediante capital natural, lo que en definitiva no se logre reducir, para llegar a un balance neto cero, potencializando aspectos del desarrollo sostenible (Nakama et al; 2000). (Sánchez, 2002; Guerra, 2007).

En este capítulo se pretenden proponer lineamientos, acorde a las capacidades de la Municipalidad de San Carlos, que involucren estrategias de reducción y compensación que les permitan llegar a ser carbono neutral.

5.2. Marco Metodológico

5.2.1. Propuesta para reducciones y compensaciones de GEI's para llevar a la carbono neutralidad

A partir del resultado de la huella de carbono de la Municipalidad, se proponen posibles reducciones de GEI's de las mayores fuentes generadoras de CO₂ de la institución, como son, compostaje de los RSU en el vertedero municipal, reciclaje de papel en el vertedero y Municipalidad, ahorro de consumo eléctrico, y en el consumo de combustibles fósiles.

Las medidas de compensación se conseguirá mediante la determinación de la cantidad de CO₂ fijado por las plantaciones forestales, a partir del cual se establecerá la cantidad de hectáreas necesarias para lograr la carbono neutralidad, con las especies *Vochysia guatemalensis*, *Gmelina arborea* y *Araucaria hunsteinii*

5.3. Resultados

5.3.1. Lineamientos para el logro de la Carbono Neutralidad en la Municipalidad

La carbono neutralidad institucional es una acción que involucra a todos los departamentos y sus colaboradores de la Municipalidad, las cuales requieren de una sólida base estratégica que responda a las necesidades de reducción y mitigación del cambio climático.

Se hace necesario definir un líder del proyecto, que para este caso lo recomendable sería el Departamento de Gestión Ambiental, que logre involucrar a toda la institución con todo su equipo de trabajo, iniciando con un plan de divulgación informativa, mediante la elaboración, distribución y divulgación de un documento que cuente con una estrategia que le permita a toda la comunidad institucional conocer la problemática en cuestión, desde el punto de vista de generación de emisiones y la función del capital natural, además de los objetivos y el plan a seguir para alcanzar un balance neto de cero emisiones de CO₂.

De acuerdo a las guías utilizadas para determinar la huella de carbono, citadas bibliográficamente, en cada departamento involucrado se deben recopilar, organizar y digitar la información necesaria para que el departamento líder logre calcular la emisión total de toneladas de carbono en un periodo determinado. Una vez establecido el proyecto se debe tener un constante monitoreo que genere informes mensuales y permitan corroborar que se están cumpliendo las estrategias de concientización, reducción y mitigación de los gases de efecto

invernadero y además se debe promover la discusión activa por parte de los jefes por departamento, emitiendo cual es la dinámica interna de la institución, con su debida contabilidad de emisiones y las estrategias de compensación.

5.3.2. Acciones para la reducción de GEI

Debido a que el vertedero municipal es el mayor contribuyente de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, este debe ser la prioridad para tomar en cuenta si se desea lograr la carbono neutralidad de la institución. Por lo tanto los esfuerzos deben enfocarse primeramente en el Vertedero, pero no dejando de lado todas las demás partes involucradas en las emisiones de CO₂.

5.3.2.1. Vertedero municipal

Las emisiones por el sector de residuos sólidos juegan un papel preponderante a nivel nacional y se consideran como una de las fuentes clave para la cual es necesario estimar escenarios futuros sobre su comportamiento, así como una oportunidad para la aplicación de opciones de reducción. Las mayores emisiones de GEI aportadas por la Municipalidad de San Carlos provienen del vertedero, por lo tanto las acciones para el logro de la carbono neutralidad deben enfocarse principalmente en mecanismos para la reducción del metano liberado a la atmósfera. A continuación se presentan una serie de escenarios de emisión de metano, de acuerdo a las acciones de reducción propuestas en el vertedero.

5.3.2.1.1. Escenario 1. Compostaje de los residuos orgánicos

Las emisiones de metano provenientes de los rellenos sanitarios, pueden ser reducidas si parte de los residuos que se destinan al relleno sanitario son desviados a un proceso aeróbico, como el compostaje. Se propone la realización de compostaje con los residuos orgánicos que llegan al vertedero, en donde el 50% de los residuos orgánicos sean material de compost (ver cuadro 16).

Ventajas:

- El CH₄ puede ser descompuesto en CO₂ después de varios meses.
- Se aumenta la vida útil de los rellenos al reducir la cantidad de residuos totales.
- Se reducen la cantidad de lixiviados producidos en el vertedero.
- Se disminuyen las emisiones de metano del vertedero, ayudando a la mitigación del cambio climático.

5.3.2.1.2. Escenario 2. Reciclaje de los residuos de papel blanco y cartón

Se propone el reciclaje del 50% del papel blanco y cartón que llegan al vertedero (ver cuadro 16), de esta manera se puede reducir las emisiones de GEI, por lo tanto esta medida de reducción indica que al aumentar el reciclaje disminuirán las emisiones de CO₂.

Ventajas:

- Se aumenta la vida útil de los rellenos al reducir la cantidad de residuos totales.
- Se disminuyen las emisiones de metano del vertedero.

5.3.2.1.3. Escenario 3. Reciclaje de los residuos de papel blanco y cartón; y el compostaje de los residuos orgánicos

Un sistema integral de reciclaje de los residuos y un compostaje de bajo costo en el vertedero municipal (ver cuadro 16), constituye una alternativa para disminuir las emisiones de metano del vertedero, además de disminuir la cantidad de basura que ingresa en el mis

Cuadro 16. Resumen de los escenarios propuestos para la reducción de metano en el vertedero municipal

Escenarios	Escenario 1. Compostaje de los residuos orgánicos	Escenario 2. Reciclaje de los residuos de papel blanco y cartón	Escenario 3. Reciclaje de los residuos de papel blanco y cartón; y el compostaje de los residuos orgánicos
Descripción	Reducción del 50% de los residuos orgánicos	Reducción del 50% del papel blanco y cartón	Reducción del 50% de los residuos orgánicos más reducción del 50% del papel blanco y cartón
Residuos sólidos totales	13,97	14,37	10,57
Emisiones de CH₄	1,86	1,91	1,40
Total de tCO₂e	39018	40135	29522
Totales de tCO₂e de la Municipalidad	*40630	41747	*31134
Hectáreas a Reforestar			
Especie			
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1494	1535	1145
<i>Gmelina arbórea</i>	1054	1083	808
<i>Araucaria hunsteinii</i>	1551	1593	1188

- Sumar las emisiones procedentes del compostaje

Diversas tecnologías para el manejo adecuado de los vertederos y rellenos sanitarios se han desarrollado e implementado tanto en países desarrollados como en desarrollo, que van desde bajo, mediano a elevado costo. Tales estrategias deben ser eficientes desde el punto de vista económico, social, de salud y ambientales, permitiendo mitigar los gases de efecto invernadero.

La tecnología implementada por una institución debe responder a sus necesidades económicas incluyendo la cantidad y características de los desechos, costes y financiación, limitaciones reglamentarias y necesidades de infraestructura, incluida la tierra disponible y cuestiones de recolección/transporte (IPCC: Informe del Grupo de Trabajo III - Mitigación del Cambio Climático, 2011).

Las emisiones del vertedero se reducen mediante la generación de plantas bioeléctricas, y a pesar de los impactos negativos de los gases generados sobre la salud y el medio ambiente, el biogás se puede utilizar como una fuente potencial de energía debido a su alto poder calórico promedio de 20 MJ/m.

Es así como el biogás puede utilizarse de forma directa como energía térmica o generando energía eléctrica. Para la construcción de una planta bioeléctrica, que permita la captación del biogás del vertedero, se deben diseñar un sistema que permita extraer, conducir y transformar en electricidad, el metano. Dicha experiencia es realizada en el relleno sanitario de Rio azul en cual se constituye como un proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio), en el cual se comercializan a nivel internacional unas 54.000 toneladas de CO₂ equivalente por año en certificados de reducción de emisiones, por un monto aproximado a los US\$ 2 millones durante su vida útil de 10 años.

Otro mecanismo es la incineración, el cual como agente de mitigación de gas de efecto invernadero, funciona si se toma en cuenta que en lugar de emitir metano a la atmósfera, se quema y se emite CO_2 y vapor de agua. Si se quemará el CH_4 para diversos usos, el factor de emisión bajará ya que se daría la producción de CO_2 , el cual posee un potencial de calentamiento 21 veces menor que el potencial del metano. Bajo condiciones ideales, usando solo la cantidad estequiométrica de O_2 y que este reaccione solo en su estado elemental, los productos gaseosos derivados de la incineración de residuos estarían constituidos por CO_2 , H_2O , N_2 y SO_2 en menor cantidad.

Sin embargo, dentro de las estrategias más económicas y viables propuestas por diversos autores para el manejo adecuado de los vertederos, se encuentran el reciclaje y reutilización de residuos sólidos y el compostaje aeróbico de los residuos orgánicos, motivo por el cual se plantean escenarios de reducción de generación de metano basándose en estas dos tecnologías. En los tres escenarios planteados, el compostaje y el reciclaje en conjunto son los que reducen mayormente las emisiones de metano del vertedero, con una reducción de un 39,4% del total de toneladas emitidas a la atmósfera por parte de la Municipalidad.

5.3.2.2. Consumo Eléctrico

De forma indirecta, el consumo de electricidad, también incurre en la emisión de GEI, en el caso de la municipalidad el mayor consumo se da en el Estadio Municipal Carlos Ugalde Álvarez, seguido se mencionan oportunidades de reducción de consumo:

5.3.2.2.1. Paneles Solares: Adquirir la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios, que logren acumular la energía necesaria para abastecer como mínimo el consumo diario de energía eléctrica de todo el estadio.

5.3.2.2.2. Uso racional de los equipos electrónicos, luz y aires acondicionados: Realizar una campaña de concientización del personal y usuarios de las instalaciones, para utilizar los equipos y los servicios que requieren electricidad, solamente cuando sea necesario y además evitar dejar en uso mientras no se requiera.

5.3.2.3. Consumo de Combustibles

Considerando las diferentes fuentes de emisión de GEI, producto del sistema, la emisión por consumo de combustibles fósiles, ocupa el segundo lugar, siendo significativo y además, de momento, necesario (un mal necesario) para alcanzar los diferentes objetivos de la Municipalidad, a continuación algunas propuestas para reducir y mitigar estos gases:

5.3.2.3.1. Predio: Construir o alquilar un plantel temporal en un determinado punto de la zona, que le permita movilizar menos los vehículos del lugar donde se lleva a cabo un determinado proyecto, va permitir que se disminuya el consumo de combustibles y por ende la emisión de GEI.

5.3.2.3.2. Planificación de giras: Coordinar las giras de los funcionarios, que permitan utilizar la cantidad mínima de vehículos para realizar la labor, en los casos donde los empleados van con destinos parecidos o cercanos.

5.3.2.3.3. Programa de plantación, mantenimiento y manejo de plantaciones forestales: Elaborar un programa obligatorio, de plantación, mantenimiento y manejo de plantaciones forestales, que se desarrolle en el orden en que se llevan a cabo los diferentes proyectos donde se emiten GEI, que logre compensar a mediano plazo estos gases; el cual comprometa a la institución, además de concientizar a las y los funcionarios, así como a la población, del objetivo y la importancia del programa.

5.3.2.4. Sistemas de refrigeración

La sustitución de los aires acondicionados que utilizan el refrigerante HCFC-22, por otro refrigerante más amigable con el medio ambiente, lo que implicaría el cambio de los equipos con que se cuenta; los nuevos entonces podrían utilizar diversos tipos de refrigerantes, entre ellos se encuentran el R410A, el R407C y el R134a. R-410A se ha convertido rápidamente en el refrigerante adoptado para aire acondicionado, no solo porque presenta una eficiencia mayor, sino porque además su impacto total equivalente sobre el calentamiento global es menor que otras opciones.

5.3.2.5. Papel

Las emisiones producto de consumo de papel presentan una situación interesante, si bien las emisiones por esta actividad no son importantes dentro del balance. Pero las campañas por reducir la utilización de papel pueden ayudar a generar conciencia respecto a la huella de carbono.

5.3.3. Compensaciones de CO₂

La suma de las emisiones directas e indirectas de la Municipalidad de San Carlos dan 51409 tCO₂e, por su parte, la fijación de los sumideros es de 364 tCO₂e, dando como resultado un balance negativo de 51045 tCO₂e/año, siendo esta la cantidad de CO₂ a compensar (ver cuadro 17).

Cuadro 17. Balance neto de emisiones de la Municipalidad de San Carlos en toneladas de CO₂ equivalente para el periodo agosto 2010- julio 2011

Fuente de emisión	tCO₂e/año
Emisiones directas	
Combustibles	
Diesel	1561,2
Gasolina	118,21
Viajes aéreos	3,86
Aires acondicionados	2,71
Emisiones indirectas	
Consumo eléctrico	290
Vertedero	49631,61
Total	51607,59
Fijación de bosques	364
Total de tCO₂e/año	51244

A continuación, en el cuadro 18, se detalla la cantidad de toneladas CO₂ que puede fijar ciertas especies forestales.

Cuadro 18. Toneladas CO₂ almacenado por hectárea según especie

Especie	tCO₂ fijado/ha
<i>Vochysia guatemalensis</i>	27,2
<i>Gmelina arbórea</i>	38,53
<i>Araucaria hunsteinii</i>	26,2

Según la cantidad de tCO₂ que almacenan ciertas especies, se calculó la cantidad de hectáreas necesarias a reforestar, a una densidad inicial de 3 x 3 m, para mitigar las emisiones generadas durante el período de estudio.

Estas tres especies forestales se consideraron por su gran capacidad de fijación de CO₂ por hectárea/año, a su capacidad de adaptación a la zona y a su fácil manejo agroforestal.

Cuadro 19. Área a reforestar (ha), según especie forestal, para mitigar emisiones de la
Municipalidad de San Carlos

Especie	Área (ha)
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1884
<i>Gmelina arbórea</i>	1330
<i>Araucaria hunsteinii</i>	1956

Según el cuadro 19, con la especie *Gmelina arborea*, se necesitarían reforestar, en total, 1330 ha, de esta manera, se estaría asegurando que se de la mitigación de las tCO₂ emitidas por la institución durante un periodo de 12 años, si las emisiones se mantienen iguales. Las otras especies necesitan una

cantidad de hectáreas diferentes para mitigar una misma emisión de CO₂, esto debido a los ritmos de crecimiento, además de la densidad de la madera de cada especie, por ejemplo con la especie *Vochysia guatemalensis* se necesitarían 1884 ha para que la institución alcance su carbono neutralidad durante un periodo de 20 años, y con la especie *Araucaria hunsteinii* se necesitan reforestar 1956 ha pero su periodo de carbono neutralidad sería de 40 años. La especie *Gmelina arborea* es la que necesita la menor cantidad de hectárea, en comparación con las otras especies analizadas, esto debido a que a nivel tropical la melina es una de las especies con mayor potencial de crecimiento (Rojas, 2004).

5.4. Conclusiones y Recomendaciones

- Se realizó un inventario de las principales fuentes de emisiones de la Municipalidad, incluyendo las emisiones directas e indirectas, además se identificó en el vertedero municipal un sistema agroforestal y plantaciones forestales como fuentes de remoción (Este lo puse hoy).
- Se recomienda llevar a cabo un plan de disminución de las emisiones de GEI e incrementar el área de las zonas de sumideros; que permita alcanzar un balance de emisiones de CO₂ de las actividades que realiza la Municipalidad de San Carlos. Este plan debe involucrar a todo el personal vinculado con las diferentes actividades que se realizan.

- El vertedero municipal de San Luis de Florencia, contribuye al 96,5% de las emisiones totales de CO₂e, por lo que las estrategias para el logro de la carbono neutralidad deben enfocarse y poner sus esfuerzos en tratar de reducir las emisiones de metano en este, a través de tecnologías económicas y viables para su manejo adecuado.
- Es recomendable evaluar estrategias más integrales que eviten la generación en sí del metano y que son asociadas con otros parámetros de inversión, costos e ingresos y con adicionales beneficios ambientales, sociales y económicos.
- Se realizó una propuesta de reducción de gases de efecto invernadero en la municipalidad de San Carlos, tomando en cuenta las emisiones directas e indirectas. Se propusieron 3 escenarios para reducir las emisiones de metano en el vertedero municipal, que incluyen el reciclaje, compostaje y una combinación de ambos. Además se determinó que con la especie *Gmelina arborea*, se necesitarían reforestar, en total, 1330 ha, de esta manera, se estaría asegurando que se de la mitigación de las tCO₂ emitidas por la institución durante un periodo de 12 años, si las emisiones se mantienen iguales.
- Se recomienda que se cumpla con la propuesta de reducción de los GEI, para alcanzar la carbono neutralidad, así también es imprescindible la concientización de la comunidad institucional de la Municipalidad para

que todos conozcan del tema y contribuyan al logro de la carbono neutralidad.

BIBLIOGRAFÍA

- (GTZ) Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit. 2010. Adaptación al cambio climático, causas, consecuencias, posibilidades de acción. Eschborn, Alemania. 8p.
- (IAI) Instituto Interamericano para la investigación del cambio climático. 2011. (En línea). Consultado el 13 de Julio del 2011. Disponible en: <http://wwwsp.iai.int/>.
- (IMN) Instituto Meteorológico Nacional. 2008. Clima, su variabilidad y cambio climático. Costa Rica. 70 p.
- (IMN) Instituto Meteorológico Nacional. 2008. Integración del Tema de Cambio Climático en la Comunidad Nacional: Informe Final. Costa Rica. 75 p.
- (IMN) Instituto Meteorológico Nacional.; (MINAE) Ministerio de Ambiente y Energía. 2008. Escenarios de cambio climático en Costa Rica. Costa Rica. 103 p.
- (PNUMA) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2006. El Cambio Climático en América Latina y el Caribe. México. 126 p.
- (PNUMA) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2011. (En línea). Consultado el 20 de diciembre del 2011. Disponible en: www.grida.no.
- Arias, N. 2011. Gestión de la huella de carbono en la cadena de valor: compromiso empresarial como estrategia de competitividad. Costa Rica. Latu Quality Austria. 221 p.

- Baethgen, W.; Martino, D. 2000. Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay. (En línea). Consultado el 11 de Mayo del 2011. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/pol/2002/informe-7.pdf>
- Borquéz, R. 2010. La huella de carbono. Publicaciones fundación Terram 26.Chile. 9 p.
- Camargo, Y y Vélez, A. 2009. Emisiones de biogás producidas en Rellenos Sanitarios. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Colombia. 12 p.
- Chalvatzaki, E y Lazaridis, M. 2010. Estimation of Greenhouse Gas emissions from landfills: application to the Akrotiri Landfill Site (Chania, Greece), Global NEST 12 (1): 108-116.
- Chiemchaisri, C.; Chiemchaisri, W.; Salvaros O.; Luknanulak N.; Towprayoon S.; Visvanathan C. 2005. Comparison of Different Methods for Determining Methane Emission from Waste Disposal Sites in Thailand. Asian J. Energy Environmental 6 (1): 1 – 16.
- Comunicación personal del Dr. Edgar Ortiz, Tecnológico de Costa Rica, 2011. Costa Rica. Leyes y Reglamentos (2010). Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios. San José: Asamblea Legislativa.
- Estrada, M. 2001. Cambio Climático global: causas y consecuencias. Revista de información y análisis 16: 7-17.
- Fernández, O. 2010. Carbono neutral, nuevo imperativo empresarial ante el cambio climático. Revista de la asociación de ingenieros electricistas 8:51-55.

- Figuroa, C.; Velázquez, A. 2010. Estimación de la Biomasa en un Bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schldtl. Et Cham. En Zacualtipán, Higaldo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1 (1): 105-112.
- Githeko, A.; Lindsay, S.; Confalonieri, U y Patz, A. 2009. El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional. Revista virtual Redesma 3(3): 21-38.
- González, E.; Jurado, E.; González, S.; Aguirre, O.; Jiménez, J y Navar, J. 2003. Cambio Climático Mundial: Origen y consecuencias. Ciencia UANL 3: 377-386.
- Guerra, Leonardo. 2007. Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 105 p.
- Humer, M y Lechner, P. 1999. Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills. Waste Management and Research 17: 443–452.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (en línea) Consultado: 10 julio del 2011. Disponible: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Cambio Climático 2007, Informe de Síntesis (en línea). Consultado: 22 nov. 2009, Disponible: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.
- IPCC. 2000. Special Report on Emission Scenarios (Chapter 4: An Overview of Scenarios). Cambridge University Press, UK, pp.570.

- IPCC, 2002. Cambio Climático y Diversidad (en línea). Consultado: 04 agosto 2011. Disponible: IPCC, <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- Johnson, H. 2009. La Certificación en el Sector Público: una necesidad de competencia o un deber de eficiencia administrativa. *Revista Posgrado y Sociedad* 9(1): 80-107.
- Martínez, J y Fernández, A. 2004. Cambio climático una visión desde México. Instituto Nacional de ecología. Secretaría de medio ambiente y recursos Naturales. Primera edición. México. 523 p.
- Melgar, M. 2006. Potencial para el desarrollo y manejo de bosques secundarios latifoliados dentro del programa MAG-PAES. Instituto Americano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 36 p.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Costa Rica. 1 ed: Editorial Calderón y Alvarado S. A. Costa Rica. 109p.
- Nakama, V.; Lupi, A.; Ferrere, P y Alfieri, A. 2008. Las plantaciones forestales como sumideros del carbono atmosférico: estudio de caso en la provincia de Buenos Aires. Argentina. 11 p.
- Paz con la naturaleza. 2008. Plan de acción (en línea). Consultado: 08 agosto 2011. Disponible: <http://www.pazconlanaturaleza.org/admin/descargas/upload/Plan%20Accion%20IPN.pdf>
- Pire, S y González, M. 2005. Estimación de emisiones de metano en vertederos sanitarios. Instituto Superior Politécnico. La Habana, Cuba. 6 p.

- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 2007. (En línea). Consultado el 15 de Mayo del 2011. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- Rojas, F; Arias, D y Moya, R. 2004. Manual para productores de *Gmelina arborea* en Costa Rica (en línea). Consultado: 15 noviembre 2011. Disponible:http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf
- Rozas, G. 2003. Aproximación Psico-Comunitario Ambiental al Problema de Calentamiento Global. Revista de Psicología 002 (XII): 19-34.
- Ruiz, S.; Musmanni, S .2007. Identificando los gases de efecto invernadero (GEI): Una herramienta para la pequeña y mediana empresa. Revista de Análisis Ambiental de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz 41: 6-13.
- Russo, R. 2009. Guía Práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal. Universidad EARTH, Unidad de Carbono Neutro. Costa Rica. 17p.
- Sánchez, E. 2002. Impacto sobre los ecosistemas. II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. Brasil. 10 p.
- Schneider, H y Samaniego, J. 2010. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Naciones Unidas. Chile. 46 p.
- Thomas, C.; Tennant, T y Rools, J. 2000. The GHG indicator: UNEP guidelines for calculating greenhouse gas emission for businesses and non-commercial organizations. Londres, Reino Unido. 60p.

Fassbender, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales.
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Biblioteca
Orton IICA / CATIE. Segunda Edición. Número 29. 475 p.

ANEXOS

Anexo 1. Inventario de aires acondicionados presentes en el Edificio Municipal



Con Areas de Frio usted crea su propio clima

Inventario de Equipos

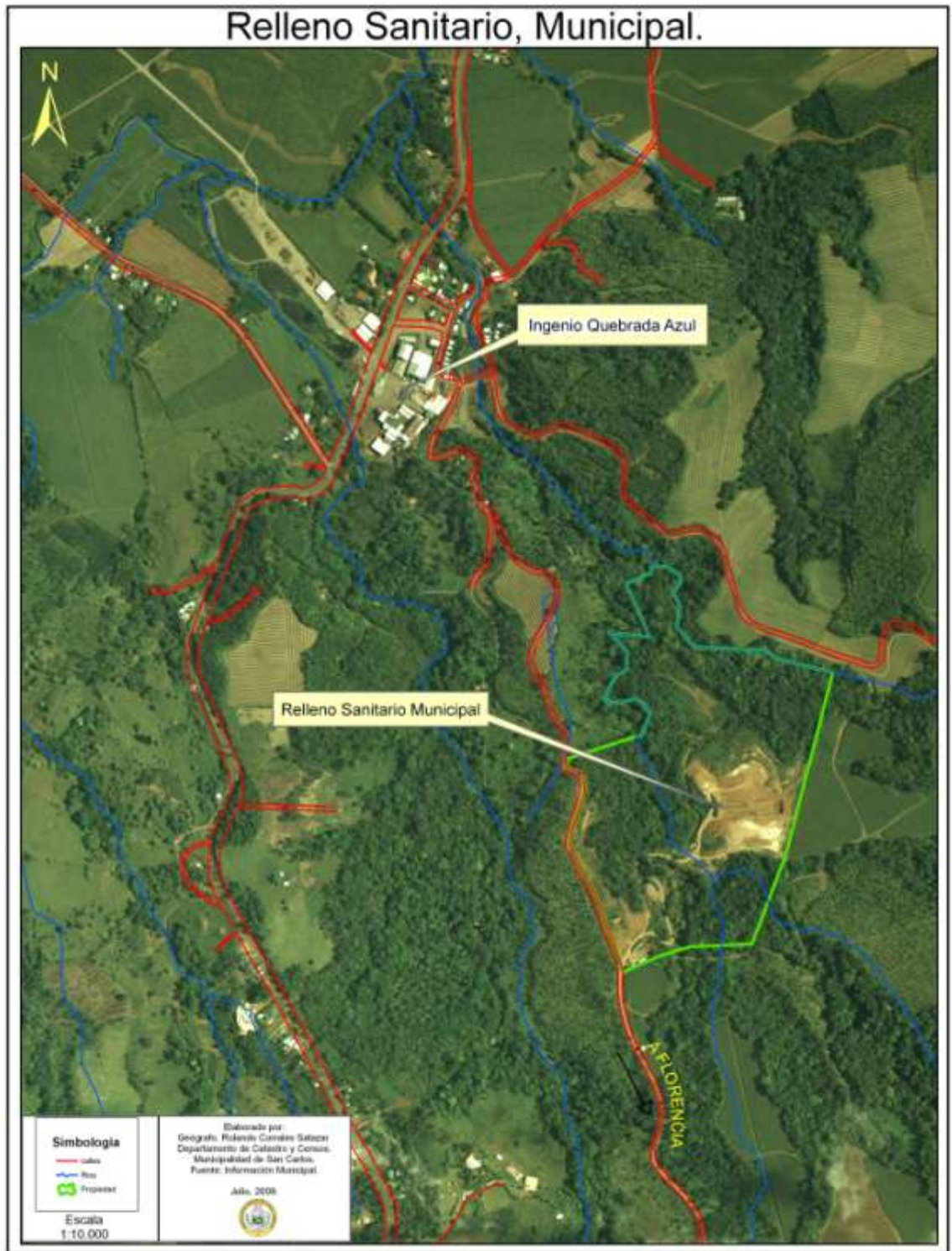
unid	Ubicación	Marca	BTU	Modelo Eva	Serie Eva
MUNI01	Alcalde	Innovair	18000	E18C2DB5
MUNI 02	Sala Alcalde	Innovair	24000	E24C2DB5
MUNI 03	Vice	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 04	Control interno	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 05	Servidor	Innovair	24000	E24C2DB5	
MUNI 06	Informática	Innovair	18000	ULWC18DB	
MUNI 07	Servicios generales Keilor	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 08	Recursos humanos #2	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 09	Enlace comunal	Innovair	18000	ULWC18DB	19269
MUNI 10	Relaciones publicas Walter	Innovair	12000	E12C2DB2	35150
MUNI 11	Auditorio #1	Pioneer	60000	UG060GKA2LACL2	72028
MUNI 12	Auditorio #2	Pioneer	60000	UG060GKA2LACL2	72049
MUNI 13	Auditoria	Innovair	18000	ULWC18DB	18992
MUNI 14	Jefe de auditoria	Innovair	9000	E09C2DB2	28521
MUNI 15	Secretaria	Innovair	18000	ULWC18DB	16525
MUNI 16	Dirección general	Pioneer	9000	WAX009EDA-L	0019
MUNI 17	Notaria institucional Gaby	York	12000		
MUNI 18	Gestión de proyectos	Innovair	10000	E10C2DB5	
MUNI 19	Dirección jurídica	Innovair	12000	ULWC13DB	13252
MUNI 20	Planificación	Innovair	24000	E24C2DB5	
MUNI 21	Asistente de acalde	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 22	Jefe tributario	Innovair	10000	ULWC10DB	
MUNI 23	Patentes	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 24	Administración tributario	Temstar	18000	TWA18SQM	
MUNI 25	Ingeniería	Innovair	18000	ULWC18B	
MUNI 26	Jefe catastro y censos	Toshiba			
MUNI 27	Catastro , censos	Temstar	36000	MK036AWAT	50163
MUNI 28	Bienes inmuebles	Temstar		THWA18SQBE	0338
MUNI 29	Proveeduría #2	Goodman	12000	MSEI-RCR	529
MUNI 30	Proveeduría	Innovair	24000	ULWC2DB	16545
MUNI 31	Recepción proveeduría	Innovair	10000	E10C2DB5	00006
MUNI 32	Inspectora unidad técnica	Nova	10000	ASW-09A2/EL	00005
MUNI 33	Unidad técnica	Innovair	36000	U36C25M	000105GD
MUNI 34	Recursos humanos	Temstar	18000	ATHWA18SQBE	
MUNI 35	Acueductos	Nova	18000	ASW-18-A2/EL	00008
MUNI 36	Gestión ambiental R410-a	Nova	12000	ASW-12BB3/EWR1-1	0008
MUNI 37	Servicios públicos	Innovair	10000	E10C2DB5	
MUNI 38	Director financiero	Innovair	9000		
MUNI 39	Contabilidad	Innovair	18000	ULWC18B	
MUNI 40	Tesorería	Innovair	12000	ULWC24B	
MUNI 41	Biblioteca entrada	Innovair	60000	U60C25M	
MUNI 42	Biblioteca oficina	Innovair	90000	WAX009JA-L	
MUNI 43	Biblioteca Sirzee	Innovair	36000		
MUNI 44	Biblioteca sala de reunión	Innovair	48000		
MUNI 45	Oficina de la mujer	Innovair	24000	E24C2B5	
MUNI 46	Oficina basurero Florencia	Innovair	12000	E13C2DB5	
MUNI 47	Ventana computo				
MUNI 48	Ventana Dixie				

NOTA: refrigerante r22-a



TEL 2460-9339 FAX 2460-4249

Anexo 2. Mapa de Ubicación y delimitación del vertedero municipal San Luis de Florencia.



Fuente: Departamento de Catastro, Municipalidad de San Carlos

Anexo 3. Lista de vehículos municipales que utilizan diesel como combustible.

Clase de Placa	Número de Placa	Categoría	Combustible
SM	1630	Pick up	Diesel
SM	2191	Motoniveladora	Diesel
SM	2630	Cargador	Diesel
SM	2760	Vagoneta	Diesel
SM	2761	Vagoneta	Diesel
SM	2766	Vagoneta	Diesel
SM	2767	Vagoneta	Diesel
SM	3568	Pick up	Diesel
SM	3632	Pick up	Diesel
SM	3657	Motoniveladora	Diesel
SM	3665	Vagoneta	Diesel
SM	3666	Vagoneta	Diesel
SM	3668	Vagoneta	Diesel
SM	3680	Vagoneta	Diesel
SM	3681	Vagoneta	Diesel
SM	3837	Pick up	Diesel
SM	3841	Pick up	Diesel
SM	3888	Automóvil	Diesel
SM	3914	Retroexcavadora 4x4	Diesel
SM	3926	Excavadora	Diesel
SM	3951	Draga (Excavadora)	Diesel
SM	3961	Camión Recolector	Diesel
SM	3990	Motoniveladora	Diesel
SM	4010	Chapulín	Diesel
SM	4056	Camión Recolector	Diesel
SM	4090	Pick up	Diesel
SM	4092	Pick up	Diesel
SM	4094	Excavadora del Relleno	Diesel
SM	4122	Camión Recolector	Diesel
SM	4133	Excavadora	Diesel
SM	4311	Pick up	Diesel
SM	4558	Compactador Neumático	Diesel
SM	4571	Retroexcavadora 4x4	Diesel
SM	4634	Camión Recolector	Diesel
SM	4667	Excavadora	Diesel
SM	4679	Pick up	Diesel
SM	4830	Motoniveladora	Diesel
SM	4838	Pick up	Diesel
SM	4982	Vagoneta	Diesel
SM	5042	Pick up	Diesel
-	826673	Automóvil	Diesel
SM	5143	Pick up	Diesel
SM	5314	Pick up	Diesel
SM	5394	Pick up	Diesel
SM	5381	Pick up	Diesel
SM	5389	Motoniveladora	Diesel
SM	5382	Pick up	Diesel

Anexo 4. Lista de vehículos municipales que utilizan gasolina como combustible.

Clase de Placa	Número de Placa	Categoría	Combustible
SM	3295	Pick up	Gasolina
SM	3350	Motocicleta	Gasolina
SM	3375	Motocicleta	Gasolina
SM	3392	Motocicleta	Gasolina
SM	3434	Motocicleta	Gasolina
SM	3567	Motocicleta	Gasolina
SM	3815	Motocicleta	Gasolina
SM	3816	Motocicleta	Gasolina
SM	4052	Motocicleta	Gasolina
SM	4053	Motocicleta	Gasolina
SM	4068	Motocicleta	Gasolina
SM	4174	Automóvil	Gasolina
SM	4285	Motocicleta	Gasolina
SM	4381	Automóvil	Gasolina
SM	4382	Automóvil	Gasolina
SM	4771	Automóvil	Gasolina
SM	4882	Motocicleta	Gasolina
SM	4883	Motocicleta	Gasolina
SM	4902	Automóvil	Gasolina
SM	5036	Automóvil	Gasolina
SM	5043	Pick up	Gasolina
SM	5113	Motocicleta	Gasolina
SM	5275	Motocicleta	Gasolina
SM	5276	Motocicleta	Gasolina
SM	83365	Motocicleta	Gasolina

Anexo 5. Consumo de Diesel de los vehículos municipales para el periodo agosto 2010-julio 2011.

FECHA	SOLICITUD	F. APROB.	PROVEEDOR	TIPO	Monto
09/11/2010	10/11/2010	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	100.133.100.000	
06/10/2010	11/10/2010	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	150.000.000.000	
11/10/2010	11/10/2010	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	50.000.000.000	
27/08/2010	30/08/2010	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	67.886.570.000	
26/10/2010	27/10/2010	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	200.000.000.000	
26/10/2010	27/10/2010	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	200.000.000.000	
04/08/2010	05/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	40.000.000.000	
10/08/2010	12/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	130.000.000.000	
04/08/2010	05/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	18.000.000.000	
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	5.000.000.000	
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	3.000.000.000	
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	30.000.000.000	
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	1.500.000.000	
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	3.000.000.000	
15/12/2010	15/12/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	1.000.000.000	
18/11/2010	18/11/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	5.018.140.000	
18/11/2010	18/11/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	30.000.000.000	
15/12/2010	15/12/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	10.446.840.000	
21/12/2010	21/12/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	10.000.000.000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	4500000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	20000000	
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	300000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	600000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	1000000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	1200000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	120000	
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	500000	
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	5000000	
08/06/2011	08/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	12000000	
18/02/2011	21/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	2500000	
14/03/2011	14/03/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	30000000	
14/03/2011	14/03/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	30000000	
23/06/2011	23/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	2000000	
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	2000000	
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	DIESEL	500000	
06/07/2011	08/07/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	40000000	
06/07/2011	08/07/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	26500000	
20/05/2011	20/05/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	10000000	
11/07/2011	12/07/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	4000000	
07/03/2011	08/03/2011	SERVICENTRO CERRO CORTES S.A .	DIESEL	15000000	

Anexo 6. Consumo de Gasolina de los vehículos municipales para el periodo agosto 2010-julio 2011.

F. SOLICITUD	F. APROB.	PROVEEDOR	TIPO	Monto
22/11/2010	23/11/2010	INVERSIONES CASSOL DE LA FORTUNA S.A.	GASOLINA	160000
10/08/2010	12/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	500000
10/08/2010	12/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	300000
04/08/2010	05/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	1000000
04/08/2010	05/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	1000000
10/08/2010	12/08/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	500000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	400000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	400000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	150000
18/11/2010	18/11/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	510000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	4000000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	900000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	200000
30/09/2010	01/10/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	300000
18/11/2010	18/11/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	265867
18/11/2010	18/11/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	100000
15/12/2010	15/12/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	90000
21/12/2010	21/12/2010	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	500000
02/12/2010	02/12/2010	TESORERO MUNICIPAL	GASOLINA	10000
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	500000
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	1500000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	200000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	200000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	300000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	4000000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	800000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	500000
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	200000
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	100000
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	300000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	2000000
07/02/2011	09/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	2000000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	800000
07/02/2011	08/02/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	200000
27/06/2011	28/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	1000000
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	4000000
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	400000
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	200000
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	100000
27/06/2011	27/06/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	500000
03/05/2011	05/05/2011	ESTACION DE SERVICIO LOYVA LTDA.	GASOLINA	1000000
14/07/2011	18/07/2011	CENTRAL DE MANGUERAS S.A	GASOLINA	198030
14/07/2011	18/07/2011	CENTRAL DE MANGUERAS S.A	GASOLINA	125925

Anexo 7. Vertedero municipal San Luis de Florencia, San Carlos. a) Disposición de los residuos en el Vertedero, b) lixiviados del Vertedero



Anexo 8. Vegetación presente en el vertedero municipal San Luis de Florencia. a y b:
Bosque ripario

