



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y
SU MEDIO AMBIENTE

ESTIMACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UN
SISTEMA AGROFORESTAL UBICADO EN LA COMUNA DE
PUMANQUE, REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

SEBASTIÁN EDUARDO PEÑALOZA LEAL

Profesor Guía: Sr. Roberto Garfias Salinas, Ingeniero Forestal, M.C.

Colaborador: Sr. Pablo Zúñiga Navarrete, Ingeniero Forestal.

Santiago, Chile

2015



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y
SU MEDIO AMBIENTE

ESTIMACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UN
SISTEMA AGROFORESTAL UBICADO EN LA COMUNA DE
PUMANQUE, REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

SEBASTIÁN EDUARDO PEÑALOZA LEAL

| Calificaciones: | Nota | Firma |
|--|------|-------|
| Prof. Guía: Sr. Roberto Garfias Salinas | 7,0 | |
| Prof. Consejero Sr. Miguel Castillo Soto | 7,0 | |
| Prof. Consejero Sr. Juan Caldentey Pont | 7,0 | |

A mis Padres

Flor y Héctor.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al Sr. Roberto Garfias Salinas, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi tema de memoria. Como profesor guía, logró encaminar el resultado de este trabajo con la mejor disposición en todo momento. Gracias por confiar la responsabilidad de ayudante en actividades dentro y fuera de la facultad; me voy con una mochila cargada de experiencias académicas y conversaciones de vida. Un maestro, un amigo.

Agradezco al Sr. Miguel Castillo por su total disposición y apoyo en gran parte de este trabajo. Un excelente académico.

Agradezco al Sr. Pablo Zúñiga, colaborador de este proyecto, por haberme entregado todas las herramientas necesarias para cumplir con los resultados deseados en el estudio. Gracias por el tiempo y conocimiento dedicado.

Agradezco de manera muy especial a mi Familia por su compañía y aliento durante esta etapa tan importante. A mis padres, por enseñarme a ser persona, con valores y principio. Mi mejor herencia: El amor, la compañía y el esfuerzo.

Agradezco a Daniela, compañera de batallas, por brindarme el apoyo y entusiasmo incondicional durante este tiempo. Gran parte de este período lo debo a ti.

Agradezco a mis compañeros de trabajo en la Universidad: Francisca Ruiz, Paulina Silva, Camilo Allende, Carol Ugarte, Nicole García; por los buenos momentos compartidos y tremendo apoyo en la elaboración de esta memoria. De manera especial, agradezco a Macarena Faúndez, Allam González y Constanza Sánchez, por contribuir con su tiempo, paciencia y conocimiento en el desarrollo de mi estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. | MATERIAL Y MÉTODO | 5 |
| 2.1 | Material | 5 |
| 2.2 | Método..... | 5 |
| 2.2.1 | Caracterización del Propietario y el Sistema de Producción | 5 |
| 2.2.2 | Cuantificación de Emisiones/Existencias/Capturas | 6 |
| 2.2.3 | Balance de Gases de Efecto Invernadero | 13 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 14 |
| 3.1 | Caracterización del sistema de producción | 14 |
| 3.1.1 | Características de la familia | 14 |
| 3.1.2 | Descripción del sistema de producción..... | 15 |
| 3.2 | Registro de emisiones y fijaciones de gases en el sistema | 16 |
| 3.2.1 | Emisión de Gases de Efecto Invernadero según alcances..... | 16 |
| 3.2.2 | Fijación de Carbono en biomasa de espinos | 17 |
| 3.2.3 | Fijación de Carbono en suelo asociado al bosque..... | 18 |
| 3.2.4 | Fijación de Carbono en pradera asociada al bosque | 19 |
| 3.2.5 | Emisiones de Metano (CH ₄) en el componente animal | 20 |
| 3.2.6 | Fijación de Carbono en suelos de uso agrícola | 21 |
| 3.2.7 | Emisiones de CO ₂ en la aplicación de fertilizantes con Urea | 22 |
| 3.2.8 | Emisiones de Óxido Nitroso (N ₂ O) en suelos de uso agrícola..... | 23 |
| 3.3 | Inventario de GEI en el Sistema Agroforestal..... | 24 |
| 3.3.1 | Emisiones en el Sistema..... | 26 |
| 3.3.2 | Fijaciones en el Sistema | 27 |
| 4. | CONCLUSIONES | 29 |
| 5. | BIBLIOGRAFÍA | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación General del Área de estudio. | 5 |
| Figura 2. Esquema general de los alcances del protocolo de GEI y emisiones en la cadena de valor. | 7 |
| Figura 3. Sectorización predial para estimación de biomasa en espinos. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 9 |
| Figura 4. Vista general del sistema agroforestal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 14 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Resumen guía para el registro de emisiones directas e indirectas, según alcances. | 6 |
| Cuadro 2. Marco estructural de niveles para métodos AFOLU. | 8 |
| Cuadro 3. Función para estimar biomasa total en espinos y variables a medir. | 8 |
| Cuadro 4. Muestreo Dasométrico en los estratos del espinal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 9 |
| Cuadro 5. Ecuación para la estimación de carbono orgánico en suelo. | 10 |
| Cuadro 6. Emisiones por Fermentación entérica según categoría de ganado (A) y total (B). | 11 |
| Cuadro 7. Existencias de carbono en tierras que permanecen en la misma categoría. | 11 |
| Cuadro 8. Incrementos anuales promedio de la biomasa. | 12 |
| Cuadro 9. Emisiones anuales de CO ₂ por la aplicación de Urea. | 12 |
| Cuadro 10. Emisiones directas de N ₂ O de suelos gestionados | 13 |
| Cuadro 11. Tipo de animales y cantidad presente en el sistema. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 15 |
| Cuadro 12. Emisión anual de CO ₂ equivalente en toneladas por el uso de electricidad. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 16 |
| Cuadro 13. Emisión anual de CO ₂ equivalente en toneladas por el uso Combustible. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 16 |
| Cuadro 14. Número de árboles y área basal por hectárea, para cada estrato de bosque de espino, según clase de DAT. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 17 |
| Cuadro 15. Biomasa de espino según sectores y total. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 18 |
| Cuadro 16. Carbono orgánico del suelo en los 3 sectores del bosque de espino. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 18 |
| Cuadro 17. Biomasa en pradera, según tipo de formación boscosa, en toneladas por hectárea. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 19 |
| Cuadro 18. Emisiones de Metano CH ₄ , según categoría animal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 20 |
| Cuadro 19. Existencia de Carbono en tierras de uso agrícola. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 22 |
| Cuadro 20. Emisión de CO ₂ en toneladas en el uso de fertilizantes. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 23 |
| Cuadro 21. Emisión de N ₂ O en toneladas anuales en suelos de uso agrícola. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 23 |
| Cuadro 22. Inventario de GEI, Sistema Agroforestal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque. | 25 |

RESUMEN

Con el propósito de realizar una estimación de las emisiones y absorciones de Gases de Efecto Invernadero de un Sistema Agroforestal perteneciente a un pequeño propietario de la Comuna de Pumanque, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, se caracterizó el sistema de producción, y se identificaron las emisiones y fijaciones de gases de efecto invernadero. Posteriormente, se elaboró un balance final que permitió visualizar y evaluar el tratamiento de las prácticas tradicionales en la agricultura campesina.

Los resultados confirman la importancia de los componentes naturales en la captura de carbono, aun cuando las prácticas convencionales actuales no son eficientes. Gran parte de las absorciones de carbono son asumidas por el suelo y la vegetación nativa existente, con una captura de carbono orgánico sobre el 85% del total registrado.

Se observó que el principal responsable de las emisiones de CO₂ equivalente emitido a la atmósfera es el N₂O (Óxido Nitroso) y que provienen de la actividad agrícola en el lugar, considerando el aporte de la producción anual de cultivos, la participación del componente animal en el sistema y la aplicación de productos artificiales para la fertilización del suelo.

Los resultados permitieron concluir que los sistemas integrados de producción en la participación sobre la evolución del cambio climático en el país adquieren gran relevancia. Además se infiere que el manejo de los recursos silvoagropecuarios posibilita el aumento de la producción en la agricultura familiar campesina y reduce cuantiosamente las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Palabras clave: Gases de Efecto Invernadero, Sistema Agroforestal, Pequeño Propietario Forestal, Zona Central-Chile.

ABSTRACT

In order to make an estimation of the emissions and absorptions of greenhouse gas in a Agroforestry System belonging to a small proprietor from the borough of Pumanque, Region of the Liberator Bernardo O'Higgins, was characterized the production system, and the greenhouse gas emissions and fixations were identified. Later, a final balance was elaborated that allowed to visualize and to evaluate the treatment of the traditional practices in agriculture farmer.

The results confirm the importance of the natural components in the carbon capture, even though the present conventional practices are not efficient. Most of the carbon absorptions is assumed by the ground and the existing native vegetation, with an organic carbon capture on 85% of the registered total.

It was observed that the main responsible of the CO₂ emissions equivalent emitted to the atmosphere is N₂O (Nitrous oxide) and comes from the agricultural activity in the place, considering the contribution of the annual production of crops, the participation of the component animal in the system and the application of artificial products for the fertilization of the ground.

The results allowed to conclude that the systems integrated of production in the participation on the evolution of the climate change in the country acquire great relevance. In addition it is inferred that the handling of the silvoagropecuary resources makes possible the increase of the production in familiar agriculture farmer and reduce significantly the emissions of greenhouse gases to the atmosphere.

Key words: Greenhouse gases, Agroforestry System, Small Forest Proprietor, Central Zone-Chile.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el Monitoreo y la Contabilidad de gases de efecto invernadero constituyen un desafío que enfrenta el mundo debido a su efecto en el cambio climático. La concentración de estos gases ha registrado alzas de hasta el 40% en el caso del CO₂, entre los años 1990 y 2008 (UNFCCC, 2010).

Cambio climático se entiende como una variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima durante períodos de tiempo comparables. Corresponde a la expresión crítica de una crisis mundial que involucra aspectos ambientales, económicos, sociales y culturales. Los efectos del cambio climático son y serán una problemática que repercuten en diversos ámbitos de la vida de las personas, comunidades y ecosistemas a nivel mundial (UNFCCC, 2010).

La modificación atmosférica ocasiona una retención mayor de los rayos solares que son reflejados por el planeta, con el consecutivo aumento de temperaturas o variaciones climáticas; efecto conocido como Efecto Invernadero (FAO, 2008).

Se define gas de efecto invernadero, a aquel componente gaseoso en la atmósfera, ya sea natural o de origen humano, que absorbe y reemite radiación infrarroja. Dichos gases provenientes de una fuente (proceso o actividad que libera un gas de invernadero), son retenidos en un sumidero (proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero), provocando efectos adversos en el medio ambiente físico y en la biota, con resultados o efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales (UNFCCC, 2010).

Los gases de efecto invernadero, declarados en la Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático, son los siguientes: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluorocarbonos de Azufre (SF₆) (UNFCCC, 2010).

A nivel mundial, los países reflejan el interés conjunto de mitigar al respecto, iniciando la planificación de proyectos y medidas que compensan las emisiones lanzadas al ambiente. Dicha compensación podría llevarse a cabo a través de la reducción de emisiones de CO₂, o el mejoramiento y/o creación de sumideros de carbono en la biósfera (FAO, 2008).

Algunos aspectos relevantes que posicionan a todos los países involucrados en el camino hacia un acuerdo global son: la estabilización de la temperatura global (abriendo la puerta a que se revise una limitación de 1,5° C), la financiación (donde se incluye un proceso de Fondo Verde Climático para la canalización de fondos), la deforestación (con el fin de explorar nuevas posibilidades de financiación que respalden los mecanismos para reducir las emisiones por deforestación y degradación de suelos) y el control y transparencia (que considera las acciones de mitigación en los países en desarrollo, bajo medición, reporte y verificación de emisiones, de tal manera que no sea invasiva y se respete siempre la soberanía nacional), (UNFCCC, 2010).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), es un panel de especialistas creado en 1988 con el fin de proporcionar evaluaciones integrales del

estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas y estrategias de respuesta. En el transcurso del tiempo, este panel ha informado y evaluado la evaluación del calentamiento global en sus diferentes repercusiones. En el último informe del año 2014, “Quinto Informe de Evaluación”, se dio a conocer la evaluación de los aspectos socioeconómicos del cambio climático y sus consecuencias para el desarrollo sostenible, los aspectos regionales, la gestión de riesgos y la elaboración de una respuesta mediante la adaptación y la mitigación (IPCC, 2014).

Chile adhiere a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el año 1994. En esta convención, se establece que los países firmantes deben reportar periódicamente los avances en la implementación local de los objetivos de dicha convención. Uno de los componentes fundamentales de estos reportes periódicos son los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, entendidos como el eje estratégico relacionado con la generación y actualización de inventarios de emisiones a nivel nacional de origen antrópico, no controlados por el Protocolo de Montreal. Dentro de las actividades permanentes de este eje se encuentra:

- Diseño, implementación y coordinación del sistema nacional de inventarios de gases de efecto invernadero de Chile para la actualización bienal.
- Diseño, implementación y administración del programa nacional de gestión del carbono.
- Gestión permanente de la huella de carbono del Ministerio del Medio Ambiente y asesoramiento a instituciones públicas en la gestión de sus emisiones de gases de efecto invernadero (MMA, 2014).

En el año 2011, Chile presenta al país y la comunidad internacional la “Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”, en el cual se reportan los avances en la implementación de la convención en el período 2000-2010, teniendo en cuenta que el país presentó su primera comunicación en febrero de 2010 (MMA, 2011), fecha en que se comprometió a realizar las acciones necesarias para lograr una desviación del 20% bajo su trayectoria creciente de emisiones de GEI, con año base el 2007 (MMA, 2013).

De acuerdo a las estadísticas internacionales, Chile figura en el lugar 61° en el mundo respecto a las emisiones per cápita de CO₂ para el año 2008. No obstante, las emisiones del país van en aumento, principalmente por el crecimiento del sector de la energía. Respecto a las emisiones y capturas de los tres principales GEI del inventario chileno (CO₂, N₂O y CH₄), se indicó que el principal GEI emitido es el CO₂. Al año 2000 representaba el 55% del total de las emisiones netas del inventario anual, en tanto que el 2006, su importancia subió al 65% (MMA, 2011).

La vulnerabilidad de Chile ante el cambio climático está dada por sus circunstancias nacionales, ya que cuenta con áreas de borde costero de baja altura, zonas áridas, semiáridas y de bosque, susceptibilidad a desastres naturales, áreas propensas a sequía y desertificación, zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos como las cordilleras de la Costa y de los Andes (MMA, 2011).

En este marco, la institucionalidad nacional competente trabaja para abordar las repercusiones del cambio climático en el país. El Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA) por ejemplo, contribuye directamente en el desarrollo nacional de la Agricultura y el Cambio Climático. El grupo de investigadores y los proyectos pertenecientes a este lineamiento participan con la información en el inventario de gases de efecto invernadero del sector agropecuario, los Planes de mitigación de emisiones de gases (desarrollo de tecnologías y sistemas productivos bajos en emisiones GEI), las estrategias de adaptación al cambio climático y el mejoramiento genético para adaptación al estrés abiótico en cultivos agrícolas considerados vulnerables al cambio climático (INIA, 2014).

En lo que respecta al sector forestal, el Instituto Forestal (INFOR) en convenio con el INIA, presentó el informe final del estudio “Proyección de la Línea tendencial 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Silvoagropecuario y Uso y Cambio de Uso de Suelo” en el año 2014, para el proyecto PNUD 81013 MAPS-Chile (Mitigation Options for Addressing Climate Change), cuyo capítulo 2 del informe da a conocer los principales resultados de la línea base 2013-2050 en cuanto a emisiones y capturas de GEI del sector forestal y las medidas de mitigación, tanto en plantaciones como en el bosque nativo chileno. Éste último punto tiene cabida y proyección en los recursos naturales que Chile dispone. Así, las medidas de mitigación propuestas en este informe son: la captura de CO₂ mediante la recuperación del bosque nativo, los instrumentos de fomento forestal, la edificación en madera y captura en madera de productos cosechados, el aumento de productividad de plantaciones forestales por adopción de tecnología, la reducción de talas ilegales de bosque nativo, el uso energético de raleos y los sistemas silvopastoriles (INFOR, 2014).

Por su parte, la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) en el año 2011 inició un estudio relacionado con la huella de carbono en el país. El objetivo de la investigación “Huella de Carbono en Productos de Exportación Agropecuarios de Chile”, era elaborar un indicador referencial de los principales productos chilenos a exportación, sentando las bases para la generación de información propia en el país, identificando las fases críticas en cuanto a magnitud de emisión de GEI y diseñando las estrategias de mitigación de emisiones. El investigador de la fundación a cargo de la investigación, y miembro del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), señala que la información es referencial para el exportador de materias primas e identifica qué parte del ciclo de producción se puede mejorar o dónde hay necesidades de indagar soluciones (FIA, 2014).

El Ministerio del Medio Ambiente, a través de la Oficina de Cambio Climático, es el responsable de dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 70 de la Ley de Bases del Medio Ambiente 19.300, donde se establece proponer políticas, formular planes y programas de acción en materia de cambio climático. La Oficina de Cambio Climático tiene como misión contribuir a la integración de la problemática asociada al cambio climático en las políticas públicas del país, para lograr un desarrollo sustentable y una economía baja en carbono. Bajo este contexto, el 2013 se pone en marcha el Plan de Integración de los aspectos Sociales y Ambientales en la Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático, en el que se busca dar posición al sector forestal en su rol de almacenador de GEI, como se había planteado en la Segunda Comunicación de Chile ante la CMNUCC en 2011 (MMA, 2013). Un año después, se daba a conocer el Primer Informe

Bienal de Actualización de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2014, cuyo compromiso es actualizar la información entregada en su Segunda Comunicación Nacional de 2011, específicamente en materias de Circunstancias nacionales y arreglos institucionales, Inventario nacional de gases de efecto invernadero, políticas y acciones de mitigación, y Necesidades y apoyo recibido en materia de cambio climático; siguiendo las directrices entregadas por la propia convención (MMA, 2014).

Gayoso y Guerra (2005) plantean que el conocimiento del contenido de carbono en la biomasa forestal es de utilidad para la determinación del balance de gases de efecto invernadero, y para la construcción de indicadores y levantamiento de líneas para futuros proyectos de negociación de carbono en el país. A nivel general, se acepta que aproximadamente el 50% de biomasa vegetal corresponde a carbono, sin embargo, este porcentaje podría variar de acuerdo a la especie y al tejido del árbol, como también a la calidad del sitio y la edad de la formación arbórea. Si bien la variación de carbono en los distintos tejidos del árbol ha sido poco estudiada en Chile, la sección del fuste es la que aporta la mayor cantidad de biomasa en relación al resto, lo que depende de la proporción de lignina y compuestos inorgánicos presentes.

Este último punto deja abierta la posibilidad de integrar sistemas de mitigación en el sector forestal y agrícola, incluyendo aquellas de índole indígena, con el fin de desarrollar técnicas para la reducción de gases de efecto invernadero a nivel de localidad y en el mundo.

La estimación de los GEI en sistemas integrados de producción, como es el caso de los sistemas agroforestales, es importante para entender las consecuencias de su funcionamiento y lograr consigo un mejoramiento en la dinámica de los componentes naturales que los constituyen.

Los sistemas agroforestales se insertan en la dinámica productiva de los procesos de un predio o finca, involucrando el desarrollo económico, social y ecológico. Presentan características propias de un sistema, es decir contiene límites, componentes, interacciones, ingresos y egresos, jerarquía y dinamismo. Las interacciones ecológicas y económicas entre los componentes determinan la productividad del sistema (Garfias, 2011).

Este estudio pretende estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en un SAF perteneciente a un pequeño propietario forestal de la Comuna de Pumanque, en el período de un año.

En particular se pretende:

- Caracterizar el sistema de producción de un pequeño propietario forestal en la Comuna de Pumanque.
- Estimar las emisiones y fijaciones de gases de efecto invernadero existentes en el componente arbóreo y registrar las emisiones asociadas al componente animal y agrícola del sistema.
- Elaborar un balance de gases de efecto invernadero provenientes de los componentes del sistema de producción.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Material

Este estudio se llevó a cabo en un predio de 56 ha, perteneciente a un pequeño propietario forestal de la Comuna de Pumanque (figura 1).

La Comuna de Pumanque forma parte de la Provincia de Colchagua, Región Libertador Bernardo O'Higgins. Abarca una superficie de 441 km², con un total poblacional de 3.286 habitantes, equivalente al 0,44% de la población de la región. El 100% de sus habitantes corresponde a población rural, de acuerdo a los datos censales 2012 (SUBDERE, 2014).

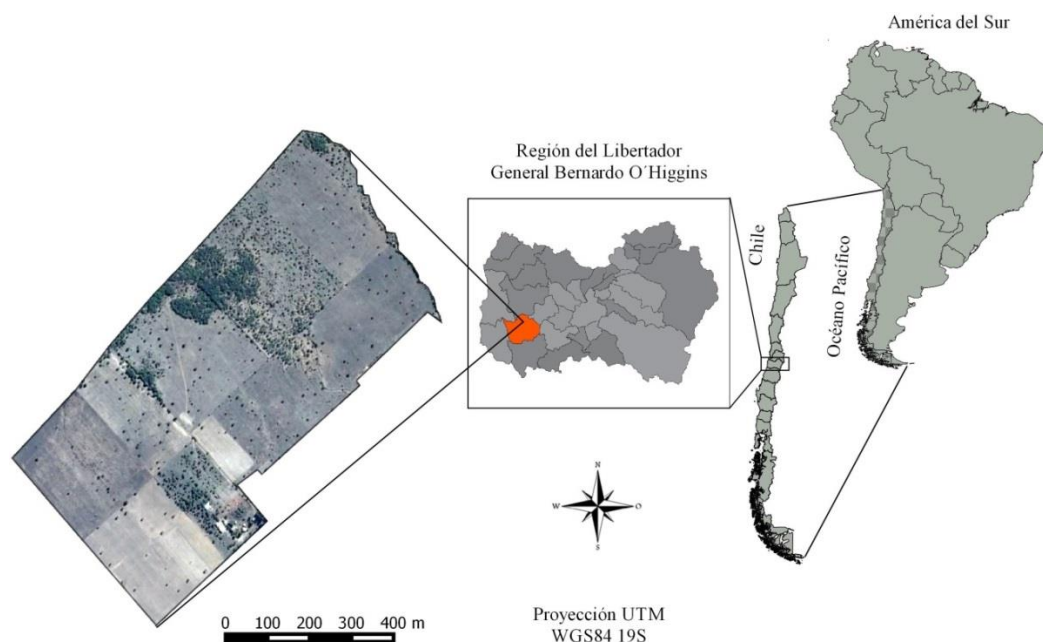


Figura 1. Ubicación General del Área de Estudio.

2.2 Método

2.2.1 Caracterización del Propietario y el Sistema de Producción

Para caracterizar al pequeño propietario y su familia, se aplicó una entrevista semi-estructurada al jefe de la unidad familiar. Esto permitió obtener información del productor y del núcleo familiar. Las variables utilizadas son las propuestas por Garfias (2011).

- Identificación del jefe de hogar.
- Nombre, edad y sexo de cada integrante de la familia
- Nivel de escolaridad de cada integrante de la familia
- Relación de los integrantes con el jefe de hogar
- Actividad que desempeña cada integrante

Por otra parte, para la caracterización del sistema de producción, además de utilizar la información proporcionada por el productor y la observación directa, se realizó una

investigación documental. Las variables que se consideraron en esta etapa fueron las siguientes:

- Ubicación
- Superficie
- Características de los recursos naturales
- Disponibilidad de mano de obra
- Equipamiento e infraestructura
- Ingreso familiar

El tratamiento de la información se realizó a través de estadística descriptiva, utilizando histogramas y medias, principalmente.

2.2.2 Cuantificación de Emisiones/Existencias/Capturas

2.2.2.1 Protocolo de Gases de Efecto Invernadero

El registro de emisiones de insumos y productos del sistema se realizó siguiendo el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol - GreenHouse Gas Protocol), propuesto por World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) el año 2001. El protocolo propone para la colección de información, identificar las emisiones directas e indirectas, según Alcances (concepto utilizado para delinear las fuentes de emisión), sujeto a la realidad de que todo proceso posee productos y/o servicios que generan este tipo de emisiones, de una o más categorías de fuentes de emisión (combustión fija, combustión móvil, emisiones de procesos y emisiones fugitivas)

Las emisiones directa de gases, son emisiones de fuentes que son propiedad de, o están controladas por la organización, ente o empresa, como por ejemplo el uso de vehículos de propiedad; mientras que las emisiones indirectas son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que ocurren en fuentes que son controladas por otras empresas, por ejemplo, la adquisición o compra de electricidad (WBCSD, 2001). Para la captura de información de las emisiones directas e indirectas del sistema, se utilizaron las variables que se muestran en el cuadro 1, asumiendo para el reporte un período de 12 meses (Enero-Diciembre de 2014).

Cuadro 1. Resumen guía para el registro de emisiones directas e indirectas, según alcances.

| Emisiones directas | Emisiones indirectas | |
|---|--|--|
| Alcance 1 | Alcance 2 | Alcance 3 |
| Generación de combustión en fuentes fijas (hornos, calderas). | Emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida en las operaciones del sistema. | Uso de productos, producción de materiales adquiridos, actividades adquiridas. |
| Uso de vehículos propios: Uso de combustible. | | Disposición de residuos. |
| Emisiones fugitivas: emisión de metano, óxido nítrico, HFCs en refrigeración. | | |

Fuente: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. WBCSD, 2001.

La puntualización de conceptos referidos a la metodología de fuentes de emisión a través de alcances (scope) se precisa en la figura 2.

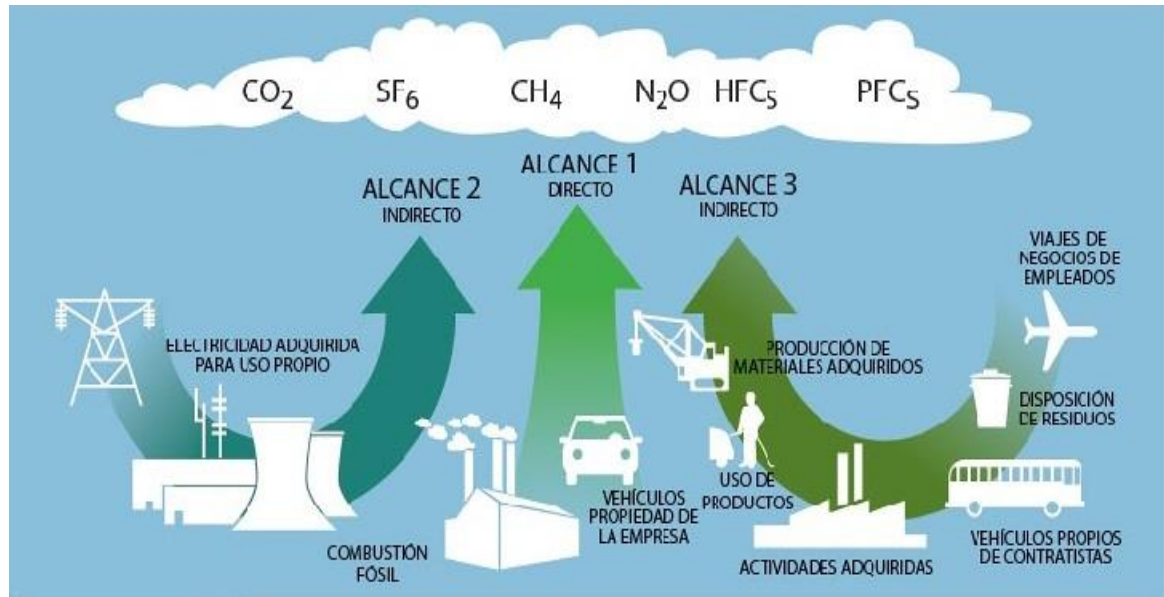


Figura 2. Esquema general de los alcances del protocolo de GEI y emisiones en la cadena de valor.

Fuente: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. WBCSD, 2001.

De los GEI definidos por la UNFCCC (2010), se identificaron tres de ellos: CO₂, CH₄ y N₂O, provenientes de distintas fuentes de emisión en el sistema de producción.

Para llevar a cabo un análisis final de los gases estimados, se utilizó el índice Global Warming Potential (GWP), o Potencial de Calentamiento Global, definido según el IPCC (2014) como el índice que mide la fuerza radioactiva después de la emisión de masa de una sustancia determinada, acumulada a lo largo del tiempo, respecto a una sustancia de referencia, el dióxido de carbono (CO₂). De este modo, la masa total de los gases definidos y estimados posee una equivalencia de CO₂ emitido a la atmósfera, según el GWP para cada uno.

2.2.2.2 Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Para la estimación de las absorciones de gases de efecto invernadero, se utilizó la orientación para la preparación de inventarios anuales en el Sector de la Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU en inglés), propuesta por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) del año 2006 (cuadro 2).

En estas directrices se reconoce que los procesos que se asocian a las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, así como las diferentes formas de carbono almacenado en tierra, pueden producirse en todo tipo de tierras. Para abordar cada una de las absorciones, se analizó el marco estructural de los niveles de la metodología propuesta.

Cuadro 2. Marco estructural de niveles para métodos AFOLU.

| Método | Estructura |
|---------|--|
| Nivel 1 | Diseñado para que resulte lo más simple de usar, para lo cual se suministran ecuaciones y valores de los parámetros por defecto. Es necesario contar datos de la actividad específicos por país. |
| Nivel 2 | Se emplea el mismo abordaje que en Nivel 1, pero se incluyen factores de emisión y de cambio en las existencias que se basan en datos específicos del país o de la región. |
| Nivel 3 | Se utilizan métodos de orden superior, incluidos modelos y sistemas de medición de inventario, hechos a medida para satisfacer circunstancias nacionales que se repiten en el tiempo. |

Fuente: IPCC, 2006.

2.2.2.3 Estimación de Existencias de Biomasa Forestal

La biomasa del espinal presente en el área de estudio fue estimada empleando la función propuesta por Aguirre e Infante (1988), para una localidad que presenta condiciones similares al área de estudio. La función y variables que se midieron, se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Función para estimar biomasa total en espinos y variables a medir.

| |
|---|
| $\text{Peso (Kg)} = 2,8818 + 0,0205 \cdot (\text{DR}^2 \cdot \text{NR} \cdot \text{HMF}) + 0,794 \cdot (\text{DMAC} \cdot \text{DMEC} \cdot \text{HT})$ |
| Donde: |
| HT: Altura Total del árbol (m) |
| HMF: Altura de Máximo Follaje (m) |
| DMEC: Diámetro Menor de Copa (m) |
| DMAC: Diámetro Mayor de Copa (m) |
| NR: Número de Retoños |
| DR: Diámetro promedio de Retoños (cm). |

Fuente: Aguirre e Infante, 1988.

Para llevar a cabo el muestreo del espinal, se dividió el área en tres sectores, en función de la densidad del bosque:

- Sector Ralo, con densidades entre 0 a 100 árb ha⁻¹.
- Sector Semidenso, con densidades entre 100 a 750 árb ha⁻¹.
- Sector Denso, con densidades entre 750 a 2800 árb ha⁻¹.

En los sectores de espinal denso y semidenso se realizó un muestreo dasométrico utilizando parcelas rectangulares, con área de 500 m² parcela⁻¹ distribuidas al azar e intensidad de muestreo de 5% (cuadro 4).

Cuadro 4. Muestreo Dasométrico en los estratos del espinal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Estrato Espinal | Rango Densidad Árb ha ⁻¹ | Superficie Estrato | | Muestreo Parcelas | Censo |
|-----------------|--|--------------------|-----|----------------------|-------|
| | | ha | % | | |
| Ralo | 0-100 | 33 | 60 | NA | NA |
| Semidenso | 100-750 | 16 | 29 | 15 | NA |
| Denso | 750-2800 | 6 | 11 | 5 | |
| Total | | 55 | 100 | | |

En el sector ralo se llevó a cabo un censo de la vegetación, con un total de 6 sectores catastrados. En la figura 3 se observa la distribución sectorial del predio para la estimación de existencias de biomasa en espinos.

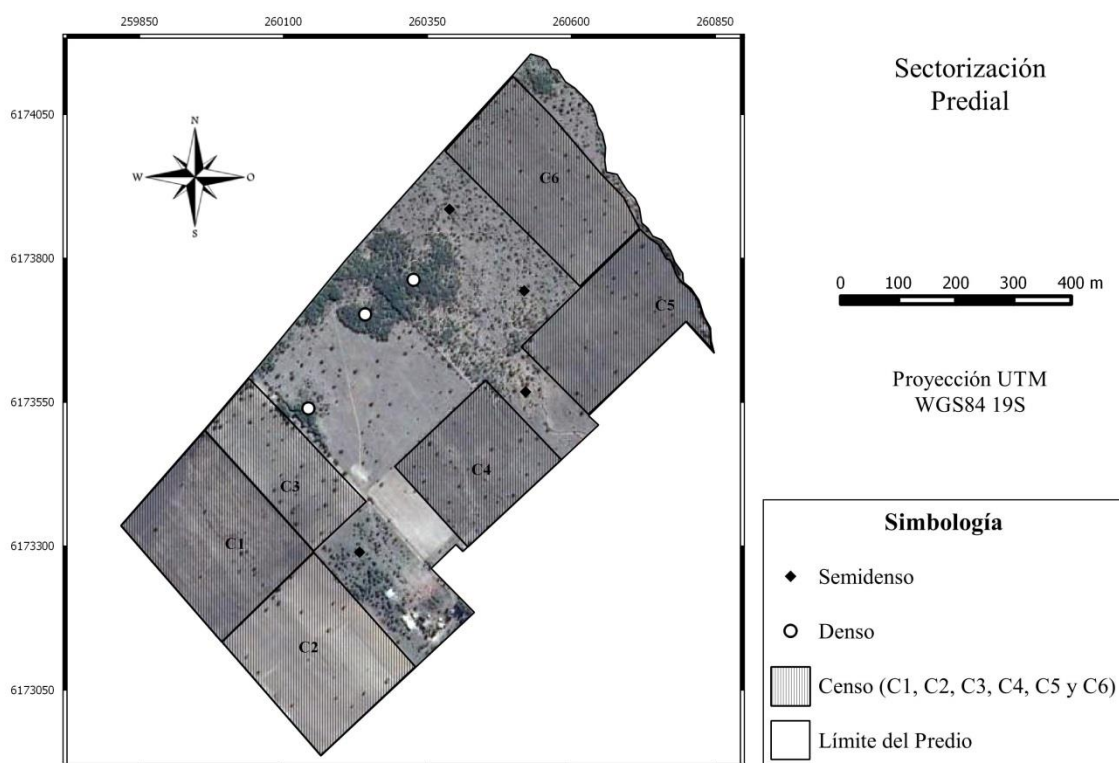


Figura 3. Sectorización predial para estimación de biomasa en espinos. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

2.2.2.4 Cuantificación de Carbono Orgánico en el Suelo

La estimación de biomasa (carbono equivalente) se realizó con muestras extraídas a 30 cm de profundidad, utilizando la fórmula propuesta por Andrade e Ibrahim (2003) para monitoreo de carbono en sistemas silvopastoriles (cuadro 5).

La densidad aparente (peso de cierto volumen por unidad de suelo) se estimó a través de la obtención de muestras de suelo en los tres estratos del bosque, utilizando un cilindro metálico de volumen conocido. En total fueron dos muestras para cada situación, y se extrajeron de forma aleatoria en las zonas que se encontraban bajo la cobertura del dosel.

El peso seco del suelo se obtuvo a partir del secado de las muestras en una estufa a 100°C en un periodo de 72 horas.

Mediante la realización de calicatas (excavaciones en terreno que permiten la inspección directa de la composición edáfica), se logró identificar las capas del suelo presentes en cada uno de los estratos del espinal, a 1 metro de profundidad. Con ello, se caracterizó el perfil de cada situación y se vislumbraron las implicancias de la vegetación existente sobre el suelo.

Cuadro 5. Ecuación para la estimación de carbono orgánico en suelo.

| |
|---|
| $COS = \%CO \cdot da \cdot Ps$ |
| Donde: COS: carbono orgánico de suelos ($t\ ha^{-1}$) |
| %CO: concentración de carbono orgánico en suelos (%) En caso de tener valores de materia orgánica, %CO = 0,58 |
| da: densidad aparente ($g\ cm^{-3}$) |
| Ps: profundidad del suelo (cm) |

Fuente: Andrade e Ibrahim, 2003.

2.2.2.5 Estimación de Carbono en Pradera

Para estimar el carbono existente en la pradera, se tomaron tres muestras de 1 m² de la vegetación en cada situación descrita anteriormente, las que fueron secadas por 48 horas y posteriormente pesadas (Andrade e Ibrahim, 2003). La vegetación muestreada corresponde principalmente a pastos y hierbas de pequeño y mediano tamaño, con raíces incluidas

2.2.2.6 Estimación de Metano (CH₄) y Nitrógeno (N) en el componente animal

La metodología para la estimación de emisiones de metano consiste en la multiplicación del número de animales por el Factor de Emisión (FE) de metano que depende de la categoría del animal y la condición del ambiente (Guzmán y Sager, 2009).

Para la aproximación de emisiones del componente animal del sistema estudiado (con presencia de ganado ovino, bovino y equino), se procedió según las Directrices entregadas por el IPCC el año 2006, quienes establecieron métodos para la estimación de metano y nitrógeno. Las emisiones de metano se estimaron utilizando las fórmulas descritas en el cuadro 6.

Cuadro 6. Emisiones por Fermentación entérica según categoría de ganado (A) y total (B).

| | |
|---|---|
| Emisiones= $EF_{(T)} \cdot N_{(T)} \cdot 10^{-6}$ | |
| Donde: | Emisiones: emisiones de metano por fermentación entérica, Gg ¹ CH ₄ año ⁻¹ (A) |
| | EF _(T) : factor de emisión para población de ganado definida, Kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹ |
| | N _(T) : cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T |
| | T: especie categoría ⁻¹ de ganado |
| Total CH₄ Entérico= $\sum E_i$ | |
| Donde: | Total CH ₄ Entérico: emisiones totales por fermentación entérica, Gg CH ₄ año ⁻¹ (B) |
| | E _i : emisiones de las i categorías de ganado. |

Fuente: IPCC, 2006.

Las emisiones de metano son producto de la fermentación entérica a nivel digestivo, entendida como el metabolismo microbiano de los hidratos de carbono en el rumen. Este metano es emitido a la atmósfera mediante eructos y en menor medida a través de la respiración o de flatulencias (Cambra-López *et al*, 2008).

La categoría de ternero lactante, en el caso del ganado bovino, no genera emisiones por fermentación entérica, razón por la cual no se contempló para el cálculo. A efectos de conocer la evolución de las emisiones de CH₄ en el ganado, se utilizó el método simple (Nivel 1) recomendado por el IPCC (2006), el cual se basa en el uso de factores por defecto obtenidos de distintos estudios, siendo el valor de EF asignado para América Latina de 56 Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹ (IPCC, 2006).

Las excreciones de nitrógeno pueden ser estimadas a través de la diferencia entre el total de nitrógeno ingerido por el animal y el total de nitrógeno retenido para su crecimiento y la producción de leche. Se procedió al uso de la información dispuesta por el IPCC, utilizando los valores por defecto para la tasa de excreción de nitrógeno en Kg de N₂ (1000 Kg de masa animal) día⁻¹, de acuerdo al territorio que corresponda (IPCC, 2006). La metodología descrita fue acompañada con la estandarización descrita por Garfias (2011), con el fin de convertir los distintos tipos de ganado a Unidad Animal (U.A.) y ponderar la presión de cada especie respecto a un animal de 500 kg (1 U.A.).

2.2.2.7 Estimación de Biomasa y Carbono en suelo del componente agrícola

La existencia de biomasa en un tipo de uso de tierra definido, fue estimada a través del cálculo de superficie implicada, el incremento medio anual de las existencias de biomasa y la fracción de carbono correspondiente a la materia seca (IPCC, 2006), (cuadro 7).

Cuadro 7. Existencias de carbono en tierras que permanecen en la misma categoría.

| | |
|---|--|
| $\Delta Cg = \sum (A_{ij} \cdot G_{Total} \cdot CF_{ij})$ | |
| Donde: | ΔCg : incremento anual de las existencias de carbono en biomasa, t C año ⁻¹ |
| | A: superficie de la tierra que permanece en la categoría de uso, ha. |
| | G _{Total} : crecimiento medio anual de la biomasa, t ha ⁻¹ año ⁻¹ |
| | CF: fracción de carbono de materia seca, t C |

Fuente: IPCC, 2006.

¹ Un gigagramo (Gg) equivale a mil toneladas.

El promedio anual de biomasa se estimó utilizando la fórmula descrita en el cuadro 8.

Cuadro 8. Incrementos anuales promedio de la biomasa.

| |
|---|
| $G_{Total} = \sum [Gw \cdot (1+R)]$ |
| Donde: G_{Total} : crecimiento promedio anual de la biomasa aérea y subterránea, $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ |
| Gw : promedio del crecimiento anual de la biomasa aérea para un tipo específico de vegetación, $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ |
| R: relación entre la biomasa subterránea y la aérea ($t \text{ de biomasa aérea}$) ⁻¹ . |

Fuente: IPCC, 2006.

Al aplicar el método de Nivel 1, G total fue posible lograrlo empleando valores por defecto de Gw junto con R, la relación de biomasa subterránea y aérea diferenciadas por el tipo de vegetación. R debe ser configurado en cero si se supone que no hubo cambios en las pautas de atribución de biomasa subterránea (Nivel 1).

El IPCC (2006) propone valores por defecto para la existencia de carbono en biomasa en tierras de cultivos durante un año, desde el inicio de la rotación hasta su cosecha. Los valores han sido trabajados para cada región climática y con errores permisibles equivalentes a una estimación nominal (como porcentaje de la media).

2.2.2.8 Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) en suelos de uso agrícola en la aplicación de fertilizantes con Urea (Fertilizantes)

El uso de fertilizantes con urea es un tipo de fuente de emisiones considerada y estimada en el Sector de Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU). La Urea (CO(NH₂)₂) se convierte en amonio (NH₄⁺), ión hidróxilo (OH⁻), y bicarbonato (HCO₃⁻) en presencia de agua y de enzimas de ureasa. Este bicarbonato que se forma, se convierte en CO₂ y agua (IPCC, 2006). Las emisiones de CO₂ debido al uso de fertilizantes con urea se estimaron utilizando la fórmula del cuadro 9.

Cuadro 9. Emisiones anuales de CO₂ por la aplicación de Urea.

| |
|---|
| $CO_2 \text{ Emisión} = M \cdot EF$ |
| Donde: Emisión de CO ₂ : emisiones anuales de C por aplicación de urea, $t \text{ C año}^{-1}$ |
| M: cantidad anual de fertilización con urea, $t \text{ urea año}^{-1}$ |
| FE: factor de emisión, $t \text{ de C (t de urea)}^{-1}$. |

Fuente: IPCC, 2006.

De acuerdo a las directrices del IPCC (2006), la elección del factor de emisión para la implementación de la ecuación anterior depende del método empleado. Por defecto, el Nivel 1 (en términos de metodología para la generación de informes y documentación) opera con un valor equivalente a 0,20 para emisiones de carbono en la aplicación de urea, mientras que el Nivel 2 y 3, se basan en la estimación de C año tras año, con el fin de derivar un valor específico del país. El uso de un factor de emisión igual a 0,2, es la equivalencia al contenido de carbono de la urea sobre la base de su peso atómico (20% para CO (NH₂)₂).

2.2.2.9 Emisiones de Óxido Nitroso (N₂O) en suelos de uso agrícola

El óxido nitroso es un producto intermedio gaseoso en la secuencia de reacción de la desnitrificación y un producto derivado de la nitrificación que se fuga de las células microbianas al suelo y, en última instancia, a la atmósfera (IPCC, 2006).

El nitrógeno fijado mediante el proceso biológico no se ha considerado como fuente directa de N₂O, debido a la falta de pruebas significativas de emisiones causadas por el proceso de fijación en sí. Se ha llegado a la conclusión de que las emisiones de N₂O inducidas por el crecimiento de los cultivos leguminosos/forrajes solamente puede estimarse en función de los ingresos nitrógeno aéreo y subterráneo de residuos de cultivos/forraje (IPCC, 2006). En su forma más sencilla, y mediante la elección de método Nivel 1 sugerido por el IPCC (2006), las emisiones directas de N₂O en suelos gestionados se estimaron de acuerdo a la fórmula del cuadro 10.

Cuadro 10. Emisiones directas de N₂O de suelos gestionados

| |
|--|
| $N_2O_{Directas-N} = N_2O-N_{N\text{ aportes}} + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP}$ |
| <p>Donde: $N_2O-N_{N\text{ aportes}}$: $[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \cdot EF_{RF}]$</p> <p>$N_2O-N_{OS}$: $[(F_{OS,CG,Temp} \cdot EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \cdot EF_{2CG,Trop}) + (F_{OS,F,Temp,NR} \cdot EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \cdot EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} \cdot EF_{2F,Trop})]$</p> <p>$N_2O-N_{PRP}$: $[(F_{PRP, CPP} \cdot EF_{3PRP, CPP}) + (F_{PRP, SO} \cdot EF_{3PRP, SO})]$</p> <p>$N_2O_{Directas-N}$: emisiones directas anuales de N₂O–N producidas a partir de suelos gestionados, kg N₂O–N año⁻¹</p> <p>$N_2O-N_{aportes N}$: emisiones directas anuales de N₂O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados, kg N₂O–N año⁻¹</p> <p>N_2O-N_{OS}: emisiones directas anuales N₂O–N de suelos orgánicos gestionados, kg N₂O–N año⁻¹</p> <p>N_2O-N_{PRP}: emisiones directas anuales de N₂O–N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, kg N₂O–N año⁻¹</p> <p>FSN: cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético, kg N año⁻¹</p> <p>FON: cantidad anual de estiércol animal, <i>compost</i>, lodos cloacales y otros aportes de N aplicada a los suelos, kg N año⁻¹</p> <p>FCR: cantidad anual de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y la renovación de forraje/pastura, que se regresan a los suelos, kg N año⁻¹</p> <p>$FSOM$: cantidad anual de N en suelos minerales que se mineraliza, relacionada con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica del suelo como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra, kg N año⁻¹</p> <p>FOS: superficie anual de suelos orgánicos gestionados, ha</p> <p>$FPRP$: cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo sobre pasturas, prados y praderas, kg N año⁻¹</p> |

Fuente: IPCC, 2006.

2.2.3 Balance de Gases de Efecto Invernadero

Los resultados finalmente fueron presentados en una tabla de balance de GEI. Incluye todas las fuentes/sumidero de emisión/captura definidos en el alcance del proyecto, mostrando cantidades físicas de referencia (litros, toneladas, unidades animales, etc.), factores de emisión de GEI, emisiones de GEI y absorciones de carbono en los componentes naturales del sistema.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del sistema de producción

El predio está situado en la localidad de Colhue, en la ruta I-60 que une las comunas de Pumanque y Población. Presenta una superficie de 56 ha (figura 2).

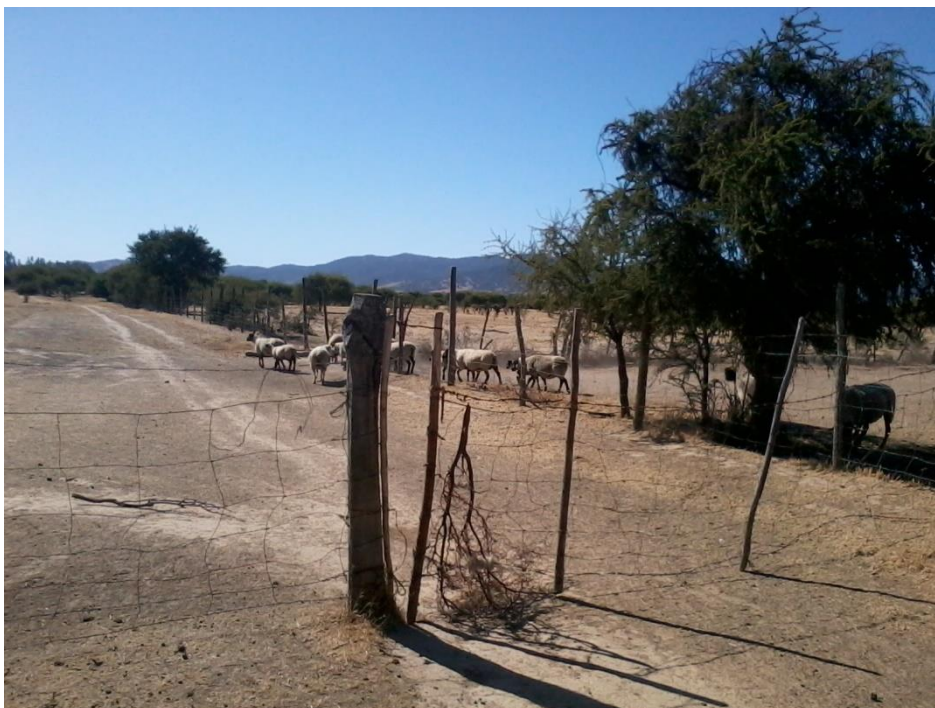


Figura 4. Vista general del sistema agroforestal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

3.1.1 Características de la familia

La familia está constituida por 3 integrantes: don Aladino Villagra de 75 años, jefe de hogar que trabaja en su predio; su señora de 62 años, dueña de casa que dedica su tiempo a los quehaceres del hogar y a actividades menores en el predio; y su hijo menor de 28 años, estudiante universitario y que dedica tiempo libre a labores del hogar y el predio.

El jefe de hogar y su señora, perciben una pensión solidaria equivalente a 3,641 UF² mensuales por concepto de jubilación, lo que en conjunto corresponde a 87,398 UF anuales.

De los productos obtenidos en el sistema de producción, la familia obtiene ingreso por la venta de pequeñas cantidades de carbón, trigo y animales menores y mayores (gallinas, pavos, corderos y vacunos), lo que anualmente equivale a 52,310 UF.

En total, el ingreso familiar asciende a un valor de 131,710 UF anuales aproximadamente.

² Valor de UF equivalente a \$23.606. al 31 de Marzo de 2014.

3.1.2 Descripción del sistema de producción

El sistema agroforestal abarca una superficie de 55 ha, y su componente leñoso es *Acacia caven* (Mol.) Molina (espino), el cual posee una distribución variable en toda su extensión. El agrícola abarca una superficie de 5,8 ha y está compuesto por avena y trigo. El componente animal está formado por 80 ovinos, 25 bovinos y 2 equinos, en sus diferentes categorías (cuadro 11).

Cuadro 11. Tipo de animales y cantidad presente en el sistema. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Animal | Categoría | Ejemplares | Carga animal por categoría |
|--------|------------|------------|----------------------------|
| Bovino | Vaca | 17 | 17 |
| | Novillo | 1 | 0,8 |
| | Vaquilla | 6 | 3,6 |
| Ovino | Oveja | 43 | 5,16 |
| | Borrega | 17 | 2,04 |
| | Cordero(a) | 20 | 1 |
| Equino | Yegua | 1 | 1,2 |
| | Potrillo | 1 | 0,9 |
| | Total | 106 | 31,7 |

El subsistema agrícola está constituido por cultivos de avena y trigo, de 3 y 2,8 ha respectivamente. Aportan suplemento de forraje a los animales a través de la producción de fardos y rastrojo; y productos de consumo familiar como avena y trigo en grano. Ambos cultivos son fertilizados principalmente con urea, al iniciar la producción. El proceso para la obtención de los productos agrícolas se encuentra asociado al uso de arados, la fertilización y la cosecha.

Los animales se encuentran dispersos en la pradera y los terrenos arables. En el caso de los ovinos, el carnero es arrendado en la temporada de reproducción, por lo que el encaste es dirigido. Todos los animales son desparasitados anualmente.

3.1.2.1 Infraestructura y equipamiento

El propietario cuenta con galpón y bodega para el almacenamiento y guarda de productos de su predio. Posee un corral para el resguardo de los ovinos durante la noche, dos bebederos, dos norias, un sistema de bombeo rústico y un pozo elaborado por el mismo propietario. El transporte de insumos y productos se realiza a través de vehículos adquiridos por el mismo dueño, y la mano de obra disponible es variable de acuerdo a las necesidades del momento, generalmente proviene de vecinos o familiares cercanos.

3.2 Registro de emisiones y fijaciones de gases en el sistema

3.2.1 Emisión de Gases de Efecto Invernadero según alcances

El propietario y su familia utilizan a diario combustible para el traslado de insumos y/o productos y energía eléctrica del Sistema Interconectado Central (SIC). En ambos casos, las emisiones involucradas son parte del registro según alcances bajo las directrices del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), que para el caso del uso de combustible, la emisión es directa y es parte de los alcances tipo 1 (Scope 1); mientras que la electricidad consumida, la emisión es indirecta y es parte de los alcances tipo 2 (Scope 2).

El uso de electricidad en el sistema de producción está ligado a la energía necesaria para el funcionamiento de una bomba extractora de agua en las dos norias que el propietario utiliza habitualmente para dar de beber a los animales del predio (actividad acentuada en el periodo estival). Para efectos del estudio, se recopilieron los registros de consumo mensual de electricidad en la propiedad (kWh), lo que involucra consigo el consumo de luz en el hogar, considerado también como parte del sistema.

Las emisiones mencionadas anteriormente fueron calculadas mediante el uso de factores de emisión dispuestos por el departamento de Inventario de Emisiones de GEI para Pymes del Ministerio de Energía y Minas para el año 2014, cuyos resultados de emisión de CO₂ equivalente en un período de un año para electricidad y combustible, se presentan en el cuadro 12 y 13, respectivamente.

Cuadro 12. Emisión anual de CO₂ equivalente en toneladas por el uso de electricidad. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Fuente de Emisión | Consumo Promedio Mensual (kWh) | Promedio tCO ₂ equivalente (kWh) | Emisión Total Anual tCO ₂ equivalente |
|-------------------|--------------------------------|---|--|
| Electricidad | 3.612 | 0,00036 | 1 |

El consumo de electricidad anual en el predio, equivale a 3.612 kWh aproximadamente, lo que se traduce indirectamente en una emisión total de 1,3 toneladas de CO₂ equivalente.

El consumo de combustible en vehículos de uso propio es parte de las emisiones directas del sistema. El propietario utiliza los dos vehículos para el traslado de estanques con agua, leña, insumos de trabajo y herramientas en general.

Cuadro 13. Emisión anual de CO₂ equivalente en toneladas por el uso Combustible. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Fuente de Emisión | Consumo Anual Estimado (m ³) | Factor de emisión Gasolina (Kg CO ₂ m ⁻³) | Emisión Total Anual tCO ₂ equivalente |
|-------------------|--|--|--|
| Combustible | 148 | 2,35 | 0,33 |

El factor de emisión de gasolina para vehículos en el país supone una emisión de 2,35 Kg de CO₂ por cada m³ de combustible utilizado. En el cálculo de toneladas de CO₂ emitidos a la atmósfera, sólo se consideraron los kilómetros de trabajo incluidos en las actividades prediales, directamente relacionados al funcionamiento del sistema de producción, con un total de 0,33 toneladas de CO₂ equivalente.

3.2.2 Fijación de Carbono en biomasa de espinos

El bosque estudiado está compuesto por espinos con distribución heterogénea en el predio. La distribución de diámetros medidos a la altura de tocón (DAT) muestra que la mayor cantidad de árboles se encuentra en las cuatro primeras clases diamétricas, mientras que los menores valores se presentan en las clases superiores (cuadro 14). Este tipo de distribución se asocia a la multietaniedad de los individuos. Sin embargo, la menor cantidad de ejemplares en la clase de DAT 3 en el bosque semidenso, se debe a la presión que ejerce el ganado (ramoneo), por aquellos árboles más jóvenes y con densidad menor, permitiendo el libre acceso de los animales en su extensión.

Los sectores ralos del espinal representan el 60% de la superficie total que posee el sistema agroforestal. Según Donoso *et al* (2009), esta situación de bosque es común en la zona central del país, lugar en que se encuentran los más altos porcentajes de población rural. Debido a esta pobreza asociada, no es extraño presenciar un nivel de extracción del recurso superior a su capacidad de producción, debido principalmente al sobrepastoreo, al reemplazo para el establecimiento de terrenos agrícolas y a la extracción de leña y producción de carbón.

Al analizar la distribución de área basal por hectárea (cuadro 14), se aprecia que el 79,7% y 75,3% (bosque denso y semidenso, respectivamente) del área basal total, se concentra entre las clases diamétricas 3 y 18 cm de DAT. Donoso *et al* (2009) indican que este comportamiento es característico de rodales en estado de desarrollo avanzado. En el caso del sector más ralo, la cantidad de árboles en las clases superiores es relativamente mayor, debido al distanciamiento y baja competencia de los individuos.

Cuadro 14. Número de árboles y área basal por hectárea, para cada estrato de bosque de espino, según clase de DAT. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Clase DAT ³ (cm) | Ralo | | Semidenso | | Denso | |
|--------------------------------|------------|---|------------|---|-------------|---|
| | Nha | Área Basal (m ² ha ⁻¹) | Nha | Área Basal (m ² ha ⁻¹) | Nha | Área Basal (m ² ha ⁻¹) |
| 3 | 15 | 0,01 | 141 | 0,10 | 432 | 0,31 |
| 8 | 3 | 0,02 | 139 | 0,69 | 636 | 3,21 |
| 13 | 29 | 0,38 | 81 | 1,05 | 364 | 4,83 |
| 18 | 30 | 0,76 | 58 | 1,46 | 120 | 3,05 |
| 23 | 15 | 0,62 | 5 | 0,22 | 44 | 1,82 |
| 28 | 6 | 0,37 | 10 | 0,64 | 12 | 0,74 |
| 33 | 16 | 1,37 | 2 | 0,22 | 4 | 0,34 |
| Total | 114 | 3,54 | 439 | 4,37 | 1612 | 14,30 |

³ DAT: Diámetros Altura de Tocón.

El resultado final de la estimación de existencias de biomasa en los estratos definidos fue de 564 toneladas (cuadro 15).

Cuadro 15. Biomasa de espino según sectores y total. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Sectores espinos | Biomasa total (toneladas) |
|------------------|---------------------------|
| Ralo | 30 |
| Semidenso | 313 |
| Denso | 221 |
| Total | 564 |

Las estimaciones de carbono almacenado en sistemas arbóreos asumen en su mayoría, un valor de 0,5 respecto a la biomasa del componente (IPPC, 2006). La cantidad de carbono en árboles en sistemas silvopastoriles puede variar típicamente entre 0,42 y 0,47 (Andrade e Ibrahim, 2003). Gayoso (2001), en sus resultados de obtención de biomasa y carbono en bosque nativo siempre verde, determinó que los porcentajes de carbono no son superiores al 50% del total de la biomasa, sin embargo los valores son muy cercanos entre sí, variando entre 41,05 y 46,65%, con un promedio de 44, 10%.

Por lo tanto, la existencia de carbono en la biomasa arbórea del bosque estudiado asciende a 282 tC.

3.2.3 Fijación de Carbono en suelo asociado al bosque

El suelo que sostiene la formación densa de espinos posee una capa superficial orgánica con materia en descomposición (1-2 cm) y horizontes B en todo el perfil, del tipo franco limoso y franco arcilloso. En el caso del suelo de la vegetación semidensa, las condiciones y características son similares, de color más claro y una capa superficial mineral con alta presencia de raíces. Donoso *et al* (2009) sostienen que estos suelos son derivados de material granítico (de sectores costeros y al interior, desarrollados de roca granítica, afectados por la erosión hídrica), con alta vulnerabilidad a la erosión de manto y zanjas, de drenaje interno moderadamente lento y externo rápido, de baja fertilidad y sufren de encostramiento superficial.

En el cuadro 16, se presenta el total de carbono orgánico por hectárea para cada uno de los sectores de bosque definidos.

Cuadro 16. Carbono orgánico del suelo en los 3 sectores del bosque de espino. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Sector | Peso Seco (gr) | Densidad Aparente (gr cm ⁻³) | ⁴ COS (t ha ⁻¹) |
|-----------|----------------|--|--|
| Ralo | 237,61 | 1,08 | 9,4 |
| Semidenso | 255,55 | 1,16 | 10,1 |
| Denso | 346,87 | 1,58 | 13,7 |

⁴ Carbono Orgánico del Suelo.

El sector ralo registra la menor cantidad de carbono orgánico acumulado en el perfil superficial. Parte de estos sectores (ralo 4 y ralo 5) son utilizados para los cultivos agrícolas establecidos en el predio, donde el espaciamiento de los individuos arbóreos permite el buen trabajo de la tierra, según lo indicado por el propietario. Garfias (2001) menciona que en las regiones de Valparaíso, O'Higgins y del Maule es frecuente encontrar este tipo de prácticas con cultivos de trigo bajo la cobertura de *Maytenus boaria* (maitén), *Quillaja saponaria* (quillay) o espino (nitrificador potencial de este tipo de sistemas, lo que favorece la calidad y fertilidad de los suelos). Martínez *et al* (2008) por su parte, indican que los suelos con cultivos, desde que se inicia el sistema a su uso intensivo, pierden entre el 30% y 50% de carbono orgánico, considerando también que la pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus en suelos no perturbados, razón por la cual se puede explicar la cantidad de carbono en estos sectores más ralos, respecto a los estratos densos y semidensos de bosque.

Estos efectos son acompañados con los porcentajes de erosión registrados en los últimos años en la zona, que en el caso de la Región de O'Higgins, el 35% de la superficie presenta erosión moderada, el 49% es erosión severa y el 58% muy severa. Esta erosión, a diferencia del norte del país, es causada en gran medida por la intervención humana (CIREN, 2010).

El total de carbono estimado en la extensión total de estos suelos en el predio asciende a un total de 554 tC, sobre la base de una estimación con muestras hasta 30 cm de profundidad.

3.2.4 Fijación de Carbono en pradera asociada al bosque

La productividad de las praderas naturales en la zona central del país es pobre, debido a la baja fertilidad de los suelos (Martínez *et al*, 2008). En aquellos lugares donde la cobertura del bosque es menor, la pradera se desarrolla con tasas de crecimiento levemente más bajas en comparación a los sectores de mayor cobertura espinal, donde alcanza alturas de hasta 30 cm en algunos casos; por ende la existencia de materia seca es mayor (cuadro 17).

Cuadro 17. Biomasa en pradera, según tipo de formación boscosa, en toneladas por hectárea. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Sector | Biomasa (t ha ⁻¹) |
|-----------|-------------------------------|
| Ralo | 0,88 |
| Semidenso | 1,05 |
| Denso | 0,93 |

La mayor presencia de biomasa se observa en aquellas formaciones semidensas de espino. Ovalle y Avendaño (1984), concluyen que la pradera natural bajo doseles en crecimiento presenta un aumento de producción de materia seca, lo cual estaría indicando que el recubrimiento no es una limitante en términos de intercepción de luminosidad cuando se está en bajo condiciones de doseles poco densos.

Se constata una relación directa entre la producción de materia seca en praderas y la cobertura del bosque. La tendencia es que la mayor producción se observa en aquellas formaciones con cobertura de dosel entre el 12 y 69%, disminuyendo paulatinamente en

aquellas formaciones cuya cobertura es mayor al 80%. En formaciones más ralas, donde la cobertura promedio es de 2,03%, la producción es más baja respecto al resto. Estos resultados son similares a los indicados por Ovalle y Avendaño (1984) para aquellos recubrimientos más bajos (con cobertura cercana al 50%), donde la contribución al rendimiento total de materia seca bordea las 1,6 t ha⁻¹. Sin embargo, en los recubrimientos superiores al 80%, los valores difieren en cuanto a la tendencia de aumento de materia seca asociada a la cobertura del dosel. Los autores indican que las formaciones más densas de espino permiten una contribución más elevada (3,30 t ha⁻¹), distinto a los resultados de este estudio, donde la producción de pastos refleja tasas de crecimientos desaceleradas en ese tipo de formaciones (0,90 t ha⁻¹).

Se espera que la cantidad de pradera, y por consiguiente de biomasa, aumente en los sectores más densos de bosque luego de alguna intervención silvicultural, o la extracción directa de productos leñosos. En otras palabras, la captura de carbono en los sistemas de producción campesina se podría potenciar con el buen uso de los recursos naturales, permitiendo de principio a fin el desarrollo de las especies herbáceas y arbóreas de la zona.

A nivel del predio, la extensión de la pradera contiene un total de 51 tC almacenado.

3.2.5 Emisiones de Metano (CH₄) en el componente animal

Las emisiones anuales de metano en el componente animal, según categorías, se presenta en el cuadro 18.

Cuadro 18. Emisiones de Metano CH₄, según categoría animal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Ganado | Categoría | FE KgCH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹ | Emisión GgCH ₄ año ⁻¹ | Emisión tCH ₄ año ⁻¹ |
|--------|-----------|---|---|--|
| Bovino | Vaca | 64 | 0,001088 | 1,09 |
| | Novillo | 49 | 0,000049 | 0,05 |
| | Vaquilla | 49 | 0,000294 | 0,29 |
| Ovino | Oveja | 5 | 0,000215 | 0,22 |
| | Borrega | 5 | 0,000085 | 0,08 |
| | Cordero | 5 | 0,0001 | 0,10 |
| Equino | Yegua | 18 | 0,000018 | 0,02 |
| | Potrillo | 18 | 0,000018 | 0,02 |
| | | Total | 0,001867 | 1,87 |

Las mayores emisiones provienen de los bovinos, con 1,4 toneladas de CH₄ al año, correspondiente al 76,6% del total de las emisiones de metano del componente animal. Según menciona el IPCC (2006), el tamaño de los animales y su estructura de población son factores determinantes en las tasas de emisión de metano. En cuanto a los vacunos, los ejemplares más grandes y con altos niveles de producción (vacas lecheras) se encuentran en América del Norte y en Europa Occidental, mientras que los más pequeños se encuentran en Asia, África y el subcontinente indio.

Utilizando el método Nivel 1, los factores de emisión no se basan en datos específicos del país y puede que no representen exactamente las características del ganado en cuestión. Es poco factible que las estimaciones de los factores de emisión basadas en el Nivel 1 tengan un grado de exactitud mayor al 30%. Sin embargo, la revisión y estimación de emisiones de acuerdo a un método Nivel 3 requieren de una previa comprobación de importancia de emisiones ganaderas a nivel nacional, con un trabajo riguroso de agentes del ámbito internacional para su aprobación, realidad poco factible para el presente estudio (IPCC, 2006). Es por esto que se procedió con estimaciones de acuerdo al método Nivel 2, utilizando los factores de emisión indicados para cada categoría animal presente en el lugar.

De acuerdo al potencial de calentamiento global de GEI (GWP $\text{CH}_4= 28$) según el IPCC (2014), el componente animal del área de estudio emite un total de 74 tCO₂ equivalente.

Debido a la digestión de los rumiantes, la ganadería es responsable de cerca del 23% de las emisiones de CH₄ globales de origen antrópico. En España por ejemplo, la contribución ganadera a las emisiones de metano supera el 35%, de las cuales el 65% provienen del ganado bovino (Cambra-López *et al.*, 2008). En el caso de Colombia, la proyección de emisiones de metano en actividades del sector pecuario para el 2010 representan el 70% de la participación de los gases de efecto invernadero (González y Rodríguez, 2010). En Chile, el ganado vacuno no lechero es la mayor importancia con el 61%, seguido del lechero con el 24%. Luego las ovejas con 8,7% de las emisiones, 2,2% los cerdos y caballos, y 1,5% las cabras (MMA, 2014).

De Ramus *et al.* (2003), mencionan que las emisiones anuales de metano por novillonas de carne en pastoreo estuvieron entre 32 y 83 kg, y entre 60 y 95 kg para vacas adultas, que pastoreaban diferentes tipos de praderas. Esta situación es similar a la observada en el estudio, donde las emisiones anuales de vacas adultas ascienden a 64 kg, mientras que la subcategoría vaquilla presenta valores cercanos a 49 kg de metano emitido.

3.2.6 Fijación de Carbono en suelos de uso agrícola

El predio cuenta con una porción agrícola cuyos cultivos trabajados por el propietario son avena y trigo. Ambos son manejados con fertilizantes en base a urea, y sus productos principales, luego de la cosecha, son el grano de trigo y la producción de fardos (bultos de forraje seco) para ambas especies. El IPCC (2006) considera la subcategoría de tierra de cultivo que puede estar presente en el país, cuyos valores por defecto de acuerdo a sus directrices, y que se relacionan al sistema estudiado, están ligados a los sistemas agroforestales del mundo.

Para la estimación total de C fijado en los suelos agrícolas del área de estudio, se consideraron los pesos de materia seca promedio para cada especie (trigo y avena) en una superficie equivalente a una hectárea. La existencia total de carbono en el suelo agrícola se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19. Existencia de Carbono en tierras de uso agrícola. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Especie | Incremento medio anual C ha ⁻¹ | Sup (ha) | Toneladas C ha ⁻¹ | Total Carbono |
|---------|--|----------|------------------------------|---------------|
| Avena | 2,1 | 3 | 0,342 | 2,15 |
| Trigo | 2,1 | 2,8 | 0,325 | 1,91 |
| | | | Total | 4,07 |

González (2006) da énfasis en la versatilidad de la avena como recurso forrajero estrella en las zonas de secano, debido principalmente a su adaptación en diferentes condiciones de cultivo, y además de hacer posible una rotación intensiva con el trigo, alternando el uso del suelo año por medio y mejorando de manera considerable las perspectivas económicas de los productores. Rouanet (2005) informa que el trigo alcanza rendimientos en Chile de 1,97 t ha⁻¹ de materia seca cuando el cultivo precedente es trigo y no es manejado con herbicidas para gramíneas. ODEPA (2005) por su parte, indica que los rendimientos promedio de avena a nivel nacional son de 43,9 qq⁵ ha⁻¹, versus el trigo con promedio de 45,7 qq ha⁻¹.

No obstante, los resultados obtenidos difieren considerablemente con la información mencionada por los autores. En la última cosecha realizada en 2014, la producción de trigo ascendió a 39 qq en una superficie de 2,8 hectáreas (lo que equivale a unas 0,67 t ha⁻¹). De las 5,8 hectáreas con régimen de cultivo, las 3 restantes son destinadas a la siembra de avena separadas en dos sitios independientes. En el mismo año, la producción de avena en grano fue de 60 qq (1 t ha⁻¹); valor muy por debajo a la realidad promedio nacional mencionada y a los datos registrados en el secano interior, cuyos valores fluctúan entre 2,5 y 3,6 t ha⁻¹, dependiendo de la especie de avena a cultivar (Soto y Ruiz, 1996).

Esto lleva a discusión el estado y calidad de los suelos en la zona de secano en la Región de O'Higgins, entendiéndose que la productividad de los suelos depende de la porción de materia orgánica existente, y por consiguiente la fracción de carbono en el lugar.

3.2.7 Emisiones de CO₂ en la aplicación de fertilizantes con Urea

En el cálculo de estas emisiones, el procedimiento es sencillo, y se consideró la cantidad total de fertilizante aplicado anualmente a los cultivos de avena y trigo en una superficie de 5,8 hectáreas, dando como resultado final, 1,25 toneladas de CO₂ equivalente (Cuadro 20). El propietario aplica 5 sacos de fertilizante (sacos de 50 kg) luego de que aparece el macollo (brotes secundarios a partir de las yemas axilares), utilizando anualmente un total de 1.700 kg.

En algunos casos la urea es aplicada con otros compuestos nitrogenados y es necesario estimar la proporción de urea contenida en la solución de fertilizantes para poder obtener la cantidad neta total. No obstante, si se desconoce la proporción, se considera una buena práctica suponer que toda la solución es urea y no subestimar las emisiones de la subcategoría (IPCC, 2006).

⁵ qq: Quintal.

Cuadro 20. Emisión de CO₂ en toneladas en el uso de fertilizantes. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Sup. Fertilizada (ha) | t de fertilizante | ⁶ Factor de Emisión | Emisión anual tCO ₂ |
|-----------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 5,8 | 1,7 | 0,2 | 1,25 |

Según el IPCC (2006), el método se puede emplear bajo los Niveles 1, 2 y 3, y se sugiere que los países utilicen valores superiores si las emisiones de CO₂ de la urea constituyen una categoría de fuente principal.

En Chile, el uso de fertilizantes en el sector de procesos industriales no figura como principal fuente de emisión de gases, muy por el contrario, representa el 6,1% de las emisiones totales, después de la Energía y la Agricultura (MMA, 2014).

Para el caso de las emisiones provenientes del predio estudiado, el uso de fertilizantes es una pequeña porción de las emisiones totales en el sistema de producción, representando el 6% del total de las emisiones del predio, cuyo factor de emisión involucrado y utilizado es el sugerido en la metodología Nivel 1 de las directrices del IPCC (2006).

En 2010, a nivel nacional, las emisiones de GEI del sector de procesos industriales contabilizaron 5.543,2 GgCO₂ equivalente, con un incremento del 78,3% desde 1990. Como principal causante del incremento se encuentran la producción de metanol, la industria del cemento y la industrial de la cal y urea (MMA, 2014).

Martínez *et al.* (2008) mencionan que la presencia de carbono orgánico en el suelo favorece las propiedades de infiltración de agua y el desarrollo de plantas y cultivos. Aun cuando la zona central del país se caracteriza por contener suelos de baja fertilidad, el uso de abono y fertilizantes en la tierra es una buena alternativa para el aumento de su productividad.

3.2.8 Emisiones de Óxido Nitroso (N₂O) en suelos de uso agrícola

Al considerar la cantidad total de nitrógeno aplicado a la tierra por concepto de fertilizantes y la cantidad de nitrógeno contenido en el estiércol del componente animal, además de la porción que es emitida producto de la descomposición de la materia orgánica de los cultivos, se obtuvo un total estimado de N₂O igual a 65,6 Kg al año. Lo anterior, en vista y considerando que el reparto del nitrógeno procedente del estiércol puede sufrir pérdidas por la actividad de los cultivos, la lixiviación en los suelos y la desnitrificación (Iglesias, 1995).

Cuadro 21. Emisión de N₂O en toneladas anuales en suelos de uso agrícola. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Sup. (ha) | kg N ₂ O año ⁻¹ | GWP | tCO ₂ año ⁻¹ |
|-----------|---------------------------------------|-----|------------------------------------|
| 5,8 | 65,59 | 265 | 17,4 |

⁶ Fuente: IPCC, 2006.

MMA (2014) indica que el N_2O es el principal gas del sector de la agricultura proveniente de los suelos agrícolas, contabilizando el 54,7% de las emisiones a nivel nacional, seguido por el CH_4 (45,3%).

Entre las variables más relevantes utilizadas en el cálculo final de emisiones de N_2O en suelos agrícolas, se encuentra el depósito anual de estiércol proveniente de bovinos, ovinos y equinos en el lugar, además de la cantidad anual de N depositado como fertilizante.

Según Sierra y Rojas (2012), un vacuno de 450 a 500 kg tiene la capacidad de producir 17 kg de estiércol entre 1 a 2 días, dependiendo de la zona climática y la disponibilidad de forraje y/o alimento. Dicho depósito orgánico al suelo puede contener entre 0,3 a 0,5% de nitrógeno, con una relación C/N de 12,2. Iglesias (1995) menciona que en la producción animal y la composición de diferentes tipos de estiércol en España, una Unidad de Ganado Mayor (U.G.M.), equivalente a una vaca adulta de 550 kg de peso vivo, produce una cantidad de estiércol que contiene 90 kg de nitrógeno al año; valor que difiere bastante en comparación a los resultados obtenidos en las estimaciones del predio, donde una vaca adulta produce una cantidad de estiércol anual que contiene aproximadamente 31,025 kg de nitrógeno.

Esto se debe principalmente al valor nutricional del forraje disponible en praderas y alimento suplementario, siendo una situación relativamente beneficiosa para el conteo final de emisiones, considerando que la cantidad de nitrógeno depositado a los suelos repercute directamente en las tasas de des nitrificación y emisión de N_2O .

En el caso de los ovinos y equinos, la relación C/N es de 20 y 30 respectivamente, con el 0,8% de N en el caso de los ovinos y 0,5% de N en los equinos (Sierra y Rojas, 2012).

Tal y como indica el IPCC (2014), el potencial de calentamiento que posee el óxido nitroso (GWP N_2O = 265), respecto al CO_2 , es de doscientas sesenta y cinco veces mayor. En definitiva, el tonelaje de nitrógeno emitido en el predio en el período de un año, posee una equivalencia de 17,4 t CO_2 , considerando que la emisión sólo contempla una extensión pequeña de cultivos y que el manejo sobre el subsistema agrícola es del tipo tradicional. Esto deja en evidencia la preocupación por el buen manejo del ganado y el tipo de forraje destinado a las distintas categorías animales, lo que repercute directamente en la dieta del animal y el contenido de nutrientes que componen las excreciones liberadas al ambiente.

3.3 Inventario de GEI en el Sistema Agroforestal

Los resultados demuestran la importancia de los componentes naturales en un sistema campesino, cuando las absorciones de carbono son asumidas en gran cantidad por los suelos y la formación vegetal existente. El bosque de espinos representa el 31% del total de las absorciones en el predio, mientras que el suelo a nivel superficial logra la absorción más importante, con el 63%.

Dentro de las emisiones, la más importante y catalogada en los alcances de tipo 1, es el total de N_2O proveniente del subsistema agrícola, correspondiente al 91% del total de las emisiones estimadas.

Cuadro 22. Inventario de GEI, Sistema Agroforestal. Caso de estudio, Comuna de Pumanque.

| Alcance GHG Protocol | Fuente de emisión GEI | Referencia física | | FE | Emisión GEI | |
|-----------------------------|--|-------------------|----------|---|--------------------------------------|------------|
| | | Unidad | Cantidad | tCO ₂ e unidad ⁻¹ | tCO ₂ e año ⁻¹ | % |
| 1 | Consumo de combustible | | | | | |
| | Gasolina | litros | 148 | 0,002350 | 0 | 0 |
| | Emisión de proceso | | | | | |
| | Producción animal (digestión anaeróbica + excreciones) | UA | 32 | 2,341700 | 74 | 87 |
| | Suelo cultivo agrícola (urea) | ha | 6 | 4,678600 | 4 | 4 |
| 2 | Consumo energía eléctrica | | | | | |
| | SIC 2014 | kWh | 3.612 | 0,000360 | 1 | 2 |
| 3 | Insumos principales | | | | | |
| | Fertilización nitrogenada (urea) | t | 2 | 6,924001 | 5 | 6 |
| | Otros agroquímicos | t | | | | |
| | Transporte de trabajadores (externos) | personas | | | | |
| | Manufactura combustibles (alcance 1) | litros | 148 | 0,000464 | 0 | 0 |
| Subtotal Emisión GEI | | | | | 85 | 100 |
| Fuera Alcance GHG Protocol | Capturas de carbono en Sistema Agroforestal | | | | | |
| | Suelo | ha | 55 | 0 | 0 | 0 |
| | Espinal ralo | ha | 31 | 0 | 0 | 0 |
| | Espinal semidenso | ha | 15 | 0 | 0 | 0 |
| | Espinal denso | ha | 9 | 0 | 0 | 0 |
| | Pradera natural | ha | 55 | 0 | 0 | 0 |
| | Subtotal Captura Carbono | | | | | 0 |
| Emisión GEI neta | | | | | 85 | |
| | Existencias de carbono en Sistema Agroforestal | | | | | |
| | Suelo | ha | 55 | 38 | 2.070 | 63 |
| | Aéreo - Espinal ralo | ha | 31 | 2 | 55 | 2 |
| | Aéreo - Espinal semidenso | ha | 15 | 38 | 574 | 17 |
| | Aéreo - Espinal denso | ha | 9 | 46 | 405 | 12 |
| | Aéreo - Pradera natural | ha | 55 | 3 | 188 | 6 |
| Total | | | | | 3.291 | 100 |

Los factores de emisión presentados en la tabla anterior preceden de datos tabulados para cada tipo de emisión. Mediante la multiplicación con las unidades para cada fuente, se obtiene el tonelaje total de cada situación.

3.3.1 Emisiones en el Sistema

El total de CO₂ equivalente asciende a 85 toneladas al año, proveniente de los alcances 1, 2 y 3 definidos, con fuentes de emisión tales como combustible y electricidad, emisión de metano por fermentación entérica y uso de fertilizantes en los cultivos.

En el uso de fuentes indirectas, las emisiones provenientes de la electricidad son producto del funcionamiento de las bombas extractoras utilizadas por el propietario para la obtención de agua. Este consumo de energía es fundamental en la producción animal anual, ya que en períodos meteorológicos desfavorables, el agua en la región es escasa.

Esta situación se repite en todo Chile central, acentuada fuertemente en las zonas de secano de cada región. Según el MEM (2015), la estimación de GEIs permite a los pequeños y medianos productores (si así lo desean) optar por una verificación o certificación de sus emisiones anuales, ya sea directas o indirectas, con factores de emisión adecuados a cada fuente de emisión.

La opción les permite mejorar la gestión interna para reducir y mitigar sus emisiones mensuales o anuales. Lo anterior, pensando en que el registro y uso de la herramienta no poseen costo alguno. Sin embargo, queda en discusión si el acceso a la información y/o la implementación de programas de esta índole es el adecuado.

Los trabajos en terreno dejan en evidencia el poco o nulo conocimiento de la gente respecto a la gestión que se puede realizar en estos temas climáticos, y la importancia que tiene el registro de emisiones en un sistema productivo tradicional campesino. A pesar de que este caso comprende emisiones poco relevantes a nivel nacional, la certificación es una instancia para mejorar los procesos y actividades en distintos rubros o sectores productivos, y contribuir a la vez, con el medio ambiente.

Pese a esto, la mayoría de las empresas y/o compañías en Chile no gestionan sus emisiones. Según el Comité de Cambio Climático de la Cámara Chileno Británica del Comercio, el 96% de las empresas en el Reino Unido reportan su huella de carbono, situación distinta a la que presenta Chile, ya que sólo 132 empresas realizan medición, lo que representa cerca del 0,01% de las compañías en el país durante el 2013 (CCB, 2014).

Otra fuente indirecta registrada, es el uso de fertilizantes en los cultivos anuales. Es causante también, de las emisiones de proceso estimadas por N₂O en el sistema, ya que en su aplicación a la tierra, reaccionan las grandes cantidades de nitrógeno que contiene.

En aquellos suelos pobres, los fertilizantes son una opción para aumentar a la producción y el desarrollo agrícola. La demanda por productos minerales para la elaboración de fertilizantes en las últimas décadas, ha provocado que la producción en el sector de procesos industriales llegue a cifras importantes (cercano a los 5.543,2 GgCO₂ eq⁻¹ en el año 2010 (MMA, 2014)). En este sentido, los sistemas forestales integrados se sitúan como una opción viable para mejorar la calidad de insumos y productos, y por lo tanto disminuir las emisiones de gases. Es una propuesta interesante desde el punto de vista de ampliación del rango de nutrientes disponible para el ganado bovino, por ejemplo, y en la mejora de los parámetros fermentativos a nivel ruminal, lo que implica un mejor uso de los nutrientes y por ende, mayores parámetros productivos. Se considera una buena práctica el uso de

abono natural sobre suelos de uso agrícola en períodos de rastrojo y la gestión de estiércol sobre los cultivos agrícolas (Carmona *et al.*, 2005).

Dicho esto, la calidad del forraje proveniente de especies suplementarias cultivadas también es un aspecto importante de considerar, pues repercute directamente en las emisiones de metano provenientes del componente animal por fermentación entérica. Los rendimientos en la producción son evidencia de la calidad de la alimentación que se proporciona a las distintas subcategorías animales. Cambra-López *et al* (2008), indican que la alimentación en los sistemas productivos más intensivos en España son a base de raciones de alta digestibilidad, en consecuencia, generan menores emisiones de CH₄. Sobre lo mismo, Carmona *et al* (2005) mencionan que los registros más altos de CH₄ en los distintos tipos de animal corresponden a gramíneas de baja calidad nutricional, con sistemas de pastoreo rotacional y baja disponibilidad forrajera, mientras que los datos más bajos corresponden a praderas mejoradas, con sistemas de pastoreo rotacional, fertilización y con alta disponibilidad de forraje.

El uso de sistemas agroforestales permite abordar estrategias conjuntas de adaptación y mitigación del cambio climático. El uso combinado de especies forestales como sombra de cultivos agrícolas contribuye tanto a la diversidad de productos como a la generación de microclimas, medidas que disminuyen los riesgos ante cambios en las variables meteorológicas (Elliot, 2014; Garfias, 2011).

Las experiencias peruanas sobre la agroforestería, por ejemplo, han estado vinculadas a la crítica por el hecho de que especies forestales afectan a los cultivos de forma negativa, ya que compiten por nutrientes y luz, generando menores producciones. A pesar de las críticas, los resultados ambientales y productivos han sido alentadores. En diversas evaluaciones, se confirmó que los productores lograron buenos niveles productivos en los cultivos y que en algunos casos, daban uso de la madera de los árboles en construcciones rurales (Elliot, 2014).

En Colombia, en la década de los años noventa, los intentos por revertir la problemática de cambio climático tuvieron su enfoque en medidas de adaptación con el objetivo de generar información, reducir los impactos en la regulación hídrica, proponer modelos de planificación del uso de la tierra y buscar la adaptación final en agro-ecosistemas productivos. Este último punto se implementó de forma participativa, con experiencias agroecológicas, agroforestales y planeación predial (IDEAM, 2001).

Finalmente, el buen manejo de los recursos naturales y el suministro adecuado de insumos y productos en un sistema campesino pueden favorecer la evolución y la problemática del cambio climático en cuanto a las emisiones que del sistema provengan, lo que involucra una optimización económica y niveles de producción mayores a los obtenidos tradicionalmente.

3.3.2 Fijaciones en el Sistema

A nivel predial, las existencias de carbono en los componentes naturales refleja la participación ecológica y ambiental que posee el bosque y su entorno como sumideros potenciales frente al cambio climático (cuadro 22).

Debido a su extensión, el suelo asociado a las formaciones naturales de espinos representa la mayor fijación de carbono en comparación al bosque y la pradera, con el 62% del total. Las mediciones en estos suelos arrojaron cifras cercanas a 10 tC ha^{-1} , a una profundidad de medición de 30 cm. FAO (2002), a través del Departamento de Desarrollo Sostenible, dio a conocer un estudio realizado en Francia (1999) sobre la tendencia general de la captura de carbono en los suelos forestales. Dicho estudio arrojó un balance completo de carbono en un ecosistema boscoso. Del total medido, el 51% del carbono estaba almacenado en el suelo, con un total de 71 tC ha^{-1} , cuyas estimaciones fueron realizadas a 1 m de profundidad; valor muy cercano a los proporcionados por el IPCC (2006) para los bosques de Estados Unidos.

La situación en suelos de pastoreo no difiere mucho a los datos anteriores, puesto que el carbono estimado en estos suelos es de 70 tC ha^{-1} (FAO, 2002), pero sí hay diferencias respecto a los obtenidos en este estudio, puesto que en aquellos sectores de pastoreo con categoría animal ovina y bovina, el carbono orgánico en promedio es de 11 tC ha^{-1} , valor bajo en comparación a los mencionados; lo que se explica por el mal estado de los suelos del secano interior de la localidad evaluada.

La calidad de los suelos repercute directamente en las formaciones vegetacionales existentes en un lugar. El estado de conservación de los bosques de espinos en la zona central del país está ligado a la intervención humana y al cambio de uso de la tierra (Donoso *et al*, 2009). Los resultados del estudio demuestran el estado de desarrollo del bosque establecido en un terreno plano del valle, con suelos ligeramente profundos y bien drenados, con valores de área basal entre $3,5$ y $14,3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (cuadro 14) según la densidad de la formación boscosa y una estructura de monte bajo. Estudios en comunas cercanas demuestran la evolución de las formaciones naturales de espinos. En la Comuna de San Pedro por ejemplo, en el año 1995 el espinal presentaba valores de área basal cercanos a $24,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, cuya situación topográfica es similar al estudio. En el 2009, los espinales de la Región Metropolitana registraron valores menores de área basal igual a $9,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, en situación de lomajes con pendientes susceptibles a la erosión (Donoso *et al*, 2009).

La variación en las formaciones naturales se debe a la presión antrópica ejercida en los rodales, ya sea a través de la extracción de productos del bosque como a la liberación de animales en el lugar. Según lo planteado por Vita (1997), la forma más efectiva de combatir estos procesos es realizar un manejo sostenible de los recursos, con intervenciones acorde a las condiciones actuales de los bosques. Donoso *et al* (2009) defienden esta idea argumentando que la extracción de individuos en actividades de raleo provoca el aumento a futuro del área basal del bosque, por consiguiente de biomasa fustal y total del árbol debido al aumento de la clase diamétrica. En definitiva, este aumento de biomasa en especies nativas permite que los sumideros naturales se acrecienten cada vez más, influyendo positivamente en el almacenamiento de carbono en el país.

4. CONCLUSIONES

El manejo de animales en la producción campesina, el arreglo de la capacidad de carga asociada al pastoreo, y la dieta adecuada en términos de digestibilidad y calidad nutricional, son aspectos altamente manejables en el sector de la agricultura, lo que permite aumentar los rendimientos en la producción animal y reducir las emisiones de metano al ambiente.

El ahorro de energía en las actividades asociadas al uso de electricidad permite mitigar las emisiones de CO₂ equivalente al ambiente a través de la inversión de equipos de mayor rendimiento y/o cuotas de uso de electricidad en ciertos períodos del día. Esto repercute directamente en un ahorro a mediano plazo para el propietario, además de encaminar las vías para reducir o subestimar las emisiones totales, que son producto del funcionamiento del sistema agroforestal.

El almacenamiento de carbono en los componentes naturales del sistema es el factor clave en el balance y huella de carbono del sistema. La formación natural de espino investigada demuestra ser un potencial sumidero, cuya fijación de carbono resultó ser la segunda mayor en todo el sistema, con un total de 282 tC.

Los más altos niveles de carbono en suelo y pradera se encuentran en aquellas formaciones donde la densidad del bosque es mayor, y viceversa.

Los suelos de uso agrícola se ven influenciados por la presencia de espinos, donde los mayores aportes de materia orgánica en las asociaciones espino-avena o espino-trigo se evidencian en situaciones de mayor cobertura arbórea. Las ventajas radican tanto en la calidad y fertilidad de los suelos, como en el aporte de nitrógeno dispuesto para plantas menores y cultivos temporales, ya que con esto se reduce el manejo de fertilizantes u otro tipo de aditivos artificiales.

En las interacciones silvopastoriles, las buenas prácticas silviculturales en formaciones naturales permiten el emprendimiento de pasturas de mayor calidad, dando paso a un desarrollo sustentable de los ecosistemas forestales y el control de GEI en el marco del cambio climático.

La emisión de GEI neta igual a 85 tCO₂ en el período de un año es compensada con las existencias de carbono en la extensión total del sistema agroforestal, con un total de 3.291 tCO₂ almacenado en los componentes naturales del SAF.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, S. e INFANTE, P. 1988. Función de biomasa para Boldo (*Peumus boldus*) y Espino (*Acacia caven*). [En línea] <<http://biblioteca1.infor.cl:81/DataFiles/18440.pdf>> [Fecha Consulta: 20 Enero 2014].
- ANDRADE, H., e IBRAHIM, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? [En línea] Agroforestería de las Américas Vol. 10, 2003. <<ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6378s/x6378s00.pdf>> [Consulta: 25 Febrero de 2014].
- CAMBRA-LÓPEZ, M., GARCÍA, P., ESTELLÉS, F., y TORRES, A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: El Factor de Conversión de Metano. [En línea] <http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/08_12_01_1231REVISIO NUnaRevisionCambra010408270508.pdf> [Fecha Consulta: 28 Octubre de 2014].
- CARMONA, J., BOLÍVAR, D. y GIRALDO, L. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. [En línea] <<http://www.redalyc.org/toc.oa?id=2950&numero=22975>> [Fecha Consulta: 28 Octubre 2014].
- CCB (CÁMARA CHILENO BRITÁNICA). 2014. Comité de Cambio Climático. [En línea] <<http://www.britcham.cl/comites/1/comite-de-cambio-climatico>> [Fecha Consulta: 20 Abril 2015].
- CIREN. 2010. Informe final, Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Suelos para uso silvoagropecuario, Cap 9. Santiago.
- DONOSO, S., PEÑA, K. y DÍAZ, K. 2009. Rendimiento volumétrico de raleo de un rodal de *Acacia caven* en la Región Metropolitana, Chile. [En línea] <<http://biblioteca1.infor.cl:81/DATAFILES/25162-2.pdf>> [Fecha Consulta: 28 Diciembre 2013].
- DE RAMUS, A., CLEMENT, T., GIAMPOLA, D. y DICKISON, P. 2003. Methane emissions of beef cattle of forages: efficiency of grazing management systems. [En línea] <<http://www.grazingbestprac.com.au/research/grazing/Methane%20&%20grazing%20systems%20research,%20DeRamus%20et%20al.pdf>> [Fecha Consulta: 28 Octubre 2014].
- ELLIOT, J. 2014. Experiencias de mitigación y Adaptación con Sistemas Agroforestales. [En línea] <<http://www.solucionespracticas.org.pe/Experiencias-de-mitigacion-y-adaptacion-con-sistemas-agroforestales-2>> [Fecha Consulta: 22 Abril de 2015].
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). 2002. Tendencia general de la captura de carbono en el suelo. [En línea] <<http://www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s05.htm>> [Fecha Consulta: 22 Abril 2015].

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). 2008. Conclusiones y Recomendaciones en la X Reunión de la Comisión de Desarrollo Ganadero para América Latina y el Caribe (XCODEGALAC). [En línea] <http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/CODEGALAC/2008_conosur/memorias.pdf> [Fecha Consulta: 25 Febrero de 2014].

FIA (FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA). 2014. Huella de Carbono de Productos de Exportación Agropecuarios de Chile. [En línea] <http://www.fia.cl/Portals/0/UID/Documentos/Fichas_iniciativas/10/EST-2009-0270.pdf> [Fecha Consulta: 17 Diciembre de 2014].

GARFIAS, R. 2011. Agroforestería Práctica, Elementos Conceptuales y Casos de Estudio. Edición preliminar. Santiago, Chile. 78p.

GAYOSO, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. [En línea] Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1 N°1. <http://www.uach.cl/procarbono/pdf/docs_publicaciones/gayoso_2001_venezuela.pdf> [Fecha Consulta: 28 Diciembre de 2013].

GONZÁLEZ, M. 2006. Recursos suplementarios: Forrajes o Cultivos Suplementarios. La Platina. [En Línea] <<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR34674.pdf>> [Fecha Consulta: 15 Enero 2015].

GONZÁLEZ, F. y RODRÍGUEZ, H. 2010. Proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) Colombia. Rev Acad Colomb Cienc (1998-2010); 23. 497-505.

GUZMÁN, M. y SAGER, R. 2009. Inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luís. RIA, n°1, vol. 39. 88-94

IDEAM. 2001. Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña. [En línea] <http://www.academia.edu/4822606/Sistemas_Agroforestales_y_Restauraci%C3%B3n_Ecol%C3%B3gica_como_medidas_de_adaptaci%C3%B3n_al_cambio_clim%C3%A1tico_en_alta_monta%C3%B1a_Caso_piloto> [Fecha Consulta: 22 Abril de 2015].

IGLESIAS, L. 1995. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. [En línea] <http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf> [Fecha Consulta: 15 Enero 2015].

INFOR (INSTITUTO FORESTAL). 2014. Informe Final Proyección Escenario Línea Tendencial 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Silvoagropecuario y Cambio de Uso de Suelo. [En línea] <http://mapschile.cl/files/2015/Informe_Final_Sector_Silvoagropecuario.pdf> [Fecha consulta: 02 Junio 2015].

INIA (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DE CHILE). 2014. Agricultura y Cambio Climático. [En línea] <<http://www.inia.cl/investigacion-y-desarrollo/programas-nacionales-de-investigacion/sustentabilidad-y-ambiente/agricultura-y-cambio-climatico/>> [Fecha Consulta: 17 Diciembre 2014].

IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). 2006. Directrices del IPCC para el 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, vol4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Cap. 4, 5, 10 y 11. [En línea] <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>> [Fecha Consulta: 28 Agosto de 2014].

IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

MARTINEZ, E., FUENTES, J. y ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. [En línea] <<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>> [Fecha Consulta: 25 Agosto 2014].

MEM (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS). 2015. Inventario de Emisiones de GEI para Pymes, Factores de emisión. [En línea] <<http://huelladecarbono.minenergia.cl/>> [Fecha Consulta: 25 Enero 2015].

MMA (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE). 2011. Segunda Comunicación de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. [En línea] <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50880_documentoCambioClimatico.pdf> [Fecha Consulta: 03 Junio de 2015].

MMA (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE). 2013. Plan de Integración de los Aspectos Sociales y Ambientales en la Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático. [En línea] <http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1374600803_SESAjulio2013.pdf> [Fecha consulta: 02 Junio 2015].

MMA (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE). 2014. Sistema Nacional de Inventarios de gases de Efecto Invernadero de Chile. Primer informe bienal de actualización de Chile. [En Línea] <<http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-54740.html>> [Fecha Consulta: 29 Octubre de 2014].

OVALLE, C., y AVENDAÑO, J. 1984. Utilización silvopastoral del espinal. Influencia del espino (*Acacia caven* Mol.) sobre la productividad de la pradera natural. [En línea] <<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR02531.pdf>> [Fecha Consulta: 22 Abril 2015].

ODEPA. 2005. Estadísticas Agrarias. [En línea] <<http://www.odepa.cl/estadisticas/productivas/>> [Fecha Consulta: 24 Abril 2015].

ROUANET, J. 2005. Rotaciones de cultivos y sus beneficios en la agricultura del sur. Fundación Chile. [En línea] <<http://www.sap.uchile.cl/descargas/rotaciones/Rotaciones%20de%20cultivos%20y%20sus%20beneficios.pdf>> [Fecha Consulta: 15 Enero 2015].

SIERRA, C. y ROJAS, C. 2012. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. INIA. [En línea] <www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR28123.pdf> [Fecha Consulta: 15 Enero 2015].

SOTO, P. y RUIZ, I. 1996. Forrajes suplementarios de invierno y verano. Praderas para Chile. 2 ed. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 109-138.

SUBDERE. 2014. Pumanque, Provincia de Colchagua. [En Línea] <<http://www.subdere.gov.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-de-ohiggins/provincia-de-colchagua/pumanque>> [Fecha Consulta: 26 Agosto 2014]

UNFCCC (CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). 2010. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [En línea] <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>> [Fecha Consulta: 14 Marzo 2014].

VITA, A. 1997. Silvicultura de formaciones nativas. En: Forestación y Silvicultura en zonas áridas y semiáridas de Chile. Valdebenito, G. y Benedetti, S. (Eds.). Seminario internacional: "Forestación y silvicultura en zonas áridas y semiáridas. INFOR. pp 257-273

WBCSD (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT). 2001. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Edición revisada. México, 132p.