

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE  
COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA DE LA DIRECCIÓN DE GESTIÓN  
AMBIENTAL DE LA ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LA PINTANA**

**DANIEL GONZALO ZÚÑIGA UBILLÚS**

**SANTIAGO, CHILE**

**2013**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE  
COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA DE LA DIRECCIÓN DE GESTIÓN  
AMBIENTAL DE LA ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LA PINTANA**

**CARBON FOOTPRINT ESTIMATION OF THE COMPOST AND  
LOMBRICULTURE PROCESS IN THE ENVIROMENTAL DEPARTMENT OF  
THE MUNICIPALITY OF LA PINTANA**

**DANIEL GONZALO ZÚÑIGA UBILLÚS**

**SANTIAGO, CHILE**

**2013**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE  
COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA DE LA DIRECCIÓN DE GESTIÓN  
AMBIENTAL DE LA ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LA PINTANA**

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**DANIEL GONZALO ZÚÑIGA UBILLÚS**

<b>Profesor Guía</b>	<b>Calificaciones</b>
Manuel Paneque C. Bioquímico, Dr.	6,7
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Jorge Pérez Q. Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.	6,8
Werther Kern F. Ingeniero Agrónomo, MBA.	6,3
<b>Colaboradores</b>	
Celián Román F. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables	

SANTIAGO, CHILE  
2013



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

LISTADO DE ACRONIMOS .....	1
RESUMEN.....	3
ABSTRACT .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1. Objetivo General .....	15
1.2. Objetivos Específicos .....	15
2. MATERIALES Y METODO .....	16
2.1. Caracterización del Sitio de Estudio .....	16
2.2. Materiales .....	17
2.3. Método.....	17
2.3.1. Límites de la Organización .....	17
2.3.2. Límites Operativos .....	18
2.3.3. Estimación de la Huella de Carbono .....	19
2.3.4. Tratamiento Biológico .....	20
2.3.5. Comparación de Compost vs. Vertedero .....	21
2.3.6. Combustión Estacionaria .....	21
2.3.7. Combustión Móvil .....	22
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
3.1.1. Límites de la Organización .....	23
3.1.2. Límites Operativos .....	23
3.1.3. Tratamiento Biológico .....	23
3.1.4. Comparación de Compost vs. Vertedero .....	24
3.1.5. Combustión .....	25
3.1.6. Consideraciones Finales.....	25
3.1.7. Recomendaciones.....	26
4. CONCLUSIONES .....	29
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	30
6. APENDICES.....	35





## LISTADO DE ACRONIMOS

<b>AC</b>	: Aplicación Conjunta.
<b>BSI</b>	: British Standards Institution.
<b>CCV</b>	: Corporación Chilena del Vino.
<b>CEI</b>	: Centro de Economía Internacional (Argentina).
<b>CEPAL</b>	: Comisión Económica Para América Latina y el Caribe.
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metano.
<b>CMNUCC</b>	: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de Carbono.
<b>CO<sub>2</sub>-e</b>	: Dióxido de Carbono equivalente.
<b>CONAMA</b>	: Comisión Nacional del Medio Ambiente.
<b>COVDM</b>	: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano.
<b>CPL</b>	: Consejo Nacional de Producción Limpia.
<b>CRE</b>	: Certificados de Reducción de Emisiones.
<b>DEFRA</b>	: Department for Environment Food and Rural Affairs.
<b>DIGA</b>	: Dirección de Gestión Ambiental de la I. Municipalidad de La Pintana.
<b>FIA</b>	: Fundación para la Innovación Agraria.
<b>GEI</b>	: Gases de Efecto Invernadero.
<b>GHG</b>	: Green House Gas
<b>HFC</b>	: Hidrofluorocarbonados.
<b>ICONTEC</b>	: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
<b>INIA</b>	: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

<b>IPCC</b>	: Intergovernmental Panel on Climate Change.
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization.
<b>MDL</b>	: Mecanismo de Desarrollo Limpio.
<b>MVC</b>	Mercados Voluntarios de Carbono.
<b>N<sub>2</sub>O</b>	: Óxido nitroso.
<b>OCDE</b>	: Organización de Cooperación y Desarrollo Económico.
<b>ONG</b>	: Organización No Gubernamental.
<b>ONU</b>	: Organización de las Naciones Unidas.
<b>PAS</b>	: Publicly Available Specification.
<b>PFC</b>	: Perfluorocarbonados.
<b>PNUMA</b>	: Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente.
<b>PUC</b>	: Pontificia Universidad Católica de Chile.
<b>RSA</b>	: Responsabilidad Social & Ambiental.
<b>RSD</b>	: Residuos Sólidos Domiciliarios.
<b>SF<sub>6</sub></b>	: Hexafluoruro de Azufre.
<b>UCA</b>	: Unidades de Cantidad Asignada.
<b>URE</b>	: Unidades de Reducción de Emisiones.
<b>WBCSD</b>	: World Business Council for Sustainable Development.
<b>WMO</b>	: World Meteorological Organization.
<b>WRI</b>	: World Resources Institute.
<b>WWF</b>	: World Wildlife Fund.

## RESUMEN

La Dirección de Gestión Ambiental (DIGA) de la I. Municipalidad de La Pintana en su compromiso de responsabilidad social y ambiental, busca estimar la totalidad de sus emisiones de gases efecto invernadero (GEI) midiendo su Huella de Carbono para disminuir su huella anualmente y reducir su impacto en el medio ambiente. La incertidumbre sobre los posibles efectos de los GEI sobre el medio ambiente dio pie a la estandarización a nivel internacional del cálculo de la Huella de Carbono, que permite cuantificar las emisiones de GEI producidas por las actividades humanas en unidades de CO<sub>2</sub>-e para certificarlas y comercializarlas en los mercados de bonos de carbono.

El presente estudio consistió en estimar la Huella de Carbono para el área de compostaje y lombricultura de la DIGA para el año base 2010. Para esto se realizó un inventario de emisiones de GEI mediante la identificación de las actividades realizadas por la DIGA que son críticas para la medición de la Huella de Carbono. Se utilizó la norma ISO 14.064-1:2006 como directriz general para delimitar la organización y sus operaciones para el inventario de GEI. Para el cálculo de la Huella de Carbono se utilizó la metodología propuesta por las directrices del IPCC del año 2006 de la sección de desechos, junto con las fórmulas y factores de emisión entregados por el DEFRA 2010.

El límite de la organización incluyó todas las emisiones y remociones de GEI de las instalaciones del área citada anteriormente, sobre las que tiene el control operacional la DIGA. Dentro de estos límites se determinaron las emisiones directas y otras emisiones indirectas en su proceso de compostaje y lombricultura, expresadas como kg CO<sub>2</sub>-e.

La Huella de Carbono correspondió a 51.345,2 kg de CO<sub>2</sub>-e, lo que se asimila a la Huella de Carbono básica. El punto crítico y única fuente emisora de GEI del proceso, es la combustión de diesel producida por los camiones recolectores de residuos orgánicos, insumo base para el proceso de compostaje y lombricultura, que procesó 5.527 toneladas de residuos orgánicos. Las emisiones neutras, que no contabilizan al total de la Huella de Carbono, provienen de la combustión de biodiesel que emite 57,1 kg CO<sub>2</sub>-e, y de las emisiones biogénicas propias del compostaje que emite 212.100,7 kg de CO<sub>2</sub>-e.

Es importante la disminución de emisiones de GEI obtenida al utilizar biodiesel respecto del uso teórico de diesel, donde se reducen 5.694 kg CO<sub>2</sub>-e. Además si los desechos orgánicos fuesen a un vertedero emitirían 1.426.441,8 kg CO<sub>2</sub>-e, muy por encima de los 212.100,7 kg de CO<sub>2</sub>-e emitidos al compostar dichos desechos. Pero los distintos protocolos excluyen del cálculo las emisiones de CO<sub>2</sub> que proceden de procesos químicos o físicos a partir de la biomasa, por lo que la reducción de estas emisiones no se pudo validar.

El estudio demuestra que realizar la estimación de la Huella de Carbono es una oportunidad de mejorar la eficiencia de las operaciones, el registro de la información relativa a ellas y mejorar la gestión medioambiental en la disminución de la Huella de Carbono, y podría presentar una oportunidad de negocio para la DIGA en el mercado de bonos de carbono.

**Palabras claves:** Huella de Carbono, GEI, Compostaje, CO<sub>2</sub> equivalente, ISO 14.064-1.

## ABSTRACT

The DIGA of Municipality of La Pintana in its commitment to social and environmental responsibility, seeks to estimate the total GHG emissions by measuring its Carbon Footprint to reduce its footprint annually and reduce their impact on the environment. Uncertainty about the possible effects of GHG's on the environment led to the worldwide standardization of the calculation of the carbon footprint, which quantifies the GHG emissions produced by human activities in units of CO<sub>2</sub>-e for certification and trade them in carbon markets.

The present study estimated the Carbon Footprint for the vermiculture composting area in the DIGA for the base year 2010. For this we conducted a GHG emissions inventory by identifying the activities that are critical to DIGA measuring the Carbon Footprint. ISO 14.064-1:2006 standards was used as a general guideline to define the organization and its operations for the GHG inventory. To calculate the Carbon Footprint was used the proposed methodology by the IPCC guidelines of 2006, section waste, together with the formulas and emission factors provided by the DEFRA 2010.

The organization boundary included all GHG emissions and removals for the vermiculture composting area, over which it has operational control of DIGA. Within these limits were determined direct emissions and other indirect emissions in the process of composting and vermiculture, expressed as kg CO<sub>2</sub>-e.

The Carbon Footprint corresponded to 51,345.2 kg of CO<sub>2</sub>-e, which is treated as the basic carbon footprint. The critical and unique GHG emission source process is the combustion of diesel produced by the organic waste collection trucks, basic input for the composting and vermiculture, which processed 5.527 tons of organic waste. Neutral emissions, which do not count to the total Carbon Footprint, from the combustion of biodiesel emits 57.1 kg CO<sub>2</sub>-e, and from the composting emits 212,100.7 kg of CO<sub>2</sub>-e of biogenic emissions.

It is important the decrease of GHG emissions when using biodiesel obtained regarding the theoretical use of diesel, which reduced 5.694 kg CO<sub>2</sub>-e. Furthermore, if the organic waste to a landfill emit were 1.426.441 kg CO<sub>2</sub>-e, above of the 212.100 kg CO<sub>2</sub>-e emitted when composting the waste. But different protocols excluded from the calculation of CO<sub>2</sub> emissions originating from chemical or physical processes from biomass, so that the reduction of these emissions could not be validated.

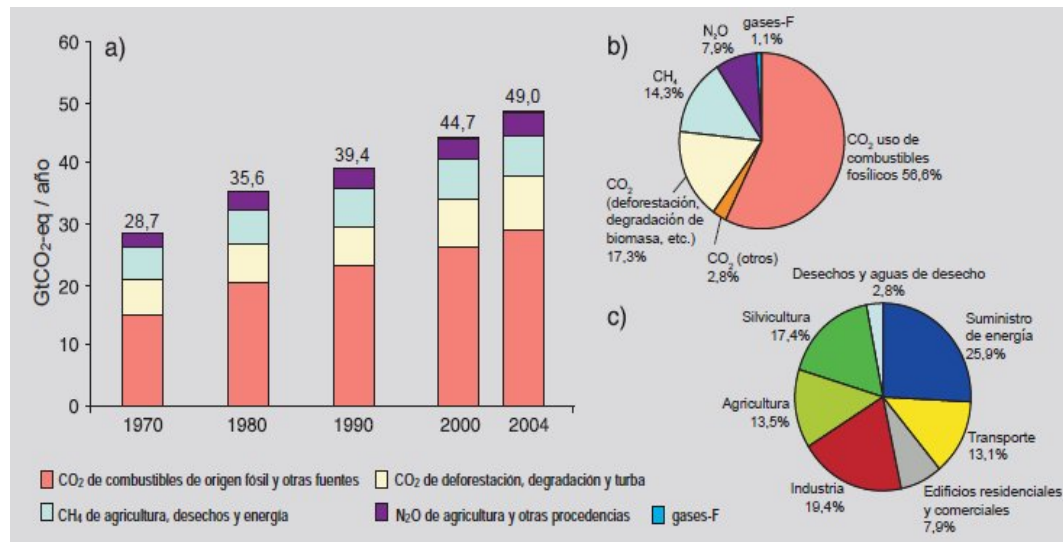
The study shows that the estimation of the carbon footprint is an opportunity to improve the efficiency of operations, logging information about them and improve environmental management in reducing the Carbon Footprint, and could present an opportunity of business for DIGA in the carbon market.

**Keywords:** Carbon Footprint, GHG, Composting, CO<sub>2</sub> equivalent, ISO 14064-1.

## 1. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población humana y la expansión industrial han provocado un aumento progresivo de la contaminación ambiental. El desarrollo de infraestructura para el tratamiento de desechos y los métodos de eliminación o tratamiento de los residuos no han sido efectivos ante las altas tasas de generación de desechos, tasas que aumentarán al mismo ritmo que el crecimiento poblacional, saturando el actual sistema de tratamientos de residuos sólidos domiciliarios (RSD), creando una encrucijada para el desarrollo (Yedla y Parikh, 2001). En la actualidad los RSD contribuyen con un 30% de las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) originadas en los rellenos sanitarios, aportando al calentamiento global por tratarse de un gas de efecto invernadero (GEI; Bhide, 1994).

Los principales GEI son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ; IPCC, 1997; ICONTEC, 2006), y la mayor proporción de GEI proviene de la quema de combustibles fósiles en forma de  $\text{CO}_2$  (58,6%),  $\text{CH}_4$  (14,3%) y el  $\text{N}_2\text{O}$  (7,9%; Figura 1; IPCC, 2007).



**Figura 1.a)** Emisiones mundiales de GEI antropogénicos entre los años 1970 y 2004 ( $\text{GtCO}_2\text{-e año}^{-1}$ ). **b)** Parte proporcional que representan diferentes GEI antropogénicos respecto de las emisiones totales de  $\text{CO}_2\text{-e}$  en el año 2004. **c)** Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos ( $\text{CO}_2\text{-e}$ ) en el año 2004 (En el sector de silvicultura se incluye la deforestación. IPCC, 2007).

Los GEI son precursores de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, por lo que se puede comparar su acción en relación con este gas. Para esto, el IPCC (2006) y BSI (2008) investigaron el potencial de calentamiento global (PCG) de cada GEI, esto se refiere, al efecto de

calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy la liberación instantánea de 1 kg de GEI, respecto al efecto causado por el CO<sub>2</sub>, estableciéndose una nueva medida llamada CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-e).

Las emisiones de GEI provenientes de la biomasa son consideradas como biogénicas. Estas emisiones incluyen las producidas por la descomposición natural (deforestación, degradación de biomasa y turberas) y la combustión de biomasa (materia de origen biológico excluyendo el material fosilizado; WRI y WBCSD, 2005). Las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión del carbono orgánico (biocombustibles), si van a ser declaradas, deben ser declaradas por separado como elemento informativo (IPCC, 2006).

Se ha registrado un incremento en las emisiones de GEI de origen antrópico. En la década de los 90 se emitió 28,7 GtCO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup>, mientras que en el 2004 fueron 49 GtCO<sub>2</sub>-e año<sup>-1</sup> (IPCC, 2007). Esto se ha traducido en un aumento en la temperatura global del planeta. Entre los años 1995 y 2006, se produjeron once de los doce años más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial desde 1850. La tendencia lineal a 100 años móviles (1906-2005), registró un aumento promedio de 0,74°C (entre 0,56°C y 0,92°C), siendo superior a la tendencia de aumento promedio de 0,6°C (entre 0,4°C y 0,8°C) correspondiente a los 100 años móviles de 1901-2000 (IPCC, 2007). Este aumento en la temperatura podría repercutir negativamente sobre los sistemas naturales y los ciclos ecológicos que sustentan toda la vida y las actividades de la población humana en el planeta (McMichael, 1993; Papendieck, 2010).

La incertidumbre sobre los impactos asociados al aumento en la concentración de GEI en la atmósfera alertó al ámbito político y científico internacional, lo que provocó la creación, en el año 1998, del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por su acrónimo en inglés) desde el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO por su acrónimo en inglés). El IPCC se creó para efectuar un seguimiento de los posibles efectos de las emisiones de CO<sub>2</sub>-e sobre el sistema climático global (Sabogal *et al.*, 2009; Papendieck, 2010). La creación del IPCC re-direccionó la política ambiental internacional que pasó a ser dirigida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que implementó instrumentos jurídicos oficiales y económicos consistentes con el establecimiento de un intercambio comercial de bonos de carbono que compensará las emisiones de cada uno de los países de acuerdo a su nivel de contaminación per cápita (Sabogal *et al.*, 2009).

En 1992 se celebró la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) donde se establecieron los principios de acción que aplicarían los países miembros para reducir las emisiones de GEI (ONU, 1992). Los países industrializados que eran miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en 1992, más las partes en proceso de transición a una economía de mercado, como, la Federación de Rusia, los Estados Bálticos y varios Estados de Europa central y oriental (países del Anexo I), se comprometieron a hacer efectivas las obligaciones de los países industrializados, en 1997 se aprueba el Protocolo de Kioto donde en su artículo 3 se establece el compromiso de lograr una reducción mínima del

5,2% de los GEI entre el 2008 y 2012, sobre los niveles de emisiones de 1990 para los países del Anexo I (ONU, 1998).

Para lograr esta meta se establecieron tres mecanismos de flexibilidad orientados a la reducción y mitigación de emisiones, que permiten disminuir los costos de transacción y transparentar dichos procesos. El primero establece que los países del Anexo I, para enfrentar sus límites de emisiones, pueden comprar Unidades de Cantidad Asignadas (UCA) a otros países del Anexo, según lo dispuesto por el “International Emission Trading”. Estos derechos de emisión asignados son otorgados a los países con metas de reducción de emisiones para el periodo de compromiso 2008-2012, por lo que si un país tiene excedentes, o emisiones autorizadas pero no efectuadas, puede venderlos a un país con obligaciones de reducir sus emisiones. (ONU, 1998; Donald *et al.*, 2008; Sabogal *et al.*, 2009).

El segundo mecanismo, la Aplicación Conjunta (AC) para proyectos de países del Anexo I, generando créditos denominados Unidades de Reducción de Emisiones (URE) en el país receptor, normalmente economías en transición. Este país se beneficia de las tecnologías limpias y se descuenta de su saldo de cantidades asignadas las UREs que genere el proyecto, las cuales son adquiridas por el país inversor a un precio menor que si lo hubiese realizado internamente. (ONU, 1998; Donald *et al.*, 2008; Sabogal *et al.*, 2009).

El tercer mecanismo, Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) tiene como foco a los países en vías de desarrollo. Los créditos obtenidos por los países desarrollados se denominan Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), donde se contabilizan las reducciones y capturas logradas en países en vías de desarrollo el que se beneficia de nuevas tecnologías, limpias y modernas. (ONU, 1998; Donald *et al.*, 2008; Sabogal *et al.*, 2009).

Estos mecanismos pueden ser utilizados para dar cumplimiento a las obligaciones de reducción de emisiones y cada CRE, URE y UCA representa una tonelada de CO<sub>2</sub>-e de GEI y pueden ser comercializadas (ONU, 1998; Donald *et al.*, 2008; Sabogal *et al.*, 2009).

Los costos de reducción de emisiones para lograr la meta establecida, provocó que el mayor contaminante per cápita del mundo, Estados Unidos, no aprobara en su parlamento el Protocolo de Kioto, desvinculando a Estados Unidos del tratado internacional. Durante el periodo de vigencia del protocolo de Kioto (2008-2012) Estados Unidos actuó como un “free rider” que contamina y se ve beneficiado por los esfuerzos de los países del Anexo I (Sabogal *et al.*, 2009). A partir de este episodio otros mecanismos de reducción y captura de carbono no regulados por instrumentos jurídicos nacionales o internacionales tomaron fuerza, los Mercados Voluntarios de Carbono (MVC) que no sólo están motivados por las obligaciones de los países, sino en aspectos adicionales como la responsabilidad social y aceptación de las organizaciones en el ámbito internacional (Sandor *et al.*, 2002).

Estas iniciativas no han tenido el éxito esperado en los objetivos de reducción, los países que se comprometieron a reducir sus emisiones y cuyos procesos productivos son

intensivos consumidores de energía, aunque más eficientes, se sienten en desventaja ante un escenario de competencia con los países que no asumieron este tipo de compromiso. Esta situación los ha impulsado a considerar otras medidas como los impuestos de carbono, los programas de transacción de derechos de emisión y barreras técnicas que incluyen exigencias sobre niveles de eficiencia energética. Recientemente, a este menú de iniciativas, se suma la contabilización y divulgación del carbono producido en el ciclo de vida de los productos y servicios, como un elemento que alertará al consumidor e influenciará su decisión de compra. La estrategia se fundamenta, principalmente, en las diferentes magnitudes de las externalidades asociadas a los procesos productivos en países pertenecientes y no pertenecientes al Anexo I, considerando en la ecuación las emisiones asociadas al transporte debido a que la quema de combustibles fósiles aumenta las emisiones de GEI (CEPAL, 2009).

Reducir las emisiones de GEI para combatir el cambio climático, se ha posicionado como uno de los mayores desafíos que deben enfrentar las naciones, gobiernos, empresas y ciudadanos en las próximas décadas (Sabogal *et. al.*, 2009). Estas preocupaciones y los medios de comunicación le han dado una enorme popularidad a la cuantificación de los aportes al calentamiento global usualmente representados en términos de “Huella de Carbono” (Pandey *et. al.*, 2010).

La Huella Ecológica se refiere, según Wackernagel y Rees (1996), al “área de tierra y de mar biológicamente productiva requerida para sustentar una población humana determinada, expresada en hectáreas globales”. Conforme a este concepto, la Huella de Carbono se refiere al área de tierra requerida para asimilar todo el CO<sub>2</sub> producido por el hombre durante su vida, aunque existen pocos estudios que reportan la Huella de Carbono en términos de hectáreas globales (Pandey *et. al.*, 2010).

La Huella de Carbono se constituye como un subconjunto de la “Huella Ecológica” propuesta por Wackernagel y Rees (1996), donde la Huella de Carbono alcanza una participación cercana al 50% en el cálculo de la Huella Ecológica, por lo que se reconoce como un indicador del cambio climático por si misma (WWF, 2008).

El concepto de Huella de Carbono se ha vuelto común de manera independiente, a medida que el problema del calentamiento global ha ganado terreno internacionalmente, lo que convirtió al concepto en una estimación del potencial de calentamiento global y del impacto ambiental como parte de un ciclo vital (Finkbeiner, 2009). Debido a esto, el actual concepto de la Huella de Carbono se puede ver como un híbrido, tomando el nombre de la Huella Ecológica, pero conceptualmente siendo un indicador del potencial de calentamiento global (Pandey *et. al.*, 2010). Como consecuencia existe poca uniformidad en las definiciones de la Huella de Carbono en las publicaciones disponibles, Wiedmann y Minx (2007) definieron a la Huella de Carbono como “una medida de la cantidad total y exclusiva de las emisiones directas e indirectas de CO<sub>2</sub>, causadas por una actividad o que son acumuladas a lo largo de las etapas de vida de un producto”. La Huella de Carbono se ha transformado en un indicador reconocido a nivel internacional, ya que permite el conocimiento respecto a los GEI, su medición y su divulgación como un elemento útil en la toma de decisiones, tanto a nivel individual como empresarial (Schneider y Samaniego, 2009).



Para el cálculo de la huella de carbono existen distintas propuestas metodológicas: la norma ISO 14.064-1 del 2006; el Protocolo de GEI del World Resources Institute (WRI) y del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) del año 2005, orientadas al cálculo de las instituciones; y la Publicly Available Specification (PAS) 2050:2008, elaborada por el British Standard Institute (BSI) en el año 2008 auspiciada por Carbon Trust y el Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), enfocada en la huella de productos y ciclo de vida de los productos.

También existen protocolos para productos, bienes o servicios puntuales, como el Protocolo Internacional del Cálculo de Emisiones de Carbono para el sector Vitivinícola, con especificidad geográfica para USA, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Australia, creada por el Instituto del Vino de California, los Viticultores de Nueva Zelanda, el Programa de Producción Integrada del Vino de Sudáfrica, y la Federación de Viticultores de Australia (CCV y CPL, 2011). También existen otras iniciativas como en el área maderera, automotriz, etc., e iniciativas enfocadas en desarrollar factores de emisión específicos para países o grandes empresas comerciales (Apéndice A).

En la Web es posible encontrar calculadoras virtuales de tu huella de carbono, algunas oficiales como la de Carbonzero (<http://www.carbonzero.co.nz/calculators/>), o independientes como la calculadora de la fundación Reduce Tu Huella ([http://www.reducetuhuella.org/calculadora\\_reduce/](http://www.reducetuhuella.org/calculadora_reduce/)).

La existencia de distintos protocolos y guías de cálculo para la Huella de Carbono provocó que la Organización Internacional de Estandarización (ISO por su acrónimo en inglés) busque unificar criterios para su estimación, por lo que se encuentra desarrollando la Norma ISO 14.067, que es específica para el cálculo de la Huella de Carbono, ya que la norma existente ISO 14.064 permite la cuantificación, monitoreo e informe de emisiones de GEI pero no especifica los factores de emisión ni la fórmula a utilizar para el cálculo de la Huella de Carbono (Ambiente y Comercio, 2011).

Esta tendencia de medir la Huella de Carbono y neutralizarla, en lo posible, se debe a que los mercados internacionales se hacen más exigentes ambientalmente, por ejemplo, a partir de enero de 2011, Francia aplicará la llamada Ley Grenelle 2 (Ley N° 788 del año 2010), que exige declarar la huella de carbono tanto de los productos a la venta en todo el país, como de sus embalajes. La regla regirá también para aquellos que deseen ingresar sus productos desde el extranjero (Meza, 2011; Hernández, 2011; CEI, 2012).

También el etiquetado de productos con su Huella de Carbono ha tomado fuerza en Europa, en el año 2006 la Organización No Gubernamental (ONG) Carbon Trust del Reino Unido fue la primera en lanzar al mercado el etiquetado de carbono, a esta medida se sumó en el 2007 la ONG Canadiense Carbon Counted, y en el 2008 la ONG Suiza Climatop (RSA, 2011).

No sólo Europa actúa en consecuencia, también Estados Unidos, donde el presidente Barack Obama presentó al Congreso un proyecto de ley que considera aplicar, desde 2020, aranceles diferenciados según las emisiones de carbono de los productos. El parlamento de Estados Unidos también analiza una ley que establece que los productos

de importación provenientes de países sin obligaciones de reducción de emisiones similares a las existentes en los Estados Unidos, deben comprar bonos compensatorios de reducción para poder entrar al mercado. El Parlamento Europeo estudia una norma de similar implicancia (Meza, 2011).

En Chile existen varios ejemplos de estimaciones y cálculos de la Huella de Carbono, como el de Aguas Andinas que por medio del método CAFCA (Carbon Footprint Calculator) obtuvo el cálculo de la Huella de Carbono del ciclo de vida del agua urbana (Berroeta, 2010). Forestal Arauco, junto con Fundación Chile, especialistas internacionales y la consultora independiente Aecom Environment, midió la huella del grupo Arauco para sus productos forestales en el año 2009 (CFG-MDL, 2010). Además el año 2008 el Ministerio de Agricultura midió la Huella de Carbono al sector forestal, el proyecto fue apoyado por las empresas Masisa, Mininco, Bosques Cautín y Demaihue, con el fin de neutralizar sus emisiones de GEI (CEPAL, 2009)

En la convocatoria 2008-2009 del programa de “Estudios para determinar la Huella de Carbono de productos agropecuarios de exportación”, la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), aprobó un proyecto del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), sede La Cruz, orientado a frutas, hortalizas y cereales, incluido su empaque y transporte al país de destino. En forma complementaria, la Asociación de Exportadores de Chile realizó estudios para medir la Huella de Carbono en manzanas, uvas de mesa y moras, esto en colaboración con ProChile y el Ministerio de Agricultura, a través de FIA. Actualmente la Universidad Santo Tomás y la exportadora Gesex, estiman la Huella de Carbono para uvas y manzanas de las regiones Metropolitana y O’Higgins (CEPAL, 2009).

El vino Nuevo Mundo de la viña De Martino fue el primer vino chileno en declarar sus emisiones y proclamarse carbono neutro (Meza, 2011). Iniciativa a la cual se sumaron las viñas Ventisquero, Santa Carolina, Cono Sur, Concha y Toro, entre otras, incentivadas por la implementación de proyectos del Programa de Sustentabilidad de la Industria del Vino en Chile por el Consorcio del Vino, el cual representa un conjunto de iniciativas o proyectos que apunta a instalar en la industria vitivinícola las bases para una mayor sustentabilidad (Vinnova, 2011; Concha y Toro, 2010). Vinnova y Tecnovid desarrollaron el Código Nacional de Sustentabilidad, que es el sistema de acreditación basado en el estándar propio de Vinnova por el cual las viñas que cumplan con dichos estándares podrán contar con una acreditación respaldada por los Consorcios del vino, por Wines of Chile y las Universidades apoyando el proyecto, Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Talca y la Universidad Técnica Federico Santa María (Vinnova, 2011).

La cámara Chileno Británica de Comercio lanzó, para sus empresas asociadas, un concurso para la medición y control de las emisiones de carbono. A esta iniciativa ya se han unido algunas empresas miembros como Shell, Xstrata Copper, The Hong Kong and Shanghai Banking Corporation (HSBC por su acrónimo en inglés), Unilever, PricewaterhouseCoopers, The Royal Bank of Scotland (RBS por su acrónimo en inglés), Seawind, ente otras (CEPAL, 2009)

La edición número 281 de la revista Capital, dedicada al medio ambiente, neutralizó la Huella de Carbono de aquella edición especial (Capital, 2010). Damco empresa de servicios de transporte y logística ofrecen a sus clientes calcular la Huella de Carbono del transporte aéreo o marítimo gracias a su calculadora disponible en su página web “myDamco” (Portalfruticola, 2011). Además es posible encontrar en la web herramientas de cálculo de la Huella de Carbono nacionales, como los son las calculadora de Carboneutral.cl (<http://www.carboneutral.cl/calculadora.php>).

En el año 2008 se publicó el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero elaborado por POCH Ambientales y Deuman S.A., considerando datos desde 1984 hasta 2006 en los sectores de energía, procesos industriales y uso de solventes, las emisiones de GEI aumentaron en un 317% el 2006, en comparación a 1984. Este incremento se debe al aumento de los proyectos energéticos en el país y a la mayor participación del sector energía, que aportó con un 49% de las emisiones totales del país en el 2006, cuyo valor fue de 68.572 Gg de CO<sub>2</sub>-e (SINIA, 2008).

Posterior al cálculo de la Huella de Carbono corresponde la validación y certificación, función realizada por algunas empresas, como Deloitte o Carbon Reduction Institute, que se encuentran habilitadas para esta función. La certificación permite acreditar una imagen de empresa o institución comprometida con el medio ambiente, además de permitir el acceso al mercado de los bonos de carbono (ICONTEC, 2006). Por este motivo son pocas las instituciones gubernamentales o sin fines de lucro que están dispuestas a reportar y calcular sus emisiones de CO<sub>2</sub>-e, en Chile un ejemplo de esto es la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) que calculó su Huella de Carbono apoyada por la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y Green Solutions (CONAMA, 2011).

Esta nueva tendencia de crecimiento apunta hacia la “Economía Ambiental” que se aboca a un balance justo entre “economía y ecología” en todos los programas de desarrollo, incluyendo el progreso agronómico y creando una amalgama entre el desarrollo económico y estrategias de conservación ambiental para avanzar hacia la sustentabilidad. Este nuevo paradigma económico presiona a la humanidad a cambiar de una economía basada en combustibles fósiles a una economía basada en recursos renovables y en el reciclaje de desechos (Sinha y Herat, 2009).

En esta perspectiva, y respecto al manejo de residuos orgánicos domiciliarios, existen dos tratamientos que han sido probados exitosamente y van en mira del desarrollo sustentable, los biodigestores para producir biogás y fertilizante orgánico (descomposición anaeróbica), y metodologías de compostaje y compostaje con lombrices para producir enmiendas orgánicas ricas en macronutrientes NPK (23% Nitrógeno, 1,55-2,25% Fósforo y 1,85-2,25% Potasio), micronutrientes, microbios benéficos para el suelo, enzimas y hormonas del crecimiento para plantas (Müller, 2007; Sinha y Herat, 2009).

Con estas prácticas se disminuyen las emisiones de GEI y las amenazas a la salud humana, también se ahorra valioso espacio en los vertederos o unidades de transferencia, junto con producir valiosos recursos (Sinha y Herat, 2009). La determinación del método más eficiente para el tratamiento va a depender del volumen

de los desechos orgánicos generados, disponibilidad de suelos, costos de la electricidad y el agua, costos de la labor requerida y los mercados del producto final, considerando estos factores se podrá decidir que tratamiento implementar y la manera de operar, centralizada de gran escala o descentralizada con técnicas caseras y comunitarias (Rouse, 2008). Un ejemplo fallido de compostaje centralizado se produjo en las industrias Excel de Bombay, India, donde esta práctica se llevó a cabo en escala comercial para sus plantas de Calcuta, Delhi y Mumbai. La gran cantidad de residuos tratados generó problemas con el manejo del compost, causando envenenamiento del suelo por metales, además de generar problemas de espacio por el compost generado (Excel, 1999).

Se comprobó que el compostaje de manera descentralizada y cercana a la fuente de emisión (hogares) es la mejor opción, debido a la reducción en los costos de transporte, ya que la manera centralizada requiere de camiones específicos de recolección para asumir el denso flujo de residuos domiciliarios producidos a escala municipal (Cofie y Bradford, 2010; Sinha y Herat, 2009). La esquemática de los sistemas descentralizados son más flexibles y se adaptan mejor a cambios externos (Drescher y Zurbrügg, 2004), en contraste, las técnicas centralizadas necesitan maquinaria técnica, que usualmente repercute en un gasto mayor, como lo son las mantenciones y los gastos operacionales (Rothenberg *et al.*, 2006).

Usar el humus, producto del compostaje, como una mejora para el suelo, disminuye el uso de fertilizantes químicos, ayuda a reducir la erosión y mejora su estructura para su uso agrícola (Rouse *et al.*, 2008). Otra ventaja que posee sobre los agroquímicos, es que al realizar enmiendas al suelo, el volumen de humus aplicado va en disminución, por lo que en el mediano plazo los suelos no necesitan más enmiendas para que mantengan un nivel óptimo de nutrientes para los cultivos (Sinha y Herat, 2009).

El compostaje utilizando lombrices (vermicultura o lombricultura) al ser un método de bajo costo funciona con éxito en sectores de bajos recursos y densamente poblado como en Indonesia, donde gracias al compostaje se incentivo la utilización de huertas urbanas, se redujo la presión sobre los vertederos urbanos y el costo del transporte de RSD decayó para el municipio (Hoornweg *et al.*, 1999).

La estructura organizacional de la comunidad y la cooperación con las autoridades es fundamental para que proyectos de compostaje funcionen en el mediano y largo plazo. Un ejemplo de esta cooperación se produjo en Cuba, donde tras el colapso Soviético hubo una crisis de alimentos, forzando a este país a probar nuevas prácticas agronómicas. Hoy en día Cuba es un modelo de cómo los desechos orgánicos pueden ser compostados y utilizados exitosamente en agricultura urbana.

Al analizar el éxito de Cuba se reveló que el factor más importante fue la estructura organizacional, la que incluye una dirección y manejo central fuerte por parte del gobierno, junto con la producción y marketing descentralizado por parte de la población (Koont, 2008). Desde la perspectiva de un hogar común, el compost podría mejorar las condiciones para una huerta en el patio trasero y para la agricultura urbana, generando un ahorro en la alimentación, y nuevas ocupaciones que podrían transformarse en

ingresos extras para el hogar con la venta de humus y alimentos producidos localmente (Rouse, 2008).

El costo de la producción de humus por medio de la lombricultura o vermicompostaje es insignificante comparado con los fertilizantes químicos. Mientras el vermicompost se produce de los desechos de la comunidad o agrícolas, incrementándose su generación y disponibilidad, los fertilizantes químicos se obtienen de yacimientos no renovables, y su extracción, traslado y procesamiento demanda altas cantidades de energía en forma de electricidad y petróleo, el cual es costoso y se agota en el mundo. El vermicompost lo pueden producir pequeños y grandes propietarios, en cambio los fertilizantes químicos son producidos en industrias significando un gran costo económico y ambiental (Sinha y Herat, 2009).

Utilizar los desechos orgánicos como materia prima para generar un producto de valor ambiental, abarata los costos operacionales, principal motivación para municipios de bajos recursos, este es el caso de la Dirección de Gestión Ambiental (DIGA) de la Ilustre Municipalidad de La Pintana; también mejorar la calidad ambiental, introduce consideraciones ambientales en sectores productivos y genera cambios en los hábitos y conductas humanas en cuanto a la protección ambiental, con el fin de mejorar la salud y la calidad de vida de las personas (DIGA, 2010). Es de suma importancia que los RSD deben ser separados en su origen para disminuir el riesgo de contaminación, mejorar la calidad del producto final y garantizar condiciones de trabajo seguras para el personal a cargo de manejar los residuos (Hoornweg *et al.* 1999).

La Ilustre Municipalidad de La Pintana incorporó mejoras en su servicio de recolección de basura, concientizando a su población sobre el reciclaje y la separación en el origen de los residuos, lo que se ha traducido en una disminución en la disposición final y en los costos de operación (Terra, 2010). Además la comuna de La Pintana cuenta con un gran número de recolectores independientes que se encargan de retirar todo el material reciclable de la basura antes de que pasen los camiones recolectores de la DIGA (DIGA, 2010).

La DIGA pretende implementar dentro de sus iniciativas, el cálculo de la Huella de Carbono para conocer las emisiones y remociones de carbono que se producen en la organización, con el fin de tomar medidas adecuadas para lograr el mejoramiento continuo. Esto responde a la misión de la institución, que busca promover el desarrollo sostenible en el territorio de la comuna, de manera de aportar soluciones locales a la problemática ambiental global. Además la I. Municipalidad de La Pintana trabaja con el programa “Agenda Local 21”, creada por la ONU en el marco de la Cumbre de la Tierra, que promueve el desarrollo sustentable a escala global, nacional y local, gracias a una serie de medidas técnicas y políticas que tienen por objetivo mitigar el impacto negativo que trae la presencia humana sobre el medioambiente (DIGA, 2010).

La DIGA de la I. Municipalidad de La Pintana busca estimar su Huella de Carbono, y específicamente para el área de manejo de los residuos orgánicos que procesan por medio del compostaje y lombricultura, y así disminuir los residuos destinados a la estación de transferencia, además de promover el desarrollo sostenible en la comuna

aportando soluciones locales a la problemática global acercando a la DIGA al paradigma de la “Economía Ambiental” (DIGA, 2010).

La estimación de la Huella de Carbono de la DIGA fue abordada dividiendo sus emisiones en cuatro áreas de interés para la DIGA, estas son: Administrativa, RSD, producción de Biodiesel, y Compostaje y Lombricultura. El presente estudio se limita a estimar la Huella de Carbono del área de Compostaje y Lombricultura de la institución.

### **1.1. Objetivo General**

Estimar la Huella de Carbono del manejo de los residuos domiciliarios orgánicos y su posterior proceso de compostaje y lombricultura por parte de la DIGA para el año 2010.

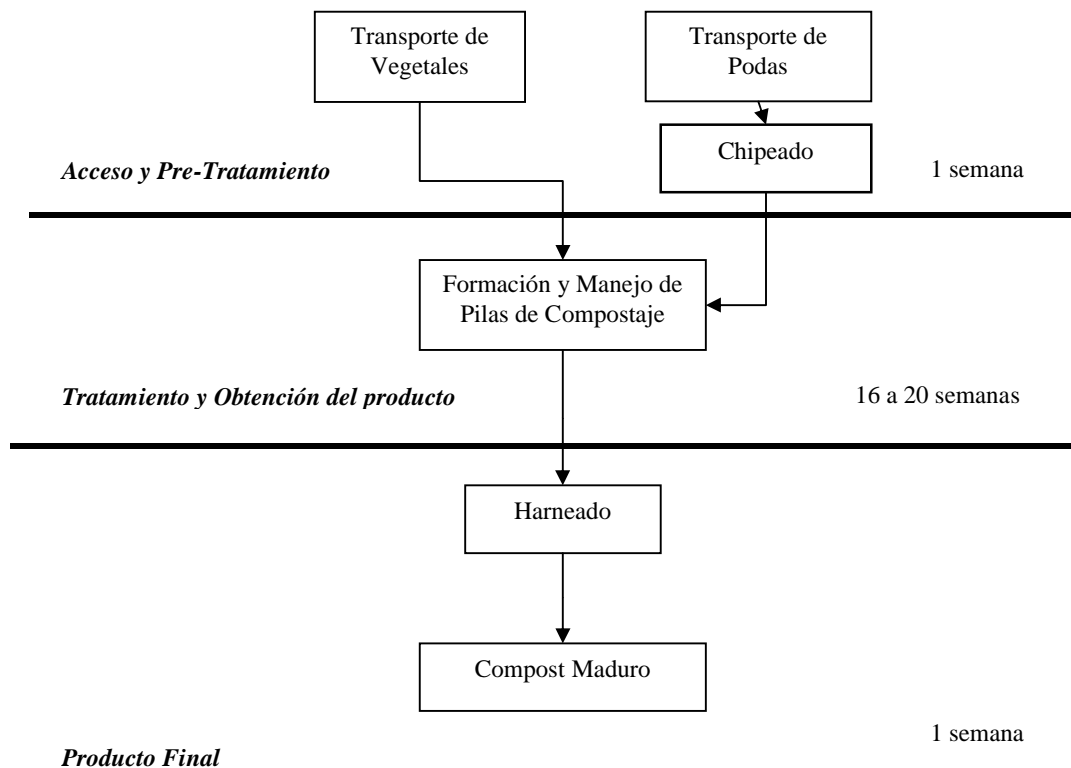
### **1.2. Objetivos Específicos**

1. Identificar aspectos y actividades que declara la DIGA en su proceso de Compostaje y Lombricultura, que son críticos en la reducción de la huella de carbono.
2. Calcular la Huella de Carbono del año 2010, y considerarlo como el año base para futuras mediciones de la DIGA para el proceso de Compostaje y Lombricultura.
3. Comparar el aporte de emisiones de GEI entre el manejo de los residuos orgánicos en un vertedero, versus, el manejo de los residuos orgánicos en una pila de compostaje.

## 2. MATERIALES Y METODO

### 2.1. Caracterización del Sitio de Estudio

La estimación se realizó en las instalaciones de Compostaje y Lombricultura de la DIGA de la I. Municipalidad de La Pintana. En este lugar se procesa, aproximadamente, el 30% de los residuos orgánicos generados por la comuna (DIGA, 2010), correspondientes al sector Santo Tomás de la Comuna de La Pintana. Este proceso se divide en: 1) Acceso y Pre-tratamiento, donde se recolectan los residuos vegetales generados en los hogares del sector de Santo Tomás, además de los residuos generados por las ferias libres y los restos de podas de los parques y calles, los que se procesan mediante un chipeado, para disminuir el tamaño de los restos de poda, antes de ser tratados. 2) Tratamiento y obtención del producto, donde se forman las pilas de compostaje y el personal de la DIGA voltea y riega a diario para evitar malos olores y disminuir la temperatura de las pilas. 3) Producto final, donde el humus es harneado por el personal y transportado a los usuarios para su utilización (Figura 2).



**Figura 2.** Resumen de las actividades relacionadas con el compostaje y lombricultura. Fuente DIGA, 2010.



## **2.2. Materiales**

Las herramientas que se utilizaron para el desarrollo del estudio fueron las siguientes:

- Factores de Emisión del DEFRA, 2010.
- Norma ISO 14.064-1, 2006.
- Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, 2005.

El cálculo de la Huella de Carbono del área de estudio se realizó basándose, principalmente, en la Norma técnica ISO 14.064-1:2006 (ICONTEC, 2006) que se basa en el Protocolo de GEI, del año 2005 (ICONTEC, 2006). Se utilizaron estas normas y protocolos debido a que poseen un enfoque corporativo en su metodología y ésta va enfocada hacia las instituciones, empresas o departamentos del sector público (WRI y WBCSD, 2005). La norma ISO 14.064 dicta los principios y requisitos para determinar los límites de las emisiones de GEI y permite la cuantificación de las emisiones y remociones de GEI de la institución (ICONTEC, 2006).

## **2.3. Método**

Se establecieron los límites de la institución para no cometer errores de doble contabilidad de las emisiones o contabilizar emisiones que se encuentran fuera de los alcances de la entidad interesada en su Huella de Carbono (ICONTEC, 2006).

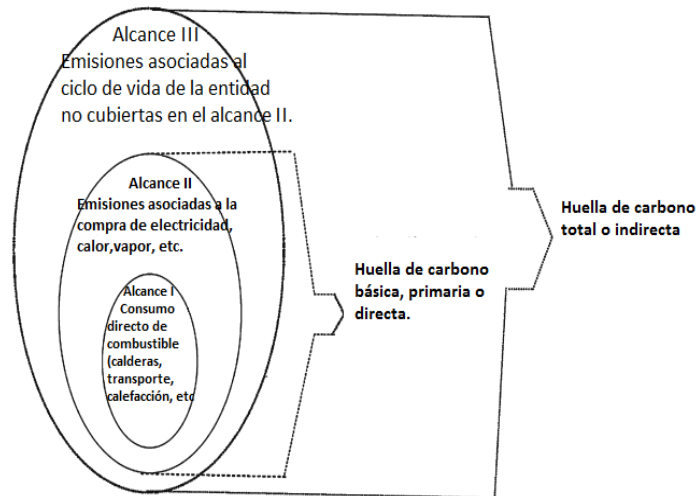
Para establecer los límites de la institución y sus emisiones de GEI se cuantificaron todos los bienes y servicios que presta y/o solicita la DIGA relacionados al proceso de compostaje y lombricultura, para lo cual se requirió esta información a su, Director por medio de entrevistas, visitas en terreno y correos electrónicos.

### **2.3.1. Límites de la Organización**

Según el Protocolo de GEI el límite organizacional se puede determinar desde dos enfoques, participación accionaria y de control. La participación accionaria corresponde la empresa o institución realiza su reporte de GEI de manera proporcional a las acciones que posee de la operación, por lo que los beneficios y riesgos son directamente proporcionales al porcentaje de propiedad accionaria. El enfoque de control es cuando una empresa o institución es responsable de la totalidad de emisiones de GEI atribuibles a las operaciones sobre la cual esta posea control. Este enfoque de control financiero o operacional, en la mayoría de los casos no afecta el resultado elegir uno u otro enfoque (WRI y WBCSD, 2005), pero hay excepciones a esta generalidad donde se debe escoger la mejor manera de reportar su huella y realizar la contabilidad de sus emisiones de GEI para satisfacer los estándares de los programas de reporte o comercialización o de certificados de emisiones.

### 2.3.2. Límites Operativos

Los límites operativos, corresponden al “alcance” de las operaciones bajo responsabilidad de la institución (Figura 3). Este reconocimiento es crucial para separar las emisiones provenientes de la empresa o institución, y no cometer un doble conteo o cruzar los alcances. Por esta razón es importante delimitar correctamente la empresa o institución en sus límites organizacionales, y contabilizar las emisiones de GEI que realmente le pertenecen. Esto hace posible utilizar los alcances en programas GEI en los que la doble contabilidad es un asunto importante (WRI y WBCSD, 2005).



**Figura 3.** Alcances operativos dentro de la organización. (WRI y WBCSD, 2005; Pandey *et al.*, 2010).

Emisiones directas de GEI, o Alcance I, apuntan a identificar y cuantificar las emisiones de GEI provenientes de las instalaciones dentro de los límites de la organización, como el consumo de combustibles, calefactores y el transporte gestionado directamente por la institución (ICONTEC, 2006).

Emisiones indirectas, o Alcance II, son todas aquellas emisiones que son generadas en la compra, transmisión o distribución de energía de la institución (IPCC, 2006, WRI y WBCSD, 2005; Pandey *et al.*, 2010).

Otras emisiones indirectas, o Alcance III, son las que se generan por actividades de la empresa, pero en fuentes que la empresa no controla ni posee (WRI y WBCSD, 2005), cubre todas las emisiones restantes dentro de los límites propuestos por la institución o empresa (Pandey *et al.*, 2010). Por ejemplo, en el desplazamiento diario de sus empleados y viajes de negocio, las emisiones provenientes de residuos generados por la organización, pero gestionado por otra institución, las emisiones provenientes de la producción de materiales primarios o materias primas compradas y el uso de productos y servicios vendidos (ICONTEC, 2010). Debido a lo extenso del alcance se necesita tener claridad sobre que emisiones la institución tiene responsabilidad y control, y sobre cuales están fuera de su responsabilidad para la identificación de las otras emisiones indirectas (Lenzen, 2001).

Se analizaron todas las fuentes de emisión relacionadas al proceso de compostaje y vermicompostaje que se realiza en la DIGA y se clasificaron de acuerdo a los Alcances propuestos.

### 2.3.3. Estimación de la Huella de Carbono

Una vez determinados los límites organizacionales y operacionales, y las distintas fuentes emisoras de GEI involucradas en el proceso de vermicompostaje, se solicitó información de consumo sobre las instalaciones de la DIGA sujetas al estudio, se estableció el año 2010 como año base. Posteriormente se estimó las emisiones de GEI (como CO<sub>2</sub>-e) de cada una de las fuentes dentro de los límites establecidos. La información se revisó y categorizó según los alcances involucrados en los límites operativos del proceso de vermicompostaje, desestimando la información redundante o innecesaria para realizar el cálculo según las fórmulas y factores de emisión propuestos por el DEFRA.

Para esta categorización se utilizó la metodología basada en el uso de factores de emisión de acuerdo a la fórmula de nivel 1, o por defecto que proporciona un factor de emisión sin especificidad geográfica. Las fórmulas nivel 2 son aquellas que poseen factores de emisión específicos para el país donde se realiza el estudio, mientras las fórmulas de nivel 3 son aquellas donde el factor de emisión es específico para la localidad (IPCC, 2006). Los factores de emisión corresponden a los valores que relacionan los datos de la actividad con sus emisiones o remociones de GEI (BSI, 2008).

Después de obtener los valores entregados por la DIGA con sus respectivos factores de emisión, se realizó el cálculo de las emisiones del proceso de compostaje utilizando los factores de emisión propuestos por la DEFRA (2010) con la siguiente ecuación.

$$E = C * FE$$

**Ecuación 1:** Fórmula general nivel 1

Donde:

*E* : Emisiones, corresponde al total de emisiones [kg CO<sub>2</sub>-e].

*C* : Consumo, cantidad de material consumido en unidades correspondientes al factor de emisión [un].

*FE* : Factor de emisión, corresponde a la tasa de emisión de GEI por unidad multiplicado por el PCG específico a ese GEI [kg CO<sub>2</sub>-e un<sup>-1</sup>].

Se utilizó la fórmula de nivel 1 debido a que los factores de emisión disponibles para el compostaje son generales (Ecuación 1; IPCC, 2006; López, 2008).

Se revisaron fuentes pertinentes como “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero” (IPCC, 2006), los factores propuestos por el Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA, 2010) y por el World Business Council for Sustainable Development (WRI y WBCSD, 2005).

Los factores de emisión que se utilizaron en este estudio son los propuestos por el DEFRA, para darle coherencia al cálculo de la Huella de Carbono. Se utilizaron estos factores debido a que en su Anexo 9 se declaran factores de emisión específicos para el compostaje, los que incorporan factores como la fracción de carbono degradable, el metano liberado y la compensación por compostar los residuos orgánicos. Una particularidad de los factores de emisión del DEFRA es que incluyen el GEI emitido en el proceso y su respectivo PCG, para entregar los resultados en unidades de CO<sub>2</sub>-e. Es decir, incluye la ecuación propuesta por el IPCC (Ecuación 2) para presentar los resultados en Carbono Equivalente (IPCC, 2006):

$$DCET = CO_2 * FE + (CH_4 * FE * PCG) + (N_2O * FE * PCG)$$

**Ecuación 2:** Fórmula general para transformar los GEI utilizados en este estudio en CO<sub>2</sub>-e

Donde:

*DCET* : Dióxido de Carbono equivalente total [kg CO<sub>2</sub>-e].

*FE* : Factor de Emisión específico para el GEI [kg GEI<sup>-1</sup>].

*PCG* : Potencial de Calentamiento Global, o GWP por sus siglas en inglés, específico para el GEI (Cuadro 1) [CO<sub>2</sub>-e].

Los GEI poseen un PCG, que corresponde al potencial de calentamiento en la atmósfera del elemento en 100-años (Cuadro 1). Estudio realizado por el sector público del British Columbia. Estos PCG están listados en el “Carbon Neutral Government Regulation” y son los valores aceptados por el IPCC en el reporte de 1995 “Second Assessment Report” y patrocinadas por Environment Canada (2009) y British Columbia (2010), su listado completo se encuentra en el apéndice B.

**Cuadro 1.** Potenciales de Calentamiento Global

GEI	Fórmula Química	100-años PCG
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	21
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	310

**Fuente.** Environment Canada, 2009; y British Columbia, 2010.

### 2.3.4. Tratamiento Biológico

En el tratamiento biológico de los desechos orgánicos, las emisiones de CO<sub>2</sub> son consideradas neutras, pues las emisiones de CO<sub>2</sub> son de origen biogénico por lo que no son contabilizadas en el total de emisiones de GEI, sino que son declaradas como elemento informativo (IPCC, 2006; Pandey *et al.*, 2010). Además, el tratamiento mecánico y biológico aplicado al compost por la DIGA disminuye en hasta un 95% las emisiones de metano en el proceso de compostaje, por lo que podrían no contabilizarse (IPCC, 2006). Se calcularon las emisiones del compost pero sólo como elemento informativo, sin influir en el resultado de la Huella de Carbono.

La masa total de desechos se obtuvo de los registros entregados por la DIGA, se utilizó el tonelaje total de residuos del programa separación en origen, para residuos

domiciliarios, del año 2010, también se contabilizaron los residuos de las ferias libres en el mismo año.

Se realizó una caracterización de los residuos para conocer la composición aproximada y se utilizaron los factores de emisión específicos a los desechos, la caracterización se efectuó considerando la procedencia de los residuos y su tonelaje. Los residuos orgánicos procesados por la DIGA provienen en su mayoría, de las ferias libres, separación en el origen por los vecinos (restos de comida) y de podas municipales (restos de plantas y jardines), por lo que las proporciones para la caracterización, se hicieron de acuerdo a la masa que declaró la DIGA durante el 2010.

Para el cálculo de los residuos orgánicos se utilizaron los factores de emisión correspondientes a los desechos húmedos debido al manejo que se les aplica a las pilas de compostaje (Ecuación 3):

$$E = BT * FE$$

**Ecuación 3:** Fórmula utilizada para el tratamiento biológico.

Donde:

*E* : Emisiones totales [kg CO<sub>2</sub>-e].

*BT* : Basura tratada el año 2010 [ton].

*FE* : Factor de emisión específico al tipo de residuo tratado (Cuadro 2) [kg CO<sub>2</sub>-e\*ton<sup>-1</sup>].

**Cuadro 2.** Factores de emisión utilizados en el tratamiento biológico.

Consumos	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> -e	Unidad	Fuente
Restos de comida	30	kgCO <sub>2</sub> -e ton <sup>-1</sup>	DEFRA, 2010
Restos de plantas y jardinería	57	kgCO <sub>2</sub> -e ton <sup>-1</sup>	DEFRA, 2010

### 2.3.5. Comparación de Compost vs. Vertedero

Para calcular las emisiones de los desechos orgánicos tratados por la DIGA se considero el factor de emisión correspondiente a la descomposición en un vertedero de material húmedo propuesto por el DEFRA (2010; Cuadro 3). Se empleó la misma ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones en el tratamiento biológico (Ecuación 3).

**Cuadro 3.** Factores de emisión utilizados para el acopio en vertederos.

Consumos	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> -e	Unidad	Fuente
Restos de comida	210	kgCO <sub>2</sub> -e ton <sup>-1</sup>	DEFRA, 2010
Restos de plantas y jardinería	365	kgCO <sub>2</sub> -e ton <sup>-1</sup>	DEFRA, 2010

### 2.3.6. Combustión Estacionaria

La chipeadora, empleada para disminuir el tamaño de los restos de poda, utiliza como combustible el biodiesel generado por la DIGA. Al tratarse de un combustible de origen

vegetal sus emisiones de CO<sub>2</sub> por combustión son consideradas neutras, emisiones biogénicas, por lo que se reportarán como elemento informativo.

El factor de emisión de la chipeadora (consumo de biodiesel) se seleccionó a partir de los valores propuestos por el DEFRA (2010) para el Biodiesel, correspondiente a 0,0268 kgCO<sub>2</sub>-e L<sup>-1</sup>. (Ecuación 4).

$$E = BD * FE$$

**Ecuación 4:** Fórmula utilizada para la combustión estacionaria.

Donde:

*E* : Emisiones totales [kg CO<sub>2</sub>-e].

*BD* : Litros de biodiesel utilizados el año 2010 [L].

*FE* : Factor de emisión específico del biodiesel [kg CO<sub>2</sub>-e L<sup>-1</sup>].

### 2.3.7. Combustión Móvil

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, COVDM (Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano), el material particulado y las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>. Se utilizó el factor de emisión propuesto por el DEFRA (2010) para el Diesel correspondiente a 2,672 kg CO<sub>2</sub>-e L<sup>-1</sup>.

Se utilizaron los litros de combustible declarados por la DIGA para el año 2010 de sus camiones.

$$E = D * FE$$

**Ecuación 5:** Fórmula utilizada para la combustión móvil.

Donde:

*E* : Emisiones totales [kg CO<sub>2</sub>-e].

*D* : Litros de diesel utilizados el año 2010 [L].

*FE* : Factor de emisión específico del diesel [kg CO<sub>2</sub>-e L<sup>-1</sup>].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.1. Límites de la Organización

Debido a que la DIGA es la institución mandante sobre el proceso de recolección de residuos vegetales y desechos orgánicos, el enfoque del estudio es de control operacional sobre los GEI emanados en el proceso. Las emisiones dentro del estudio son las provenientes de los camiones recolectores del sector Santo Tomás en la comuna de La Pintana, las emisiones de la chipeadora que procesa los restos vegetales de podas y las emisiones provenientes de las pilas de compostaje y lombricultura.

#### 3.1.2. Límites Operativos

Las emisiones de los GEI para el proceso se clasificaron en emisiones directas (alcance 1) y en otras emisiones indirectas (alcance 3). El cuadro 4 resume el tipo de emisión de acuerdo a su origen.

**Cuadro 4.** Clasificación del límite operativo.

Alcance	Tipo de emisión	Consumo
1	Directa	Diesel (L)
1	Directa	Biodiesel (L)
3	Otras Emisiones Indirectas	Residuos orgánicos (ton)

- Alcance I corresponde a las emisiones producidas por la combustión móvil de los camiones recolectores y a la combustión estacionaria de la chipeadora. Su tipo de emisión es Directa debido a que los camiones involucrados, junto con la chipeadora son de propiedad de la DIGA.
- Alcance II no aplica para este estudio.
- Alcance III corresponden a las emisiones producidas por el tratamiento biológico de los desechos orgánicos en las pilas de compostaje, cae dentro de Otras Emisiones Indirectas debido a que en este caso son emisiones asociadas al ciclo de descomposición, y por esto no pueden ser comparadas con emisiones provenientes de los alcances 1 y 2.

#### 3.1.3. Tratamiento Biológico

Los resultados de la caracterización de los residuos orgánicos, a partir de los documentos entregados por la DIGA para el año 2010, arrojó que del total de residuos vegetales (5.527,773 ton), 69% correspondían a restos de frutas y verduras (3.814,2 ton) y el 31% restante a restos de plantas y jardinería (1.713,6 ton).

Las emisiones registradas por residuos de frutas y verduras, según la ecuación 3, es de 114.424,9 kg CO<sub>2</sub>-e, mientras que las emisiones de los restos de jardinería son de 97.675,7 kg CO<sub>2</sub>-e. Por lo que para el proceso de compostaje realizado en la DIGA se obtiene un total de 212.100,7 kg CO<sub>2</sub>-e. Al tratarse de emisiones biogénicas son consideradas neutras y no contabilizan al total de la Huella de Carbono, sólo como elemento informativo.

#### **3.1.4. Comparación de Compost vs. Vertedero**

Para la comparación se asumió que el total de los desechos orgánicos procesados por la DIGA van a una estación de transferencia en vez de compostarse. Se utilizó la Ecuación 3 y los factores de emisión del Cuadro 3 para calcular sus emisiones, donde los restos de comida emiten 800.974,3 kg CO<sub>2</sub>-e y los restos de jardinería emiten 625.467,5 kg CO<sub>2</sub>-e, lo que da un total de 1.426.441,8 kg CO<sub>2</sub>-e.

La variable crítica de la diferencia es el manejo de los desechos. Al compostar y realizar volteos para oxigenar, y riegos para bajar la temperatura de las pilas de compostaje, se le aplica un tratamiento mecánico y biológico lo que disminuye en un 95% las emisiones de metano (IPCC, 2006). En un vertedero, la combustión móvil proveniente de la pala mecánica para acopiar y distribuir los desechos en el vertedero aumenta las emisiones de este método (Knipe, 2007). Estas diferencias se ven reflejadas en el factor de emisión, que para el vertedero es aproximadamente siete veces mayor al factor del compostaje (DEFRA, 2010).

Al comparar los resultados, los desechos compostados por la DIGA producen 38,4 kg de CO<sub>2</sub>-e por tonelada de desecho tratado (13%), los desechos destinados al vertedero emiten 258,1 kg de CO<sub>2</sub>-e por tonelada de desecho tratado (87%). Similar a los resultados del estudio de Knipe (2007), donde se compararon las emisiones de los desechos domiciliarios tratados localmente (compostaje), versus, los desechos domiciliarios depositados en un vertedero (tratamiento centralizado). Las emisiones asociadas al tratamiento centralizado son de 50 kg CO<sub>2</sub>-e por tonelada de desecho (90,9%), contra 5 kg CO<sub>2</sub>-e por tonelada de desecho (9,1%) del tratamiento local (Apéndice B).

Los porcentajes obtenidos son similares, a pesar que existen diferencias entre las variables consideradas en los estudios, debido a que Knipe (2007) consideró las emisiones provenientes de la construcción del vertedero, de los vehículos recolectores y de las composteras utilizadas para el tratamiento local de los desechos. También se observó que en el estudio de Knipe (2007) las emisiones provenientes de la construcción de estos insumos se amortiguaban debido a que considera el reciclaje de los materiales después de su vida útil.

Se observó que la diferencia de emisiones entre un tratamiento centralizado versus un tratamiento local son los costos operacionales del día a día, donde en el tratamiento centralizado tiene mayores gastos de personal y de combustible (Knipe, 2007; Koont, 2008).



### 3.1.5. Combustión

Las emisiones producidas por la combustión estacionaria de 2.131 L de biodiesel por la chipeadora en el año 2010, son de 57,1 kg CO<sub>2</sub>e según la ecuación 4. Debido a que las emisiones provienen de la combustión de biomasa, corresponden a emisiones biogénicas que no serán contabilizadas en la Huella de Carbono final.

En el caso de que la chipeadora utilizara diesel para su funcionamiento las emisiones serían mayores y no biogénicas. Si utilizamos el factor de emisión para la combustión del diesel propuesto por el DEFRA (2010; Cuadro 5), y asumimos que la chipeadora utilizó los mismos 2.131 L en el año 2010, obtenemos que la chipeadora emitiría 5.694 kg CO<sub>2</sub>e siguiendo la ecuación 4.

Las emisiones de GEI producidas por la combustión móvil de 19.216 L de diesel debido al movimiento de los camiones recolectores durante el año 2010 fue de 51.345,2 kg CO<sub>2</sub>e.

### 3.1.6. Consideraciones Finales

La Huella de Carbono de la DIGA para el año base (2010), del proceso de compostaje y lombricultura fue de 51.345,2 kg de CO<sub>2</sub>e. Todas las emisiones correspondientes al proceso de compostaje y lombricultura contabilizadas fueron emisiones directas o de alcance 1, por lo que la Huella de Carbono básica es la misma que la Huella de Carbono completa para este estudio.

Además el proceso de compostaje y lombricultura emitió en el año 2010, 212.157,8 kg de CO<sub>2</sub>e biogénico, del cual 57,1 kg CO<sub>2</sub>e corresponden a emisiones directas provenientes de la combustión de biocombustibles, y el resto corresponde a lo emitido por el compostaje. Ambas emisiones se contabilizaron de manera neutral y esta cifra corresponde a un elemento informativo para la DIGA.

Gracias a la gestión de la DIGA y al proceso de los residuos orgánicos, la DIGA deja de emitir 1.426.441,8 kg CO<sub>2</sub>e en el año 2010, correspondiente a lo emitido por los residuos orgánicos en el vertedero, aunque esta reducción es teórica debido a que se excluyen del cálculo las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de procesos químicos o físicos a partir de la biomasa debido a que de todas maneras esas emisiones serán reintegradas al sistema natural (WRI y WBCSD, 2005). Donde sí se puede demostrar una reducción de las emisiones de GEI es en el uso de biodiesel, el cual deja de emitir 5.694 kg CO<sub>2</sub>e gracias a la buena gestión y medidas implementadas por la DIGA.

En el Cuadro 5 se muestran las emisiones y reducciones de la DIGA para el proceso de compostaje y lombricultura del año 2010.

**Cuadro 5.** Resumen de las emisiones y reducciones de la DIGA.

Huella de Carbono	Emisiones neutras	Reducciones
51.345,2 kg CO <sub>2</sub> -e	212.157,8 kg CO <sub>2</sub> -e	5.694 kg CO <sub>2</sub> -e

Respecto a la manera de calcular la Huella de Carbono, aún no existe una metodología oficial para obtener las fórmulas y los factores de emisión a utilizar en un reporte de GEI. Actualmente es el IPCC (2006) el que propone crear factores de emisión propios para hacer el cálculo de la Huella de Carbono más representativo para un país y sus localidades en específico.

Esto ha dado paso a que exista mucha diferencia entre distintas metodologías aceptadas; por ejemplo, un estudio realizado por el sitio [www.ecobusinesslinks.com](http://www.ecobusinesslinks.com) testeó 30 calculadoras que miden la Huella de Carbono de los vuelos aéreos, propuestas por las empresas que transan emisiones. Los resultados obtenidos para un vuelo entre Nueva York y Los Ángeles, varían desde un mínimo de 840 kg de CO<sub>2</sub>-e hasta 4.960 kg de CO<sub>2</sub>-e, siendo los resultados más bajos aquellos que la calculadora no contabilizan los índices de forzamiento radiativo, que es un multiplicador numérico utilizado para contabilizar los diferentes contaminantes emitidos en un vuelo. Sirve como un índice de la importancia de ese factor como posible mecanismo de cambio climático (IPCC, 1999).

Por otra parte, la revista británica de consumidores “Which?” probó las calculadoras de emisiones disponibles en 13 sitios webs ingleses, enfocados a la compensación de emisiones relacionadas a las actividades cotidianas de las personas, en el año 2008. El ejercicio consistió en medir las emisiones de una pareja que vivía en un departamento de dos habitaciones en Londres Oeste, gastaba 358.500 pesos chilenos anuales en bencina y 215.100 pesos chilenos en energía, manejaban 12.874 km en un Ford Focus y cada uno viajaba, desde Londres a Barcelona una vez al año en avión. Los resultados obtenidos fueron muy diferentes entre sí:

Carbon Footprint = 1,15 ton  
 The Carbon Neutral Company = 7,1 ton  
 ActOnCO<sub>2</sub> = 4,31 ton (CEPAL, 2009).

Lo mismo pasa con el precio de las toneladas de CO<sub>2</sub> en el mercado, existen diferencias explicadas por la naturaleza de los proyectos de reducción involucrados, como por las estrategias de las empresas a la hora de competir por los clientes. Por lo que el sistema se puede manipular para favorecer los intereses de las empresas o instituciones en busca de su medición de la huella hasta que la ISO 14.067 entre en vigencia.

### **3.1.7. Recomendaciones**

La comuna de La Pintana tiene posibilidades para mejorar aún más su gestión medioambiental, gracias al nivel de educación ambiental de los vecinos y a los muchos recolectores independientes de materiales reciclables en la comuna; hoy es posible compostar los residuos orgánicos gracias a la separación en el origen de los residuos, reduciendo el volumen de basura transportada por los camiones. Es importante el aporte para disminuir la Huella de Carbono que genera el reciclaje; si la DIGA pudiese formar alianza con los recolectores y gestionar el reciclaje de la comuna, podría tener

importantes reducciones en las emisiones de GEI debido a que los factores de emisión para el reciclaje generalmente son negativos.

Respecto al cálculo de la Huella de Carbono, los registros de combustible utilizado y las toneladas de basura tratadas para el año 2010 entregados por la DIGA para este estudio no eran del todo completos en la trazabilidad de sus datos, muchos archivos contenían información redundante y desordenada, lo que dificultó el cálculo debido a la probabilidad de realizar un doble conteo de datos. Para evitar este problema se recomienda en lo sucesivo registrar las actividades de acuerdo al alcance de sus emisiones (emisiones directas, indirectas y otras emisiones indirectas).

Para los desechos orgánicos que serán compostados, se recomienda caracterizarlos de acuerdo a lo propuesto por cualquier organismo que genere factores de emisión. Organismos como el DEFRA, que en su anexo 9 menciona la caracterización de los desechos y sus respectivos factores de emisión, obteniendo un cálculo con registros de respaldo y apegado a los estándares internacionales. Esta recomendación se debe a que la caracterización entregada por la DIGA de los residuos domiciliarios contiene el porcentaje de material orgánico, pero éste no está caracterizado. Es necesario caracterizar la fracción orgánica para un futuro cálculo debido a que las fórmulas de material orgánico consideran la fracción de carbono orgánico degradable para cada desecho orgánico en específico. Además sería útil para la institución seguir la metodología propuesta por el Protocolo de GEI para el registro de datos y actividades, o seguir las guías de registro disponibles en los anexos de los distintos capítulos del documento “2006 IPCC Guidelines for National GreenHouse Gas Inventories”.

Este estudio utilizó los factores de emisión correspondientes para el año 2010 y los valores reales de consumo de la DIGA, pero no tendría validez si la DIGA busca la acreditación ante una futura auditoria de certificación de la Huella de Carbono ante organismos calificados, esto es porque al proponer el estudio la DIGA decide dividir el cálculo de la institución, contradiciendo lo estipulado por el IPCC (2006) y la ISO 14.064 donde mencionan que las divisiones en el cálculo producen doble conteo de emisiones en la mayoría de los casos, debido a que al dividir el cálculo se puede contabilizar por partes separadas emisiones provenientes de la misma fuente. Aún así el estudio es una oportunidad de mejora en la gestión ambiental de la DIGA para un futuro cálculo de la Huella de Carbono que considere el balance global de la institución y que se pueda auditar. Además la DIGA necesita los respaldos necesarios para validar la información entregada como institución, tales como: boletas, facturas, cuentas o algún documento de registro que acredite los consumos y permita verificar los datos entregados, como información específica de los residuos generados y su caracterización, o como las hojas de reporte entregadas por las guías de inventarios nacionales del IPCC, para confirmar dicha información. Debido a que el Protocolo de GEI menciona que todo lo declarado por la institución que no tenga documentación de soporte disponible, es información que no podrá ser verificada. Se sugiere incorporar en este aspecto el enfoque ISO al proceso de gestión analizado (registro, medios de verificación, auditoria y acciones correctivas que aseguren la coherencia del inventario de GEI para su futuro uso).

Respecto a la situación actual del humus producido por la DIGA, éste es incorporado a las áreas verdes del municipio, pero podría ser un aporte al financiamiento del combustible utilizado en la recolección. De acuerdo a la Ley 18.695 (Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades), dice en su artículo 11 "Las Municipalidades podrán desarrollar actividades empresariales o participar en ellas sólo si una ley de quórum calificado las autoriza", esto quiere decir que no pueden tener lucro por algo que desarrollen o produzcan; no obstante el tema se podría plantear como un servicio hacia la comunidad que puede tener un costo fijado en la Ordenanza de Cobro de Derechos Municipales, y esto porque el artículo 5 letra e) establece que se pueden prestar servicios, por lo que la I. Municipalidad podría vender los excedentes del humus generado, calculando el costo total de su producción y vendiéndolo al mismo precio que significa producirlo, ayudando a mermar los costos del proceso de recolección.

El siguiente paso en esta iniciativa podría considerar que el Municipio, a través de la DIGA, genere composteras públicas en distintos puntos de la comuna para así descentralizar el manejo del compost, y de los residuos, disminuyendo los costos operacionales del tratamiento de los residuos orgánicos. Esto a su vez disminuiría considerablemente las emisiones, pues la mayor cantidad de CO<sub>2</sub>-e se produce por la combustión móvil involucrada en el proceso. Además esta propuesta involucraría activamente a la comunidad para la producción y distribución del humus generado.

## 4. CONCLUSIONES

Este estudio ha proporcionado un inventario de emisiones de GEI para un futuro reporte de la Huella de Carbono del área de compostaje y lombricultura de la DIGA, esto le permitirá a la institución conocer los límites de sus emisiones para poder registrar de manera eficiente la información estrictamente necesaria para calcular la Huella de Carbono. Contar con una base de datos que respalde la información levantada por la DIGA es primordial para validar las acciones dirigidas a reducir o evitar las emisiones de GEI, como lo ha estado haciendo la DIGA con el compostaje y lombricultura.

La Huella de Carbono de la DIGA, para el año 2010, fue de 51.345,2 kg de CO<sub>2</sub>-e para todo el proceso de compostaje y lombricultura, lo que corresponde a la Huella de Carbono básica. El punto crítico y única fuente emisora de GEI del proceso, es la combustión de diesel producida por los camiones recolectores de residuos orgánicos, insumo base para el proceso de compostaje y lombricultura, que procesó 5.527 toneladas de residuos orgánicos el año 2010. Las emisiones neutras, que no contabilizan al total de la Huella de Carbono y son parte del estudio como elemento informativo, provienen de la combustión de biodiesel que emite 57,1 kg CO<sub>2</sub>-e, y de las emisiones biogénicas propias del compostaje que emite 212.100,7 kg de CO<sub>2</sub>-e.

Es importante la disminución de emisiones de GEI obtenida al utilizar biodiesel respecto del uso teórico de diesel, donde se reducen 5.694 kg CO<sub>2</sub>-e, presentando una posible oportunidad de negocio para la DIGA en el mercado de bonos de carbono.

Al comparar las emisiones producidas por el compostaje de residuos orgánicos y las emitidas por la descomposición en un vertedero de la misma cantidad de residuos orgánicos, se logra disminuir las emisiones al compostar los desechos. Pero los distintos protocolos, como el Protocolo de GEI, excluyen del cálculo las emisiones de CO<sub>2</sub> que proceden de procesos químicos o físicos a partir de la biomasa, por lo que la reducción de emisiones no se puede validar.

La gestión medio ambiental de la DIGA en el alcance analizado ha demostrado una orientación hacia la mejora continua. El presente estudio representa una oportunidad para identificar los puntos críticos donde se puede seguir mejorando la gestión, eficiencia e implementación de nuevas tecnologías en este proceso para maximizar el uso de los recursos locales junto con la reducción de los impactos ambientales y el aporte de GEI a la atmósfera.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Berroeta, C., 2010. [en línea]. Cambio Climático y Huella de Carbono: Una visión desde Aguas Andinas. Presentación realizada en el Seminario Internacional: Huella de Carbono como herramienta de competitividad en el sector productivo chileno. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso. Disponible en: [http://www.cgfmdl.cl/documento/seminario/MR2\\_-\\_Aguas\\_Andinas.pdf](http://www.cgfmdl.cl/documento/seminario/MR2_-_Aguas_Andinas.pdf) Citado: 12 de Diciembre del 2011.

Bhide, A.D. 1994. Methane emission from landfills. Journal IAEM, 21(1): 1-7.

British Columbia, Ministry of Environment, 2010. British Columbia Greenhouse Gas Inventory Report 2008, 61 p.

BSI, British Standards Institution. 2008. Publicly Available Specification (PAS) 2050:2008, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. BSI. London, UK. 36 p.

Capital, Revista. 2010. [en línea]. Sin dejar huellas. Disponible en: <http://www.capital.cl/reportajes-y-entrevistas/sin-dejar-huellas-2.html>. Citado: 12 de Septiembre del 2011.

CCV y CPL. 2011. [en línea]. Manejo de herramientas en Producción Limpia. Disponible en: <http://ccv.cl/APL/APL-ManualHerramPL.pdf> Citado: 28 de Septiembre de 2012.

CEPAL. 2009. Colección Documentos de proyectos. La Huella de Carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. 46 p.

CEI. 2012. [en línea]. La Huella de Carbono y su impacto potencial sobre las exportaciones argentinas. Disponible en: <http://www.cei.gov.ar/userfiles/serie14ebook.pdf> Citado: 20 de Noviembre de 2012.

CFG-MDL, Centro de Gestión y Fortalecimiento para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. 2010. [En línea]. Empresa Arauco midió su huella de carbono. Disponible en: <http://www.cgfmdl.cl/2010/01/empresa-arauco-midio-su-huella-de-carbono/> Citado: 20 de Noviembre del 2011.

CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2011. Medición y Mitigación de la Huella de Carbono en la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 36 p.

Concha y Toro. 2011. [en línea]. Cambio Climático, Huella de Carbono. Disponible en: [http://www.conchaytoro.com/desarrollo\\_sustentable/es/huella\\_carbono.html](http://www.conchaytoro.com/desarrollo_sustentable/es/huella_carbono.html) Citado: 9 de Noviembre del 2011.

DEFRA. 2010. Guidelines to DEFRA / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emissions Factors. AEA & DEFRA. UK. 72 p.

DIGA, Dirección de Gestión Ambiental. 2010. [en línea]. Agenda 21 local. Disponible en: <http://www.digap.cl/> Citado: 5 de Julio de 2011.

Drescher, S. and Zurbrügg, C. 2004. Chapter 3. Decentralized coposting in India. pp 15-27. In: Ali M., (ed.) Sustainable Composting. Leicestershire, UK: WEDC, Loughborough University. 124 p.

Donald, F., Larson, A., Ambrosia, P., Dinara, A., Rahmanb, S. M., and Entlerc, R. 2008. Carbon Markets, Institutions, Policies and Research. The World Bank Development Research Group. Sustainable Rural and Urban Development Team. 72 p.

Environment Canada, Minister of the Enviroment. 2009. National Inventory Report 1990-2007, 33 p.

Excel Environment. 1999. Capability document, Excel Industries, Bombay, India.

Finkbeiner, M. 2009. Carbon Footprint – Opportunities and threats. Internacional Journal of Life Cycle Assessment. 14(1): 91-94.

Hernández, M. 2011. [en línea]. El mundo pide Huella de Carbono. Disponible en: <http://www.diariopyme.com/2011/04/el-mundo-pide-huella-de-carbono-2-parte/> Citado: 20 de Octubre de 2011.

Hoornweg, D., Thomas, L. and Otten, L. 1999. [en línea]. Composting and its Applicability in Developing countries. Disponible en: <http://www.elaw.org/system/files/composting+and+developing+countries.pdf> Citado: 23 de Noviembre de 2011.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 1999. Informe Especial del IPCC. La Aviación y la Atmósfera Global. Resumen para los responsables de políticas. 15 p.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. [en línea]. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste. Disponible en: [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_volume5/v5\\_2\\_ch2\\_waste\\_data.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_volume5/v5_2_ch2_waste_data.pdf) Citado: 15 de Mayo del 2011.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra, Suiza. 104 p.

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2010. Norma Técnica Colombiana: NTC-ISO 14.064-1. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Edición 2006. 23 p.

Knipe, A. 2007. Comparison of Green House Gas Emissions from the Centralised and Household Treatments of Food Waste. Environmental Research & Consultancy. West Morden, UK. 43 p.

Koont, S. 2008. A Cuban Success Story: Urban agriculture. Review of Radical Political Economics 1(40): 285-292.

Lenzen, M. 2001. Errors in conventional and input-output based life-cycle inventories. Journal of Industrial Ecology, 4(4): 127-148.

Lopez, N. 2008. Metodología para el cálculo de la huella de carbono en universidades. 24 p. In: Blanco, D. (ed.). Congreso nacional de medio ambiente. Cumbre del desarrollo sostenible. Palacio Municipal de Congresos del Campo de Las Naciones, Madrid, España., Diciembre 1-5, 2008.

McMichael, A.J. 1993. Planetary overload: Global environmental change and the health of the human species. Cambridge University Press. Cambridge, Massachusetts, United states. 357 p.

Meza, M. 2011. [en línea]. Un vino que cuida el medio ambiente. Disponible en: [http://cl.selecciones.com/contenido/a527\\_el-vino-carbononeutro-un-vino-chileno-que-cuida-el-medio-ambiente](http://cl.selecciones.com/contenido/a527_el-vino-carbononeutro-un-vino-chileno-que-cuida-el-medio-ambiente). Citado: 10 de septiembre de 2011.

Müller, C. 2007. [en línea]. Anaerobic Digestion of Biodegradable Solid Waste in Low- and Middle- Income Countries, Overview over existing technologies and relevant case studies. Disponible en: [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/Anaerobic\\_Digestion\\_high\\_resolution.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/Anaerobic_Digestion_high_resolution.pdf) Citado el 28 de Noviembre del 2011.

ONU, Organización de las Naciones Unidas. 1992. [en línea]. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, elaborada el 9 de Mayo de 1992. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> Citado: 13 de Enero del 2012.

ONU, Organización de las Naciones Unidas. 1998. [en línea]. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> Citado: 27 de Septiembre del 2011.

Pandey, D., Agrawal, M. and Pandey, J.S. 2010. Carbon Footprint: current methods of estimation. Environmental Monitoring and Assessments. Accepted for publication, August 23. 28 p.

Papendieck, S. 2010. [en línea]. La Huella de Carbono como nuevo estándar ambiental en el comercio internacional de agroalimentos. Disponible en: [http://www.insercionagricola.org.ar/uploads/huella\\_de\\_carbono\\_informe\\_final.pdf](http://www.insercionagricola.org.ar/uploads/huella_de_carbono_informe_final.pdf) Citado: 15 de Octubre de 2011.



Portalfruticola. 2011. [en línea]. Damco lanza nueva herramienta online para medir emisiones de carbono. Disponible en: <http://www.portalfruticola.com/2011/09/13/damco-lanza-nueva-herramienta-online-para-medir-emisiones-de-carbono/> Citado: 10 de Septiembre del 2011.

PROCHILE. 2007. [en línea]. Bonos de Carbono. Disponible en: [http://www.prochile.cl/servicios/medioambiente/bonos\\_de\\_carbono.php#1](http://www.prochile.cl/servicios/medioambiente/bonos_de_carbono.php#1) Citado: 10 de Diciembre de 2011.

Rothenberg, S., Zurbrügg, C., Enayetullau, I., and Maqsood Sinha A. Md. 2006. [en línea]. Decentralised composting for cities of Low- and Middle- income countries, a Users' Manual. Disponible en: [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/decomp\\_Handbook\\_loRe\\_s.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/decomp_Handbook_loRe_s.pdf) Citado: 13 de Diciembre del 2010.

Rouse, J. 2008. [en línea]. Recycling Organic Waste. Disponible en: <http://practicalaction.org/managing-organic-municipal-waste> Citado: 23 de Noviembre del 2011.

Rouse, J., Rothenberger, S. and Zurbrügg, C. 2008. [en línea]. Marketing Compost- a guide for compost producers in low- and middle- income countries. Dübendorf, Suiza: EAWAG. Disponible en: [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/marketing\\_compost\\_low.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/marketing_compost_low.pdf) Citado: 23 de Noviembre de 2011.

RSA, revista Responsabilidad Social & Ambiental. 2011. [en línea]. Etiquetas de Huella de Carbono. Disponible en: <http://rsarevista.pe/2011/10/11/etiquetas-de-huella-de-carbono/1030> Citado: 10 de Diciembre 2011.

Sabogal, J., Moreno, E. y Ortega, G. 2009. Procesos de certificación de proyectos de captura de gases de efecto invernadero en los mercados internacionales de carbono. *Gestión y Ambiente* 12(3): 7-20.

Sandor, R., Walsh, M. and Marques, R. 2002. Greenhouse gas trading markets. Royal Society Publishing 360(1797): 1889-1900.

Schneider. H. y J. Samaniego. 2009. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. CEPAL, Organización de las Naciones Unidas. Santiago de Chile. 42 p.

Sinha, R. and Herat, S. 2009. Special Issue on Vermiculture & Sustainable Agriculture. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Enviromental Sciences*, 5(S): 01-55.

Sinha, R., Agarwal, S., Chauhan, K., Chandran, V. and Soni, B.K. 2010. Vermiculture Technology: Reviving the dreams of Sir charles Darwin fon Scinetific use of Earthworms in Sustainable Development Programs. *Scientific Research. Technology and Investment* 1(3): 155-172.

SINIA. 2008. [en línea]. Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-50188\\_recurso\\_1.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-50188_recurso_1.pdf) Citado: 23 de Octubre de 2011.

Terra, C. 2010. El éxito del reciclaje orgánico a domicilio en La Pintana. Diario La Tercera, Santiago, Chile. Jueves 3 de Marzo.

Vinnova. 2011. [en línea]. Consorcio Tecnológico Empresarial para la Vid y el Vino. Disponible en: <http://www.vinnova.cl/> Citado: 9 de Noviembre del 2011.

Wackernagel, M. and Rees, W.E. 1996. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth. Gabriola Island: New Society Publishers, Canada. 160 p.

Wiedmann, T., and Minx, J. 2007. A definition of carbon footprint. ISAUK Research Report 07-01, Durham, ISAUK Research & Consulting. 11 p.

WRI y WBCSD, World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. 2005. The Greenhouse Protocol for Project Accounting. WRI/WBCSD. USA. 144 p.

WWF, World Wide Fund for Nature. 2008. [en línea]. Informe Planeta Vivo. Disponible en: [http://assets.panda.org/downloads/lpr\\_2008\\_span\\_lo\\_res.pdf](http://assets.panda.org/downloads/lpr_2008_span_lo_res.pdf) Citado: 20 de Diciembre de 2010.

Yedla, S. and Parikh, J.K. 2001. Economic evaluation of a landfill system with gas recovery for municipal solid waste management: a case study. Int. J. Environment and Pollution, 15(4): 433-447.

## 6. APENDICES

### Apéndice A: Iniciativas claves a nivel mundial para la medición de la Huella de Carbono

País	Iniciativa	Fecha	Sitio Web	Foco
Alemania	Proyecto piloto Product Carbon Footprint (PCF)	Desde 2008	<a href="http://www.pcf-projekt.de">www.pcf-projekt.de</a>	Proyecto piloto gestionado por un consorcio de empresas, sobre la huella de carbono en productos y servicios (10 empresas, 15 etiquetas en la fase 1 de 2008)
Estados Unidos	Clean Energy and Security Act	Desde 2009 (pendiente la ratificación del Senado)	Comisión de Energía de los Estados Unidos <a href="http://energycommerce.house.gov">http://energycommerce.house.gov</a>	En la sección 274 de la legislación solicita se a la EPA que diseñe un programa de información voluntaria de carbono
Estados Unidos	Iniciativa de sostenibilidad Wal Mart	Desde 2007	<a href="http://walmartstores.com">http://walmartstores.com</a>	Líder en pruebas de huella de carbono de los productos de 40 proveedores
Francia	Bilan Carbone®	Desde 2002	<a href="http://www.ademe.fr">www.ademe.fr</a> (en francés)	Soporte del gobierno para probar etiquetas de carbono (cerca de 3,000 productos etiquetados en 2009)
Francia	Proceso del Grenelle de l'environnement	Desde 2007	<a href="http://www.ademe.fr">www.ademe.fr</a> (en francés)	Agenda medioambiental del gobierno (apoyo a Bilan Carbone®)
Japón	Guías del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) para huella de carbono en productos	Desde 2009	<a href="http://www.meti.go.jp/english">http://www.meti.go.jp/english</a>	Guía elaborada por el gobierno para el cálculo de la huella de carbono en productos y etiquetado (incluye reglas de categorías por productos, PCR)
Nueva Zelanda	Estrategia neozelandesa de gases de efecto invernadero	Desde 2007	<a href="http://www.maf.govt.nz">www.maf.govt.nz</a>	Estrategia nacional para el cálculo y la reducción de la huella de carbono
Nueva Zelanda	Pastoral GHG Research Consortium	Desde 2004	<a href="http://www.pggrc.co.nz">www.pggrc.co.nz</a>	Consortio nacional académico y comercial que da soporte a la medición y reducción de la huella de carbono (mitigación para actividades de pastoreo)
Reino Unido	PAS 2050	Desde 2008	<a href="http://www.carbontrust.co.uk">www.carbontrust.co.uk</a>	Guías elaboradas con el apoyo del gobierno para la huella de carbono en productos (utilizada en Reino Unido y otros lugares)
Reino Unido	Tesco	Desde 2007	<a href="http://www.tesco.com">www.tesco.com</a>	Líder en las pruebas de etiquetado en los supermercados, basadas en la metodología propuesta por el PAS 2050 (~100 productos)

**Fuente:** Comisión Económica para la América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Learn about Carbon [en línea] <http://www.learnaboutcarbon.net/qa/which-initiatives-are-driving-development-product-carbon-footprints>.

### Apéndice B: Potenciales de Calentamiento Global

GEI	Fórmula Química	100-años PCG
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	21
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	310
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	11.700
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	650
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	150
HFC-43-10mee	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	1.300
HFC-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	2.800
HFC-134	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> (CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub> )	1.000
HFC-134a	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> (CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> )	1.300
HFC-143	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub> (CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F)	300
HFC-143a	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub> (CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> )	3.800
HFC-152 (*)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	43
HFC-152a	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )	140
HFC-161 (*)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> F	12
HFC-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	2.900
HFC-236cb (*)	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	1.300
HFC-236ea (*)	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	1.200
HFC-236fa	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	6.300
HFC-245ca	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub>	560
HFC-245fa (*)	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub>	950
HFC-365mfc (*)	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> F <sub>5</sub>	890
Perfluorometano (*)	CF <sub>4</sub>	6.500
Perfluoroetano (*)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	9.200
Perfluoropropano (*)	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	7.000
Perfluorobutano (*)	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	7.000
Perfluorociclobutano (*)	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	8.700
Perfluoropentano (*)	C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	7.500
Perfluorohexano (*)	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	7.400
Hexafluoruro de azufre (*)	SF <sub>6</sub>	23.900

**Fuente:** Environment Canada (2009). *National Inventory Report 1990-2007*, pp.33.

British Columbia (2010). *British Columbia Greenhouse Gas Inventory Report 2008*, pp. 61 (\*)  
 fueron agregados del *B.C.GHG I. Reporting Regulation*.

**Apéndice C:** Comparación del tratamiento centralizado vs. Tratamiento domestico

<b>Fase</b>	<b>Componente</b>	<b>Tratamiento Centralizado Kg CO<sub>2</sub>-e/td*</b>	<b>Tratamiento Domestico Kg CO<sub>2</sub>-e/td*</b>
<b>Capital de la planta y el transporte asociado</b>	Fabricación/construcción y final de su vida útil reciclado/eliminación de la planta de tratamiento de residuos	3,77	
	Fabricación y el final de su vida útil reciclado/eliminación de los vehículos recolectores de residuos	0,82	
	Fabricación y final de su vida útil reciclado/eliminar de los grandes vehículos recolectores de residuos	0,19	
	Fabricación y final de su vida útil reciclado/eliminar de los grandes vehículos recolectores de compost	0,18	
	Transporte a granel de desechos sólidos domiciliarios o desechos orgánicos	0,04	0,34
	Fabricación y final de su vida útil reciclaje/ eliminación de recipientes para los desechos domiciliarios y centralizados	6,41	4,68
	Entrega a hogares y transporte de los recipientes para el reciclaje y fin de vida útil de los deschos	0,07	0,04
	<b>Total de Capital de la planta y el transporte asociado</b>	<b>11,48</b>	<b>5,06</b>
<b>Operaciones diarias de los desechos</b>	Desechos alimenticios domiciliarios segregados y su transporte a la estación de transferencia	11,58	
	Manipulación del volumen de desechos a la estación de transferencia	0,22	
	Transporte de los desechos de la estación de transferencia a la planta de tratamiento	1,42	
	Tratamiento del desecho en la planta de compostaje cerrada	19,56	
	Transporte del producto del compost a los sitios de aplicación	2,96	
	Aplicación del compost a la tierra con tractores agronómicos y esparcidores	2,47	
	<b>Total de las operaciones diarias de los desechos</b>	<b>38,21</b>	<b>0</b>
<b>Total de las emisiones antropogénicas</b>	<b>49,69</b>	<b>5,06</b>	

Fuente: Knipe (2007).