

Universidad Nacional  
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar  
Escuela de Ciencias Ambientales

**MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DEL SECTOR FORESTAL  
Y USO DE LA TIERRA (FOLU) DE LOS CANTONES DE GRECIA Y RÍO CUARTO,  
ALAJUELA, COSTA RICA**

Proyecto de graduación para optar por la Licenciatura  
en Comercialización de Productos Forestales

Roberto Rodríguez Sánchez

Tutor: Federico E. Alice Guier

Lectoras: Maureen Arguedas Marín

Vanessa Valerio Hernández

Heredia, 2017

## ACTA DE APROBACIÓN

El Tribunal Examinador aprobó el trabajo titulado  
Mitigación del cambio climático a través del sector forestal y uso de la tierra (FOLU) del  
cantón de Grecia, Alajuela, Costa Rica

Como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en  
Comercialización de Productos Forestales

### Miembros del Tribunal

---

M.Sc. Rafael Murillo Cruz  
En representantación del Decano, FCTM

---

PhD. Segio Molina Murillo  
En representación de la Dirección EDECA

---

M.Sc. Federico E. Alice Guier  
Tutor(a)

---

M.Sc. Maureen Arguedas Marín  
Lector (a)

---

M.Sc. Vanessa Valerio Hernández  
Lector(a)

---

Bach. Roberto Rodríguez Sánchez  
Postulante

Fecha: 1 de diciembre de 2017

## Resumen ejecutivo

Los cantones de Grecia y Río Cuarto, influenciados por la Estrategia Nacional de Cambio Climático, iniciaron procesos de planificación considerando el cambio climático. Para contribuir en dichos procesos, el presente estudio determinó las opciones de mitigación del sector forestal y uso de la tierra, mediante un proceso participativo con actores sociales clave de ambos municipios; además del potencial real de mitigación y el balance de gases de efecto invernadero (GEI). Esto se hizo siguiendo el capítulo IV de las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero del Panel Intergubernamental de Experto sobre Cambio Climático (IPCC) del 2006, y validando la información con los actores sociales clave entrevistados. En Grecia se presenta una conversión de cafetales y cañales a urbanismo, que representa la emisión de 52 708,65 Mg CO<sub>2</sub>-eq. Según representantes del sector cafetalero y cañero, este cambio de uso de la tierra puede evitarse si los precios que reciben los productores aumentan. Para representantes del sector institucional, esa medida es limitada, ya que los precios de esos productos se rigen por reglas del mercado. En Río Cuarto, pastizales, bosques y plantaciones forestales ceden ante la rentabilidad de la actividad piñera, la cual presentó un incremento de 1 689,53 ha y 91 076,34 Mg CO<sub>2</sub>-eq emisiones. Para representantes del sector institucional y ganadero, no existe alternativa para evitar esta situación. Se plantea por otros actores la posibilidad de declarar moratorias que regulen el crecimiento de esa actividad productiva. Los actores clave consultados afirmaron que existen posibilidades de aumentar la cobertura arbórea en ambos municipios. El mayor potencial de mitigación de GEI es presentado por la plantación de árboles en cafetales, con un secuestro de 6,68 Mg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en promedio. Empero, existen barreras como el tradicionalismo, la falta de interés de los productores y el costo de mantenimiento y de producción que deben superarse. Mediante la consulta a los actores sociales las propuestas presentadas adquieren condiciones de viabilidad.

Es necesario que los municipios tomen las acciones necesarias y coordinen los esfuerzos existentes; además de recurrir a exoneraciones del pago del impuesto sobre el inmueble y a pagos por servicios ambientales, para promover tanto el establecimiento de cafetales arbolados como la reducción de la pérdida de cobertura arbórea.

Eu sou essa pessoa a quem o vento chama,  
a que não se recusa a esse final convite,  
em máquinas de adeus, sem tentação de volta.

Todo horizonte é um vasto sopro de incerteza:

Eu sou essa pessoa a quem o vento leva:  
já de horizontes libertada, mas sozinha.

Se a Beleza sonhada é maior que a vivente,  
dizei-me: não quereis ou não sabeis ser sonho?

Eu sou essa pessoa a quem o vento rasga.  
Pêlos mundos do vento, em meus cílios guardadas  
vão as medidas que separam os abraços.

Eu sou essa pessoa a quem o vento ensina:

«Agora és livre, se ainda recordas»".

Cecília Meireles

## **Dedicatoria**

A las raíces que componen mi sangre: mi papá, mi mamá, mis abuelas y abuelos.

A Glori, la lora de la casa.

A mis compañeros y compañeras, en especial a Christian Zúñiga, Marcela Segura, Jhon Solano, Andrea Fallas, Luis Retana y Carla Padilla.

A la vida.

A las montañas de la niñez.

A las nubes moradas de diciembre.

A las tristezas y melancolías.

Al grillo, que cantaba cuando escribía estas palabras.

## **Agradecimientos**

A Andrés Cortez, funcionario de la Unidad de Ambiente de la Municipalidad de Grecia, por el compromiso que desde un primer momento tuvo con el proyecto. El tiempo invertido en las giras a Río Cuarto y Grecia, y sus aportes, que fueron fundamentales en el reconocimiento en campo de los usos de la tierra de ambos cantones.

A Víctor Hidalgo, de la Municipalidad de Grecia, por confiar desde un principio en la importancia que este estudio tendría para el municipio.

Al Proyecto: “Manejo de Carbono a Nivel Local” de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, por darme la oportunidad de contribuir en el logro de las metas y objetivos de este, específicamente en el cantón de Grecia.

A Federico E. Alice por el conocimiento dado y ser el soporte en este proceso que aún continúa, pero bajo otro nombre.

A Maureen Arguedas por haber aceptado fungir como lectora y brindarme el asesoramiento en el área social del proyecto.

A la Comisión de Carbono Neutralidad de Grecia, ya que gracias a ella se lograron corroborar y ajustar datos a las realidades cantonales.

A mi familia, por brindarme el apoyo necesario para alcanzar las metas que me he establecido.

A la Municipalidad de Grecia por el financiamiento brindado.

A mis compañeros y compañeras que han caminado durante este viaje.

Y a cada costarricense que mes a mes aporta arduamente un granito de arena para que los objetivos solidarios bajo los cuales se fundó nuestro Estado social de derecho se cumplan. Objetivos que me permitieron estudiar y contribuir en un futuro próximo en la retribución de esa ayuda invertida.

## Tabla de contenidos

Resumen ejecutivo .....	iii
Acrónimos .....	xv
1 Introducción .....	1
2 Justificación .....	2
3 Problema .....	4
4 Objetivos .....	5
4.1 General.....	5
4.2 Específicos.....	6
5 Marco teórico .....	6
5.1 Potencial de mitigación .....	6
5.1.1 Reservorios de carbono .....	7
5.1.2 Usos de la tierra.....	7
5.1.3 Cambios de uso de la tierra .....	8
5.1.4 Período del inventario .....	9
5.1.5 Estimación de las emisiones y absorciones GEI .....	10
5.1.6 Incertidumbre .....	11
5.2 Medidas de mitigación.....	12
5.3 Mecanismos para la implementación de medidas de mitigación en el sector FOLU .....	14
5.3.1 Mercados de carbono .....	14

5.3.2	Impuestos .....	15
5.3.3	Subvenciones.....	15
5.3.4	Incentivos no financieros .....	16
5.3.5	Esquemas de certificación.....	16
5.3.6	Políticas públicas de uso de la tierra .....	17
5.3.7	Mecanismos no basados en el mercado.....	17
6	Metodología .....	18
6.1.	Descripción del sitio .....	18
6.2.	Determinación de sectores clave que contribuyen al balance de absorciones y emisiones .....	20
<b>6.2.1.</b>	<b>Inventario de emisiones y absorciones para el sector FOLU.....</b>	<b>20</b>
6.3.	Identificación del potencial técnico de mitigación de GEI.....	26
6.3.1.	Áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador .....	26
6.3.2.	Cafetales y pastos .....	28
6.3.3.	Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea.....	31
6.4.	Identificación participativa de las medidas de mitigación.....	31
7.	Resultados .....	33
7.1.	Determinación de los sectores clave que contribuyen al balance de emisiones y absorciones .....	33
7.1.1.	Cantón de Grecia.....	33

7.1.2.	Cantón de Río Cuarto .....	36
7.1.3.	Balance de emisiones y absorciones .....	38
7.1.4.	Incertidumbre .....	38
7.2.	Identificación del potencial de mitigación del sector FOLU del cantón de Grecia....	39
7.2.1.	Cantón de Grecia.....	39
7.2.2.	Cantón de Río Cuarto.....	40
7.2.3.	Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea.....	42
7.3.	Identificación participativa de medidas de mitigación.....	43
7.3.1.	Reducción de emisiones por cambios de uso de la tierra.....	43
7.3.2.	Aumento de cobertura arbórea .....	44
7.3.3.	Áreas de protección.....	45
7.3.4.	Taller con productores cafetaleros .....	46
8.	Discusión.....	46
8.1.	Determinación de los sectores clave que contribuyen al balance de emisiones y absorciones .....	46
8.1.1.	Emisiones por cambios de uso de la tierra .....	46
8.1.2.	Absorciones por cambios de uso de la tierra.....	49
8.1.3.	Incertidumbre .....	50
8.2.	Identificación del potencial de mitigación del sector FOLU del cantón de Grecia....	51
8.2.1.	Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea.....	53

8.3.	Definición de medidas de mitigación .....	53
8.3.1.	Reducción de emisiones por cambios de uso de la tierra .....	53
8.3.2.	Aumento de cobertura arbórea .....	55
8.3.3.	Áreas de protección .....	57
9.	Conclusiones .....	59
10.	Recomendaciones .....	60
10.1.	Grecia .....	60
10.2.	Río Cuarto .....	61
10.3.	Ambos .....	61
11.	Literatura citada .....	62
12.	Anexos .....	79

## **Índice de cuadros**

Cuadro 1.	Barreras que limitan la implementación de medidas de mitigación en el sector FOLU. ....	13
Cuadro 2.	Categorías, sub categorías y estratos de uso de la tierra a utilizar para la determinación del potencial de mitigación en el sector FOLU del cantón de Grecia y Río Cuarto. ....	23
Cuadro 3.	Ecuaciones para la estimación de la biomasa arriba del suelo acumulada en bosques secundarios. Fuente: Cifuentes 2008. ....	27

Cuadro 4. Incrementos corrientes anuales para teca y melina empleados. Fuente: Murillo <i>et al.</i> (2013).	30
Cuadro 5. Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea en el cantón de Río Cuarto.	42

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de los territorios de Grecia y Río Cuarto.	19
Figura 2. Flujos de absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero generados por cambios de uso de la tierra generadas en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.	35
Figura 3. Flujos de absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero generados por cambios de uso de la tierra generadas en el cantón de Río Cuarto durante el período 2005-2012.	37
Figura 4. Balance de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero del sector FOLU por distrito del cantón de Grecia y Río Cuarto para el período 2005-2012.	38
Figura 5. Potencial de mitigación presente en el cantón de Grecia.	40
Figura 6. Potencial de mitigación presente en el cantón de Río Cuarto.	41

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Volumen total por árboles de cedro en cafetales de Pérez Zeledón. (González 2016).	29
Ecuación 2. Fijación de CO <sub>2</sub> a largo plazo para sistemas silviculturales de sistemas de rotación. Fuente: The Gold Standard 2013.	31

## Índice de anexos

Anexo 1. Supuestos establecidos para cada reservorio de carbono, y categoría, subcategoría y estrato de uso de la tierra.....	79
Anexo 2. Factores de emisión de la biomasa por uso de la tierra empleados para estimar las emisiones y absorciones de GEI.....	82
Anexo 3. Datos empleados para estimar el potencial de mitigación de las áreas de protección de ríos, nacientes y aquellas definidas por el plan regulador del cantón de Grecia. ....	87
Anexo 4. Cuestionario empleado en las entrevistas semiestructuras. ....	88
Anexo 5. Distribución de la conversión de usos de la tierra a asentamiento y asentamientos que permanecieron como tales en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.....	92
Anexo 6. Distribución de la conversión de usos de la tierra a cañales y cañales que permanecieron como tales en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.....	93
Anexo 7. Distribución de la conversión de usos de la tierra a café con sombra y cultivos de café con sombra que permanecieron como tales en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.....	94
Anexo 8. Distribución de las conversiones de usos de la tierra a piña y cultivos de piña que permanecieron como tales en el cantón de Río Cuarto durante el período 2005-2012.....	95
Anexo 9. Distribución de las conversiones de usos de la tierra a pastos arbolados y pastos arbolados que permanecieron como tales en el cantón de Río Cuarto durante el período 2005-2012.....	96
Anexo 10. Incertidumbre total para el inventario del cantón de Grecia y contribución a la varianza por uso de la tierra. ....	97
Anexo 11. Incertidumbre total para el inventario del cantón de Río Cuarto y contribución a la varianza por uso de la tierra. ....	98

Anexo 12. Medidas de mitigación para reducir las emisiones de GEI por cambio de uso de la tierra mencionadas por los actores clave consultados del cantón de Grecia. ....	99
Anexo 13. Medidas de mitigación para aumentar la cobertura arbórea mencionadas por los actores clave consultados del cantón de Grecia. ....	100
Anexo 14. Barreras existentes para proteger las áreas de protección de ríos, nacientes, y plan regulador, y alternativas para superarlas según los actores clave consultados del cantón de Grecia. ....	101
Anexo 15. Medidas de mitigación priorizadas por productores cafetaleros en el taller realizado. ....	102

## **Acrónimos**

ANEXCO: Ananas Export Company S.A.

ASADAS: Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados  
Comunales

BVAS: biomasa viva aérea y subterránea

CANAPEP: Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña

CO<sub>2</sub>-eq: Dióxido de carbono equivalente

CORFOGA: Corporación Ganadera

COS: carbono orgánico del suelo

FOLU: forestal y uso de la tierra

FONAFIFO: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal

GEI: Gases de Efecto Invernadero

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

MOM: materia orgánica muerta

NAMA: Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada

PSA: Pagos por Servicios Ambientales

UNAGUAS: Unión de Acueductos Comunales del cantón de Grecia

## 1 Introducción

Las tierras forestales de los cantones de Grecia y Río Cuarto presentaron una reducción de su área del 38%, durante el período 1992-2000, producto de la conversión a otros usos de la tierra (MAG 1992, EOSL *et al.* 2002). Este tipo de cambio de uso de la tierra ha sido catalogado como la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector forestal y uso de la tierra (FOLU) a nivel global (Tubiello *et al.* 2014). De hecho, se estima que dicho sector contribuye al 12% de las emisiones de GEI mundiales (Smith *et al.* 2014).

Paralelamente, el sector FOLU es considerado como un sumidero neto de carbono debido a la presencia de compartimientos (e.g. biomasa arriba del suelo) que disminuyen la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> (Rapaport y Lind 2003, IPCC 2006a, Smith *et al.* 2014). Esto puede ser potenciado mediante medidas de mitigación que mejoren y aumenten el secuestro de carbono (e.g. reforestación, aforestación), o bien eviten el cambio de uso de la tierra (Smith *et al.* 2014).

Los cantones de Grecia y Río Cuarto experimentaron un aumento en el secuestro de carbono durante el período 2000-2005 debido, en parte, a la aplicación de políticas de estado (e.g. pagos por servicios ambientales, eliminación de incentivos a la producción agropecuaria, entre otras) que lograron aumentar un 3% de la superficie de las tierras forestales respecto al período 1992-2000 (EOSL *et al.* 2002, EOSL *et al.* 2006, MAG 1992, Navarro, Obando & Corella, *et al.* 2008). A pesar de ello, solo el 18,5% de la superficie forestal de ambos cantones juntos contaba con contrato o estaba a la espera de obtener uno con el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) para acceder a alguna modalidad del Pago por Servicios Ambientales (PSA) en el 2014 (FONAFIFO, 2014b). Esto sugiere que gran parte de

los terrenos con cobertura y capacidad forestal de ambos cantones no propicia la permanencia o el aumento de sus capacidades para absorber carbono atmosférico.

El aumento o permanencia de la cobertura forestal estará limitado por las actividades productivas desarrolladas en Grecia y Río Cuarto, las cuales se basan principalmente en prácticas agropecuarias (Municipalidad de Grecia, 2003); por lo cual es necesario diseñar políticas y estrategias de cambio climático que incorporen dentro de sus alcances tanto actividades forestales como no forestales, en donde se reconozcan los diferentes intereses y percepciones de las partes que hacen uso de los recursos (Bustamante *et al.*, 2014).

Es por ello que este estudio pretende evidenciar la interacción de los diferentes usos y cambios de uso de la tierra presentes en el cantón de Grecia y Río Cuarto, durante el período 2005-2012, en donde se determinan aquellos que contribuyen al balance de emisiones y absorciones de GEI. Además, identifica el potencial de áreas de protección, cafetales y pastos para mitigar el cambio climático dentro de los cantones mencionados, y señala las posibles medidas de mitigación que pueden ser desarrolladas según la percepción de actores sociales consultados.

## **2 Justificación**

La creciente preocupación de la sociedad sobre las implicaciones del cambio climático global ha dado lugar al desarrollo de una variedad de soluciones para controlar y reducir la emisión de GEI a escala global y local (D'Avignon *et al.* 2010); ante las cuales, los Gobiernos nacionales y locales poseen un papel preponderante para llevarlas a la práctica e influenciar la cantidad de emisiones y absorciones generadas dentro de sus territorios (Rapaport y Lind, 2003). Es por ello que el Gobierno de Costa Rica ha propuesto como una de las opciones para

mitigar las emisiones antropogénicas de GEI, la absorción de carbono en sumideros forestales, la cual ha sido políticamente considerada en la formulación e implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y de la meta Carbono Neutralidad al año 2021 (MINAET 2009), y la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD+; FCPF 2013).

Dada la influencia que ejerce la Estrategia Nacional de Cambio Climático, algunos Gobiernos locales de Costa Rica (San Rafael y Belén –en la provincia de Heredia– y Grecia –en la provincia de Alajuela–) han iniciado procesos estratégicos de planificación para el desarrollo considerando el cambio climático, mediante los cuales se crean oportunidades de mitigación (e.g. aumento de sumideros de carbono, manejo del estiércol, manejo de residuos orgánicos), (Municipalidad de Grecia, 2011, Rodríguez *et al.* 2013, Rodríguez 2014). Sin embargo, el entendimiento del comportamiento de las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> locales (Sippel, 2011), como el conocimiento de las actitudes, motivaciones y objetivos de las poblaciones es primordial (Feliciano *et al.* 2014), para aprovechar el potencial de mitigación presente en el diseño de políticas y estrategias de cambio climático.

Actualmente, no existen estudios en los que se determine cuál es el potencial real de mitigación de GEI del cantón de Grecia y Río Cuarto en el sector FOLU y cuáles son los mecanismos socialmente aceptados mediante los cuales serán promovidas las medidas de mitigación. Es por ello que el presente estudio pretende cuantificar el balance neto de emisiones, identificar acciones que tienen el potencial de mitigación, y evidenciar cuáles son las alternativas para disminuir la emisión y aumentar las absorciones de GEI y las barreras relacionadas. Esto servirá de insumo para la creación de una estrategia participativa de cambio climático local que favorezca un desarrollo humano integral, una distribución equitativa de los

beneficios generados, y una comunicación efectiva entre los actores involucrados y el Gobierno local.

### **3 Problema**

La implementación de políticas y estrategias locales para el alcance de metas de mitigación en el sector forestal y uso de la tierra (e.g. reducción de emisiones, aumento de sumideros de carbono; FOLU) generan tensiones que deben ser valoradas considerando los costos de oportunidad de un uso específico de la tierra y la percepción de las comunidades (Bustamante *et al.* 2014, Duesberg *et al.* 2014). Para ello, se ha optado por el diseño de mecanismos que consideran créditos de carbono pagados mediante transacciones de mercado, impuestos, subsidios, fideicomisos, entre otros (Paiva 2014; Rich *et al.* 2014; Smith *et al.* 2014; Skutch *et al.*, 2011).

La mitigación del cambio climático a través de mecanismos financieros no siempre alcanza las proyecciones propuestas, debido a que los involucrados en este proceso también responden a otros factores, tales como tecnología, conocimiento, entre otros (Duesberg *et al.*, 2014); por lo que se ha propuesto optar por mecanismos no financieros (e.g. transferencia de conocimiento) que aumenten la efectividad, eficiencia y equidad de las políticas de cambio climático, o bien, aumenten su capacidad de enfrentar las amenazas ambientales y económicas (Duesberg *et al.* 2014; Global Forest Coalition, 2013; Paiva, 2014).

El Gobierno de Costa Rica acogió un mecanismo financiero basado en el mercado (llamado: Mercado Doméstico Voluntario de Carbono) como una de las medidas para lograr la meta de carbono neutralidad establecida en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Salgado *et al.*, 2012). Este mecanismo puede ser considerado como una alternativa dentro de las

estrategias locales de cambio climático. Sin embargo, antes de incursionar en él, es necesario valorar las implicaciones legales y la rentabilidad en que un productor o el municipio pueden incurrir, así como el nivel de aceptación que tiene entre los actores sociales involucrados.

Feliciano *et al.* (2014) sugieren, por su parte, la implementación conjunta de mecanismos financieros y no financieros para alcanzar las metas de mitigación. Esto dada la existencia de barreras sociales y educativas que podrían entorpecer el alcance de las medidas de mitigación definidas.

La determinación del mecanismo bajo el cual se solventen las necesidades concernientes al alcance de las medidas de mitigación en el sector FOLU requiere el apoyo de los actores sociales, económicos y políticos inscritos dentro de los territorios bajo análisis. Sin embargo, antes de definir cuál debe ser el mecanismo a emplear, es necesario conocer el potencial de mitigación del cambio climático que posee el sector forestal y uso de la tierra, así como las acciones socialmente aceptadas, mediante las cuales puede aprovecharse el potencial de mitigación existente. Información aún desconocida por los tomadores de decisión del cantón de Grecia y Río Cuarto.

## **4 Objetivos**

### **4.1 General**

Contribuir en la formulación de políticas y estrategias de cambio climático a nivel local a través de la determinación de medidas de mitigación en el sector forestal y uso de la tierra (FOLU) del cantón de Grecia y Río Cuarto.

## 4.2 Específicos

- Determinar los sectores que contribuyen en mayor medida al balance de emisiones y absorciones de GEI para conocer el comportamiento del sector FOLU dentro del cantón de Grecia y Río Cuarto durante el periodo 2005-2012.
- Identificar el potencial del sector FOLU del cantón de Grecia y Río Cuarto para mitigar el cambio climático.
- Definir las medidas de mitigación de GEI a ser desarrolladas en el sector FOLU del cantón de Grecia y Río Cuarto en razón de su viabilidad para ejecutarse.

## 5 Marco teórico

### 5.1 Potencial de mitigación

El potencial de mitigación es definido por Feliciano *et al.* (2013) como la máxima capacidad de un territorio para reducir las emisiones de GEI, o bien aumentar las existencias de carbono. Para determinar el potencial de mitigación de una región, es necesario identificar las fuentes de emisión y las oportunidades de mitigación (Feliciano *et al.* 2013). En el caso de la contribución de los cambios de uso de la tierra al balance de emisiones, esto se logra a través de la elaboración de un inventario de GEI coherente, adecuado, transparente y completo del sector FOLU (Levin *et al.* 2014.) La elaboración del inventario de GEI del sector FOLU requiere de la definición de los reservorios de carbono, los usos de la tierra, el período del inventario, la estimación de las emisiones y absorciones, y la incertidumbre asociada (IPCC 2006a).

### **5.1.1 Reservorios de carbono**

Los reservorios de carbono hacen referencia a aquellos compartimientos donde se almacena el carbono en su ciclo natural. El IPCC (2006a) ha establecido cinco tipos de depósitos principales de carbono: biomasa viva arriba del suelo, biomasa viva abajo del suelo, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo. Estos depósitos pueden presentar pérdidas o ganancias de sus concentraciones de carbono, ya sea por el ciclo natural de dicho elemento o por perturbaciones antropogénicas.

La biomasa viva arriba del suelo suele emplearse como único reservorio de carbono para estimar los cambios en las concentraciones de carbono de los usos de la tierra de inventarios de GEI en el sector FOLU (Calvo, 2014; Chacón, *et al.*, 2009; Primo *et al.* 2013). Por su parte, Rodríguez (2014) empleó cuatro reservorios de carbono en el inventario elaborado para el cantón de Belén para el período 2006-2013, entre ellos carbono orgánico del suelo, biomasa viva arriba y abajo del suelo y materia orgánica muerta. Aun así, solo la biomasa viva aérea y subterránea es utilizada para la estimación de la emisiones y absorciones de GEI en todos los usos de la tierra identificados, mientras que la materia orgánica muerta es asumida en equilibrio y el carbono orgánico del suelo es empleado, únicamente, bajo la existencia de conversiones de tierras a asentamientos.

### **5.1.2 Usos de la tierra**

La estimación de emisiones y absorciones de GEI se realiza seleccionando categorías de uso de la tierra, dada su aplicabilidad y la probabilidad de que el territorio de un país o región sea clasificado en categorías de uso de la tierra (e.g. asentamientos, pastizales, bosques; IPCC 2006a). A pesar de la existencia de las definiciones genéricas, los inventarios nacionales, subnacionales o locales podrán definir sus propias categorías de uso de la tierra, en tanto estas

se adecúen a los parámetros dados por el IPCC y posean una definición precisa (IPCC 2006a); para evitar malas interpretaciones en el procesamiento de la información.

Las categorías de usos de la tierra pueden considerarse prioritarias en razón del nivel absoluto, la tendencia, o bien la incertidumbre respecto a las emisiones y absorciones totales. Dicha priorización permite orientar los esfuerzos hacia aquellos usos considerados prioritarios o principales (IPCC 2006a). Schultz *et al.* (2014), tomando en cuenta la extensión de los usos de la tierra en áreas urbanas, recomiendan priorizar según la siguiente secuencia: asentamientos, tierras de cultivo, tierras forestales, pastizales, humedales y otras tierras.

### **5.1.3 Cambios de uso de la tierra**

Los cambios en el uso de la tierra representan una de las fuentes de emisión y absorción de GEI del sector FOLU. Estas son producidas por la deforestación, la urbanización, el abandono de pasturas y tierras de cultivo y, entre otras actividades, los cambios en el manejo de los sistemas productivos (Schultz *et al.* 2014). Dichos cambios se determinan a través del empleo de tres métodos, los cuales varían según el nivel de detalle abordado en el inventario:

- I. emplear información del total de conversiones dadas en todos los usos de la tierra de manera general,
- II. presentar los cambios de un uso a otro en un período específico sin presentarlo en el espacio, e
- III. incluir la presentación espacial de los cambios (IPCC 2006a).

Primo *et al.* (2013), Calvo (2014) y Rodríguez (2014) implementaron el tercer método sugerido por el IPPC (2006a). El primero de ellos empleó para el desarrollo del método la superposición y análisis de capas suministradas por entes gubernamentales y la posterior

validación de los productos generados con ortofotos digitales. Los otros dos utilizaron la digitalización manual de las imágenes satelitales y fotografías aéreas, generando mapas que fueron verificados con información tomada en campo. Este método fue empleado por De Jong (2001) para determinar los cambios de uso del suelo y los flujos de carbono en el Estado mexicano de Chiapas.

Por otro lado, Fonseca *et al.* (2011) recurrieron a la clasificación supervisada de imágenes satelitales para determinar las tasas de cambio de las distintas coberturas presentes en el Caribe de Costa Rica en un período de 20 años. Dicha clasificación consiste en la selección de campos de entrenamiento, los cuales se equiparan con los usos de la tierra a evaluar para posteriormente realizar la clasificación de las imágenes en razón de los parámetros que definen las firmas espectrales (Universidad de Jaén 2006). Por su parte, Arango *et al.* (2005) sugieren que este tipo de clasificaciones tienden a centrarse en la obtención de resultados más que en la interpretación, lo cual no sucede en las clasificaciones no supervisadas. No obstante, estas últimas pueden presentar errores en la clasificación, originando una vaga identificación de los usos de la tierra, y que sus resultados sean difíciles de interpretar y estén poco vinculados con los requerimientos del usuario (Ramírez, 2013). A pesar de ello, siempre debe de considerarse la magnitud de los errores arrastrados, con tal de garantizar los productos generados (Shao y Wu, 2008) indistintamente de la clasificación usada.

#### **5.1.4 Período del inventario**

El período del inventario puede establecerse según las necesidades de cada país, región o localidad (IPCC 2006a). De esta manera, el período establecido por Rodríguez (2014), Calvo (2014) y el Gobierno de España (2014) para la realización de sus respectivos inventarios, se

empleó la disponibilidad de información remota, a través de la cual se lograron determinar los cambios de uso de la tierra ocurridos.

### **5.1.5 Estimación de las emisiones y absorciones GEI**

La estimación de las emisiones y absorciones GEI (CO<sub>2</sub> y no CO<sub>2</sub>) en el sector FOLU emplea el método de pérdidas y ganancias y el de diferencia de existencias (IPCC 2006a). La realización de cualquiera de estos métodos requiere de los datos de la superficie de los usos de la tierra y los factores de emisión de la biomasa viva aérea y subterránea, la materia orgánica muerta y el carbono orgánico del suelo (IPCC 2006a).

Si bien, Calvo (2014) aduce que empleó el método de pérdidas y ganancias, el abordaje metodológico utilizado se parece más bien al del método de diferencia de existencias usado por Primo *et al.* (2013), debido a que emplea la misma superficie del uso de la tierra para los dos años evaluados. En este, se identifican los cambios en las existencias de carbono, estimando el carbono presente en los depósitos en dos momentos diferentes (IPCC, 2006a). Por su parte, a pesar de que Rodríguez (2014) mencione que no estima las pérdidas por falta de información, sí presenta pérdidas de carbono en los tres principales reservorios de carbono por medio de los cambios en la superficie de los usos de la tierra, igual a lo aplicado por Chacón *et al.* (2014).

Dentro del sector FOLU, existen emisiones de gases diferentes al CO<sub>2</sub> derivadas principalmente de la quema de biomasa, el manejo del suelo y la cosecha de productos del bosque (IPCC 2006a). Este tipo de emisiones no fueron contabilizadas en inventarios locales de Costa Rica, debido a que no se contaba con la información requerida para el desarrollo del método (Calvo 2014; Rodríguez 2014). Chacón *et al.* (2009) y el Gobierno de España (2012),

por su parte, sí abordan este tipo de emisiones, ya que contabiliza dentro del inventario las áreas que sufren quema de biomasa por incendios forestales y quemas controladas, con lo cual se logra una estimación más precisa de las emisiones diferentes al CO<sub>2</sub> ocurridas en el sector FOLU.

La disminución de la incertidumbre y el aumento de la exactitud de la estimación de las emisiones y absorciones de GEI se logran a través de la ejecución del método de los tres niveles. De esta manera, el nivel 1 es el menos preciso de todos, utilizando valores por defecto dados por el IPCC. El nivel 2 aplica factores de emisión y de cambio de las existencias, basado en datos regionales, nacionales o locales. Finalmente, el nivel 3 requiere del uso de métodos específicos que deben ser documentados y sometidos a verificaciones de calidad que necesitan de más recursos y complejidad (IPCC 2006a).

El empleo de un nivel no es excluyente de otro, permitiendo que se usen niveles diferentes para la estimación de las emisiones y absorciones de los reservorios de carbono (IPCC 2006a). La mezcla de niveles para la consecución de los resultados de emisiones y absorciones ha sido empleada en varios estudios, ya que para algunos usos de la tierra se dispone de información de los reservorios de carbono, mientras que para otros no (Calvo 2014; Gobierno de España 2012; Primo *et al.* 2013; Rodríguez 2014).

#### **5.1.6 Incertidumbre**

El IPCC (2006b) asevera que la estimación de la incertidumbre es esencial con tal de determinar las medidas prioritarias que puedan llevarse a su ejecución y minimizar la incertidumbre de futuros estudios. Para ello, recomienda el empleo de dos métodos. El primero se basa en que el coeficiente de variación sea menor a 0,3, y necesita que los datos de

los factores de emisión usados sean los mismos en los años a evaluar. El segundo está basado en la simulación de Monte Carlo, el cual se recomienda cuando la distribución de los datos no es normal, los algoritmos son complejos y las incertidumbres son grandes (IPCC, 2006b).

Rodríguez (2014) empleó el método 1, argumentando que los factores de emisión empleados fueron los mismos en los años evaluados e indicaban el error respectivo, y la facilidad de uso e interpretación de las fórmulas y resultados. Asimismo, para derivar aquella incertidumbre asociada a los valores de la actividad, empleó el índice de Kappa, utilizado por Fonseca *et al.* (2011) y Segura y Trincado (2003) en sus respectivas clasificaciones de uso de la tierra.

## **5.2 Medidas de mitigación**

Las medidas de mitigación implican la generación de acciones dirigidas a reducir, evitar o limitar el incremento de las emisiones de GEI en una cantidad específica (Levin *et al.*, 2014). Entre las acciones desarrolladas para reducir o evitar emisiones de GEI y aumentar los reservorios de carbono dentro del sector FOLU, se encuentran la reducción de la deforestación, la aforestación-reforestación, el manejo de bosques, la restauración forestal, la revegetación y la agroforestería (Smith *et al.* 2014).

Anastasiadis *et al.* (2012) aluden sobre la presencia de dos tipos de medidas de mitigación: las probables y las posibles. Dicha afirmación se basa en que la viabilidad técnica de una medida de mitigación no significa que socioeconómica y culturalmente lo sea, debido a la presencia de barreras económicas, sociales, institucionales, educativas y tecnológicas (cuadro 1; Feliciano *et al.* 2013; Feliciano *et al.* 2014; Smith *et al.* 2007; Smith *et al.* 2014). Determinar cuáles medidas de mitigación poseen mayor posibilidad para implementarse y entender los diferentes

factores que influyen en la aceptación o no de ellas puede contribuir a lograr que las políticas planteadas alcancen mejores impactos (Feliciano *et al.* 2014; Levin *et al.* 2014).

Cuadro 1. Barreras que limitan la implementación de medidas de mitigación en el sector FOLU.

<b>Barrera</b>	<b>Descripción</b>
Económica	Los propietarios no pueden afrontar los costos de implementación de las medidas de mitigación o se reduce el nivel de ganancias (Feliciano <i>et al.</i> 2013).
Social	Las personas poseen una actitud negativa hacia cierta medida en razón de sus creencias o razones psicológicas (Feliciano <i>et al.</i> 2013).
Institucional	Gestión responsable y transparente de la institucionalidad. Incluye clara tenencia de la tierra y derechos de propiedad, escasa capacidad institucional y la falta de un acuerdo internacional que acuerpe las medidas (Smith <i>et al.</i> 2014)
Política	Las medidas de mitigación son incompatibles con algunos programas o políticas implementados (Feliciano <i>et al.</i> 2013).
Educacional	Habilidad de los propietarios de implementar una medida (Feliciano <i>et al.</i> 2013).
Tecnológica	Limitación en la generación, obtención y aplicación de la tecnología para identificar o solventar un problema ambiental (Smith <i>et al.</i> 2014).

En la literatura se reporta un estudio similar al propuesto en este documento, el cual fue realizado en 2014. A través de un proceso participativo, se tomó la opinión de científicos y grupos interesados, con el fin de identificar las medidas de mitigación que las personas estaban dispuestas a implementar, así como las barreras y las oportunidades para una adecuada implementación (Feliciano *et al.* 2014). Por otro lado, Smith *et al.* (2014) sugieren que las medidas de mitigación deben ser valoradas en razón del potencial de mitigación técnico (ton CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), la aceptación y adopción de las medidas por parte de la comunidad para implementarlas (facilidad de implementación), y la escala de implementación; o bien, a través del potencial técnico, económico (resultado de mitigación realizada a un precio de carbono

dado en un período específico) y de mercado (resultado de mitigación gestada sobre las condiciones actuales y previas del mercado, abarcando las barreras y las políticas de incentivos).

### **5.3 Mecanismos para la implementación de medidas de mitigación en el sector FOLU**

Para hacer efectivas las medidas de mitigación del sector FOLU, se ha considerado una serie de mecanismos. Estos han sido diseñados para disminuir los conflictos socio-económicos y ambientales generados por la implementación de medidas de mitigación, así como para potencializar las oportunidades presentes en el sector, además de decidir y direccionar las prácticas que serán ejecutadas. Según el enfoque, pueden crear sinergias (e.g. incentivos económicos) o conflictos (e.g. instrumentos reguladores del uso de la tierra; Smith *et al.* 2014).

#### **5.3.1 Mercados de carbono**

Con el fin de generar fondos para aumentar los beneficios económicos que perciben los propietarios de bosque y plantaciones forestales, y financiar actividades de preservación y manejo de los recursos, se ha propuesto la creación de mercados en donde se comercialicen los servicios prestados por los bosques (créditos de carbono; Pagiola *et a.* 2006), identificándose la presencia de mercados parciales en donde se presenta una regulación e intervención nacional, regional o internacional (e.g. Mecanismos de Desarrollo Limpio; Kolmuss *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2014), así como mercados voluntarios de carbono, en los cuales una entidad (empresa, individuo) voluntariamente compensa sus emisiones comprando créditos de carbono (e.g. mercado doméstico de carbono de Costa Rica; DCC 2013, The Gold Standard Foundation 2015). Estos últimos permiten, a diferencia de los mercados de carbono regulados,

desarrollar nuevas metodologías, tecnologías y procedimientos (Kolmuss *et al.*, 2008; Krugman, 2007).

### **5.3.2 Impuestos**

Como parte de la atracción de financiamiento para actividades de conservación de los recursos naturales, se han propuesto impuestos a la venta de combustibles y tarifas sobre el consumo de electricidad y agua (Barrantes y Segura 2011; FONAFIFO 2014a), la generación de fondos semillas a través de la recaudación de contribuyentes (Dorado *et al.* 2011), y la creación de cooperativas para acceder al crédito (Suckall *et al.* 2014). Con ello, se crean sinergias y compatibilidades con las políticas locales ya establecidas; de esta manera, los fondos captados para la protección del agua pueden, indirectamente, fungir como medios para incrementar los reservorios de carbono (e.g. compra de potreros cercanos a nacientes) y evitar la deforestación y degradación de los bosques en microcuencas (e.g. áreas de protección; Barrantes y Segura 2011, Dorado *et al.* 2011).

### **5.3.3 Subvenciones**

La transferencia de fondos públicos a propietarios, la proporción de servicios y bienes a costos nulos, y algunas políticas de reglamentación que favorezcan a un sector de la sociedad son acciones consideradas subvenciones (OMC 2006). Este tipo de mecanismo fue sugerido para superar las barreras sociales y económicas que presenta la siembra de árboles en fincas del noreste de Escocia (Feliciano *et al.* 2014). No obstante, la ejecución de medidas de mitigación en el sector FOLU a través de este mecanismo no ha logrado los resultados esperados, a pesar del incremento en los beneficios económicos generados (Duesberg *et al.* 2014). Ante ello, se ha propuesto acudir a otro tipo de estrategia con tal de obtener mejores resultados, debido a

que las prácticas de manejo desarrolladas por los finqueros no siempre responden a incentivos financieros (Duesberg *et al.* 2014).

#### **5.3.4 Incentivos no financieros**

En contraposición a los mecanismos financieros, se han diseñado otros tipos de mecanismos dirigidos a solventar las carencias de conocimiento y disminuir las brechas en el uso y aplicación de tecnologías (Smith *et al.* 2014). Algunos de los mecanismos dirigidos a superar las barreras educativas y tecnológicas de las poblaciones son las demostraciones, entrenamientos, la transferencia de conocimiento, la ejecución de programas de extensión y los enfoques cooperativos (Suckall *et al.* 2013; Smith *et al.* 2014; Feliciano *et al.* 2014). Los enfoques cooperativos son un estilo de enseñanza que buscan utilizar el mayor número de actividades, mediante las cuales los participantes se ayudan entre ellos para mejorar el aprendizaje (Vera 2009). Este y los otros mecanismos pueden crear sinergias o ser compatibles con otras políticas desarrolladas por las instituciones locales, nacionales o regionales.

#### **5.3.5 Esquemas de certificación**

Los esquemas de certificación consideran acciones para mejorar la ejecución de medidas de mitigación en el sector FOLU. Asimismo, mediante estos esquemas, se disemina conocimiento y tecnologías, y se incrementa el valor agregado de los productos forestales. Sin embargo, presentan deficiencias en cuanto a los costos de transacción y el cumplimiento de las normas (Smith *et al.* 2014). Los esquemas de voluntariado integran acciones dirigidos a superar barreras tecnológicas y educativas de regiones que no cuentan con esos insumos (Smith *et al.* 2014), lo cual llega a solventar, hasta cierto punto, las carencias en la gestión institucional de esas zonas. La transferencia de tecnología y conocimiento generado desencadena que actores sociales involucrados adopten nuevas prácticas o innoven en su accionar, con el fin de generar

medios alternativos a los mecanismos promocionados por instancias nacionales o internacionales (Oosterzee *et al.* 2014).

### **5.3.6 Políticas públicas de uso de la tierra**

Las políticas públicas de uso de la tierra poseen un papel preponderante en el ordenamiento territorial, con posibles impactos económicos y sociales que pueden evitarse mediante la consulta previa a la población (Pérez y Alvarado 2003; Smith *et al.* 2014; Oosterzee *et al.* 2014) Asimismo, el ordenamiento territorial gestado por este tipo de políticas puede tener impactos sinérgicos con otras dirigidas al aumento de los reservorios de carbono, la reducción de la deforestación, protección del recurso hídrico y de la biodiversidad (Municipalidad de Belén 1996; Pérez y Alvarado 2003). La gestión institucional eficiente es indispensable para su desarrollo, dado el trabajo interdisciplinario a realizar entre las unidades técnicas de los Gobiernos locales.

### **5.3.7 Mecanismos no basados en el mercado**

En el marco de las negociaciones de REDD+, se han propuesto otros mecanismos que no se basan en el mercado. Entre estos se encuentran: el Joint Mitigation Adaptation (JMA), el cual incorpora pagos ex ante y los resultados de mitigación no son incluidos en mercados globales de carbono (TWN 2014); y la valoración y apoyo a la capacidad de recuperar las áreas y territorios de los pueblos indígenas y comunidades locales (ICCA). Este último se fundamenta en el hecho de que áreas que históricamente han sido parte del patrimonio cultural de los pueblos indígenas y comunidades locales han estado protegidas y seguirán protegidas, sin la necesidad de financiamientos externos, ante lo cual hacen mayor hincapié en el valor cultural y espiritual que en el valor mercantil de esos territorios (Lovera *et al.* 2013). Por otro lado, se ha propuesto la creación de sistemas monetarios alternativos bajo el argumento que el sistema

monetario actual provoca externalidades que no favorecen la resolución a fondo de los problemas ambientales y sociales (Paiva 2014). Esta y las otras alternativas pueden llegarse a generar en el cantón de Grecia; no obstante, debido a que el cantón de Grecia está inmerso en una realidad distinta bajo la cual fueron diseñadas dichas propuestas y no se posee conocimiento suficiente de estas, es difícil su implementación en este momento.

## **6 Metodología**

### **6.1. Descripción del sitio**

Grecia es el cantón número tres de la provincia de Alajuela. Cuenta con una extensión de 14 255 ha (figura 1; Geotecnologías S.A. s.f.), una población de 65 824 habitantes (INEC 2011) y está conformado por los distritos de Bolívar, Grecia, San José, San Roque, Puente Piedra, Tacares y San Isidro. (Geotecnologías S.A. s.f.). Las actividades económicas desarrolladas son la agricultura de café, caña y hortalizas, así como los servicios. Estos últimos concentrados principalmente en el distrito de Grecia (Municipalidad de Grecia, 2003).

El cantón de Río Cuarto está constituido solo por un distrito que representaba el 64% de toda la superficie cantonal de Grecia hasta el 2017, año en que fue declarado cantón (figura 1; Geotecnologías S.A. s.f., Cambroneró 2017). Las actividades productivas que se desarrollan en la zona son el cultivo de piña, yuca, pimienta, granos, y la cría de ganado para carne, doble propósito o para la producción de leche (Municipalidad de Grecia 2003). Además, posee una población de 11 074 habitantes, y el índice de desarrollo social más bajo entre todo los distritos del cantón de Grecia en el año 2013 (36,9; INEC 2011, MIDEPLAN 2013).

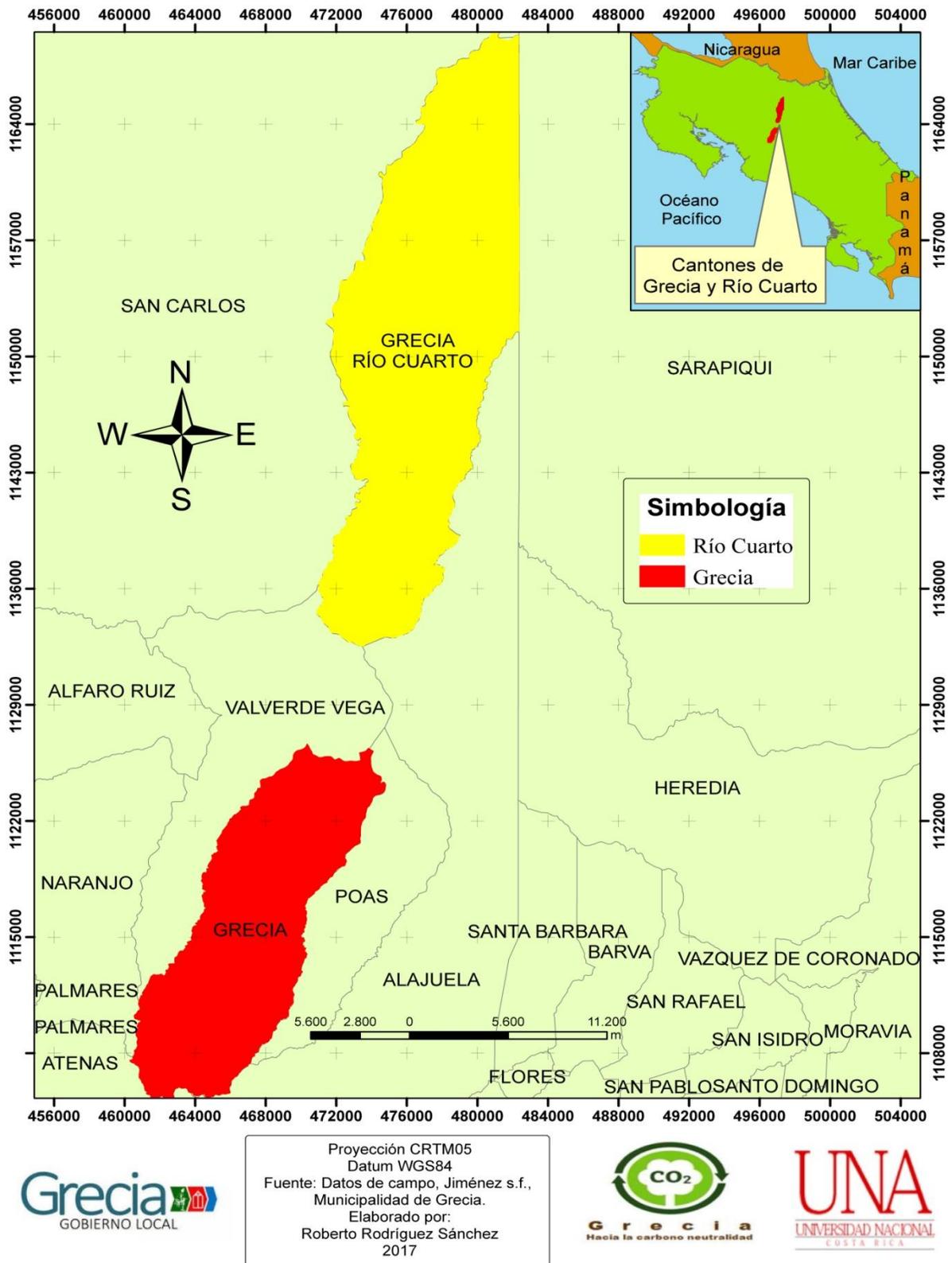


Figura 1. Ubicación de los territorios de Grecia y Río Cuarto.

## **6.2. Determinación de sectores clave que contribuyen al balance de absorciones y emisiones**

Los sectores clave fueron determinados mediante la elaboración de un inventario de emisiones y absorciones de GEI para el período 2005-2012, de acuerdo al capítulo 4 de las Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC, 2006; a partir del cual se identifican los cambios en el uso de la tierra y las emisiones o absorciones que resultan de ellos.

### **6.2.1. Inventario de emisiones y absorciones para el sector FOLU**

#### **6.2.1.1. *Usos y cambios de uso de la tierra***

Para determinar los usos y cambios de uso de la tierra en el cantón de Grecia y Río Cuarto se utilizó la ortofoto del año 2005, suministrada por la Municipalidad de Grecia y la imagen satelital Rapid Eye 2012, suministrada por el Programa de Investigaciones Aerotransportadas (PRIAS). Las dos se procesaron utilizando el programa ArcMap 10.1. La clasificación de los usos de la tierra para los dos años se elaboró digitalizando las imágenes por medio de la aplicación Editor (ESRI 2012), y la definición de categorías, subcategorías y estratos de usos de la tierra (cuadro 2). Además, se realizó una topología de las capas elaboradas para determinar discontinuidades artificiales y se realizaron visitas de campo a 239 y 243 sitios en Grecia y Río Cuarto, respectivamente, para verificar los usos y cambios de uso de la tierra levantados con apoyo de la Municipalidad de Grecia. En cada sitio se tomaron fotografías y se hicieron observaciones.

Para presentar en el espacio los cambios de uso de la tierra, se interceptaron las capas producidas de los dos años empleando la aplicación Intersect (ESRI, 2013); además, se

efectuó una matriz de conversión de uso de la tierra para determinar el área específica de cada conversión. Los resultados fueron validados con la Comisión de Cambio Climático del cantón de Grecia mediante la presentación de 5 informes, lo que permitió verificar e interpretar la información ya que sus integrantes tienen conocimiento de la zona.

#### **6.2.1.2.        *Reservorios de carbono***

Los reservorios de carbono utilizados en el inventario fueron: la biomasa viva aérea y subterránea (BVAS), la materia orgánica muerta (MOM) y el carbono orgánico del suelo (COS). Para cada uno se establecieron supuestos (anexo 1), a través de los cuales se recolectó la información de fuentes secundarias o primarias. La selección de los datos empleados para el desarrollo de los métodos se hizo tomando en cuenta: la fácil interpretación de los datos, la definición de la incertidumbre asociada, y la similitud o cercanía con el área de estudio. Cuando no se encontraron datos cercanos al área geográfica de estudio, se procedió a escoger datos de estudios nacionales o del continente americano, o bien datos por defecto dados por el IPCC (2006a; anexo 2).

#### **6.2.1.3.        *Estimación de las emisiones y absorciones GEI***

Las emisiones y absorciones GEI en el sector FOLU, se basaron en los cambios de las reservas de carbono. Estos se estimaron para cada categoría, subcategoría y estrato de uso de la tierra identificado, según las Directrices para Inventarios Nacionales de GEI del IPCC (2006a). Se abordó una mezcla de niveles dada la variabilidad de usos de la tierra presentes dentro del cantón de Grecia y Río Cuarto, y la disponibilidad de información de los reservorios de carbono para cada uno de ellos. La inclusión de las emisiones de GEI diferentes al CO<sub>2</sub> se obvió debido a que no se contaba con registros de incendios que provocaran cambios de cobertura durante ese período. Las emisiones por procesos naturales (e.g. cambio de cobertura

arbórea por derrumbes) también fueron obviadas, ya que no corresponden a actividades antrópicas, y las absorciones por regeneración de bosques secundarios, debido a la dificultad para determinar las edades de las coberturas boscosas del cantón.

#### **6.2.1.4.        *Estimación de la incertidumbre***

La estimación de la incertidumbre se realizó tomando en cuenta aquella asociada a los factores de emisión empleados y a la clasificación del material remoto. De esta manera, la primera se obtuvo a partir del coeficiente de variación derivado del error y el dato promedio presentado por los autores. La segunda se derivó a partir del índice de Kappa, el cual se ejecutó con la extensión Kappa Tools del programa Arc View 3.3, tomando como puntos de control los sitios observados en las visitas de campo. La estimación de la incertidumbre total se obtuvo según lo dispuesto por el método 1 del IPCC (2006b) para el cálculo de incertidumbres combinadas.

Cuadro 2. Categorías, sub categorías y estratos de uso de la tierra a utilizar para la determinación del potencial de mitigación en el sector FOLU del cantón de Grecia y Río Cuarto.

<b>Categoría</b>	<b>Sub categoría</b>	<b>Estrato</b>	<b>Descripción</b>
Tierras de cultivo (TC)	Cultivos anuales (CA)	Caña (CAÑ)	Áreas dedicadas al cultivo de caña.
		Piña (CAP)	Áreas dedicadas al cultivo de piña.
		Yuca (CAY)	Áreas dedicadas al cultivo de yuca.
		Otros (CAO)	Áreas dedicadas al cultivo de maíz, frijol, camote, tomate, hortalizas, entre otros.
	Cultivos perennes (CP)	Café sin sombra (CPC)	Áreas dedicadas al cultivo del café pero que no igualan o sobrepasan el 30% de cobertura de copas y no poseen cercas vivas (Rodríguez 2014).
		Café con sombra (CPT)	Aquellas áreas dedicadas al cultivo del café con un 30% de cobertura de copas, y/o presencia de cercas vivas legibles a escala 1:15000 (Rodríguez 2014).
		CPO <sub>Grecia</sub>	Áreas dedicadas al cultivo de helechos y otros en el cantón de Grecia.
		CPO <sub>Río Cuarto</sub>	Áreas dedicadas al cultivo de mamón, palmito, entre otros; o bien, áreas con cultivo perenne, en las cuales no se pudo distinguir la especie de cultivo en las imágenes satelitales a escala 1:15 000 del distrito de Río Cuarto.
		CPS	Cultivos de plantas ornamentales.
		CPP	Cultivos de pimienta.
Pastizales (TG)	Pastos y charrales (GG)	Pastos y charrales (GG)	Áreas dedicadas a la ganadería, charrales, todos con nula presencia de árboles (Rodríguez 2014).

Continuación Cuadro 2.

Categoría	Sub categoría	Estrato	Descripción
Pastizales (TG)	Pastos y charrales arbolados (GGT)	Pastos y charrales arbolados (GGT)	Sitios dedicados a la ganadería con presencia de árboles esparcidos claramente visibles en las imágenes digitales a escala 1:5000 y/o con cercas vivas, o bien charrales y sitios en abandono con árboles visibles en las imágenes satelitales a escala 1:15000 (Rodríguez 2014).
Tierras forestales (TF)	Bosques (FF)	Bosque muy húmedo premontano (Bmh-P)	Las zonas con clara presencia de vegetación arbórea nativa en toda su extensión con una cobertura mayor del 30% de copas y una altura mayor a 5 metros (Rodríguez 2014). Serán consideradas como tierras gestionadas aquellas donde existen captaciones de agua potable, actividades recreativas y de manejo. La diferenciación de los estratos se basó en las zonas de vida de Holdridge mostradas por Bolaños y Watson (1993)
		Bosque muy húmedo tropical transición a premontano (Bmh-T 12)	
		Bosque pluvial premontano (Bp-P)	
		Bosque pluvial montano bajo (Bp-MB)	
		Bosque muy húmedo montano bajo (Bmh-MB)	
		Bosque pluvial montano (Bp-M)	
		Bosque pluvial montano transición a montano bajo (Bp-M6)	
		Bosque húmedo tropical transición a premontano (Bh-T12)	
		Bosque húmedo premontano (Bh-P)	
		Bosque húmedo premontano transición a basal (Bh-P6)	
		Bosque muy húmedo premontano transición a basal (Bmh-P6)	
		Bosque muy húmedo tropical (Bmh-T)	

Continuación Cuadro 2.

<b>Categoría</b>	<b>Sub categoría</b>	<b>Estrato</b>	<b>Descripción</b>
Tierras forestales (TF)	Plantaciones forestales (FP)	Coníferas (FPC)	Áreas dedicadas al cultivo de madera de coníferas (pino-ciprés)
		Teca (FPM)	Áreas dedicadas al cultivo de madera de teca ( <i>Tectona grandis</i> ).
		Otras plantaciones forestales (FP)	Áreas dedicadas al cultivo de madera en plantaciones mixtas; o bien, determinadas como tales debido a que no se pudo determinar la especie plantada.
		Chancho (FPV)	Áreas dedicadas al cultivo de madera de chancho ( <i>Vochysia guatemalensis</i> )
Asentamientos (TS)	Asentamientos (SS)	Infraestructura (SSI)	Áreas destinadas a actividades de desarrollo mencionadas por el IPCC (2006) y aquellas dedicadas a fines recreativos, industriales, carreteras e instalaciones agropecuarias y agroindustriales (Rodríguez 2014).
		Lotes (SSL)	Lotes baldíos presentes entre urbanizaciones.
Otras tierras (OT)	Cuerpos de agua (OA)	Cuerpos de agua (OA)	Áreas correspondientes al cauce de ríos, lagos y lagunas, con o sin vegetación suficiente para ser considerados en alguna de las clases anteriores (Rodríguez 2014).
	Tierras descubiertas (OD)	Tierras descubiertas (OD)	Sitios con tierra desnuda, roca, arena, con o sin vegetación suficiente para ser considerados en alguna de las clases anteriores (Rodríguez 2014).
	Nubes (ON)	Nubes (ON)	Área de la imagen cubierta por nubes, en donde no se distinguen con claridad los usos de la tierra abarcados (Rodríguez 2014).
	Sombras (OS)	Sombras (OS)	Área de sombra proyectada por las nubes.
	Áreas sin información (OI)	Áreas sin información (OI)	Áreas presentes en las imágenes con vacíos de información de los usos de la tierra.

### **6.3. Identificación del potencial técnico de mitigación de GEI**

#### **6.3.1. Áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador**

El potencial técnico de mitigación de GEI se derivó del análisis de los cambios de uso de la tierra, y el peso de los “sectores clave” en el balance de emisiones-absorciones de GEI del sector FOLU. Esto se comparó con el plan regulador local (Municipalidad de Grecia 2003) y las áreas de protección dispuestas por las leyes 7575 y 276. Identificadas las áreas en donde pueden aplicarse acciones de reducción de emisiones o aumento de absorciones por tipo de actividad, se estimó el potencial de mitigación técnico.

Para ello se valoraron tres opciones: i) se asumió que el crecimiento de la cobertura forestal era constante, para lo cual se utilizaron secuestros medios anuales de carbono por zona de vida entre los  $1,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $12,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (anexo 3); ii) se usaron las ecuaciones presentadas por Fonseca *et al.* (2016) para bosque de altura, del caribe y del pacífico empleando como variable independiente el área basal, la cual se derivó de los registros mostrados por Ulate (2011) y Cifuentes (2008) para bosques entre los 5 y 20 años; y iii) se utilizaron las ecuaciones para la estimación de la biomasa arriba del suelo acumulada en bosques secundarios presentadas por Cifuentes (2008; cuadro 3). Esta última opción se escogió para estimar el potencial de mitigación técnico ya que se consideró ser la opción más conservadora para representar los resultados, utiliza como variable independiente el tiempo (años), y había sido empleada en la estimación de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica para la elaboración de nivel de referencia presentado ante el Fondo de Carbono de FCPF (Pedroni *et al.* 2015). Los valores de biomasa se multiplicaron por un factor de 0,47 para convertirlo a carbono, y otro de 3,67 para representarlos en dióxido de carbono equivalente.

Las zonas de vida encontradas en Grecia y Río Cuarto se relacionaron con las presentadas por Cifuentes (2008).

Cuadro 3. Ecuaciones para la estimación de la biomasa arriba del suelo acumulada en bosques secundarios. Fuente: Cifuentes 2008.

Zona de Vida Autor	Ecuación	Zona de Vida Grecia
Bosque Pluvial Premontano	$440,1 * ((1 - \exp^{(-0,0202 * t)})^1)$	Bp-P, Bmh-MB, Bp-M, Bp-M6, Bp-MB
Bosque Tropical Húmedo	$445,0 * ((1 - \exp^{(-0,0186 * t)})^1)$	Bmh-T - Bmh-T12
Bosque Húmedo Premontano transición a Basal/ Atlántico	$285,3 * ((1 - \exp^{(-0,0316 * t)})^1)$	Bmh-P6
Bosque Húmedo Premontano transición a Basal/ Pacífico	$262,1 * ((1 - \exp^{(-0,0214 * t)})^1)$	Bh-P6, Bh-P, Bmh-P
Tropical seco	$154,8 * ((1 - \exp^{(-0,1130 * t)})^{5,1411})$	Bh-T12

t: años, exp: exponencial, Bh-P6: bosque húmedo premontano transición a basal, Bh-P: bosque húmedo premontano, Bh-T12: bosque húmedo tropical transición a premontano, Bmh-MB: bosque muy húmedo montano bajo, Bp-P: bosque pluvial premontano, bosque muy húmedo premontano transición a basal, Bmh-T: bosque muy húmedo tropical, Bmh-T12: bosque muy húmedo tropical transición a premontano.

Para el potencial de mitigación de las áreas de protección de ríos, se consideró un buffer de 15 m (Ley 7575) a cada lado de los ríos, esto siguiendo la información suministrada por la Municipalidad de Grecia (2014). Para las áreas de protección de nacientes, se asumió un buffer de 100 m de radio fueran o no captadas para consumo humano (Leyes 276 y 7575), esto porque se consideró que las estimaciones serían menos realistas tomando en cuenta un área de 200 m. La información de las nacientes se obtuvo a partir de bases de datos de la Municipalidad de Grecia. Las áreas definidas como Reserva Forestal de Grecia, Parque Nacional y Zona Protectora Río Toro por el Plan Regulador del cantón de Grecia

(Municipalidad de Grecia 2003) fueron las únicas tomadas en cuenta para realizar las estimaciones dadas las características de conservación que las definen.

Para evitar duplicaciones en la contabilización del potencial de mitigación de GEI de las diferentes áreas en estudio, se identificaron traslapes entre las áreas de protección contempladas, las cuales solo se contabilizaron una vez al momento de realizar la sumatoria de todos los potenciales de mitigación encontrados. Adicionalmente, se estableció un lapso de 20 años sugerido por el IPCC (2006a). Esto último también se aplicó en los procedimientos descritos a continuación.

### **6.3.2. Cafetales y pastos**

Dada la extensión de cafetales y pastos presente en el cantón de Grecia y Río Cuarto, y la anuencia a nivel nacional de implementar los NAMA café y ganadería, se realizaron escenarios para cada uno.

#### **6.3.2.1. Cafetales**

En el caso del café, se seleccionaron las áreas de cafetales sin sombra presentes en el cantón de Grecia, a las cuales se excluyeron aquellos cafetales sin sombra, encontrados dentro de las áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador, para evitar la duplicación de esfuerzos. Se asumió una tasa de arborización de cafetales de 11,5% anual, siguiendo las observaciones realizadas por encargados del Departamento Agrícola de COOPEVICTORIA, y la oficina del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Grecia. La determinación del potencial de mitigación se realizó siguiendo la ecuación 1 para cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) de la región de Pérez Zeledón, asumiendo un máximo de 100 árboles por hectárea. Para expresar los valores en toneladas de carbono, se utilizó una densidad específica de cedro (*Cedrela odorata*)

de 0,43 g/m<sup>3</sup> (Zane *et al.* 2009), una fracción de carbono de 0,47 (IPCC 2006a), y un factor de expansión de la biomasa de 1,1 (Herrera y Herrera 2013). Los resultados finales se multiplicaron por un factor de 3.67 para expresarlos en giga gramos de dióxido de carbono equivalente.

Ecuación 1. Volumen total por árboles de cedro en cafetales de Pérez Zeledón. (González, 2016)

$$Vt arb^{-1} = (-0,194627 + 0,105117 * edad)^2$$

Donde:

Vt arb<sup>-1</sup>: volumen total por árbol, m<sup>3</sup>.

Edad: años que posee el árbol o el conjunto de ellos.

### **6.3.2.2. Pastos**

La estimación del potencial de mitigación GEI de los pastos se realizó para el cantón de Río Cuarto. En él se plantearon dos escenarios: uno con teca (*Tectona grandis*) y otro con melina (*Gmelina arborea*), debido a que en la región Huetar Norte trabajan en conjunto con el Instituto Tecnológico de Costa Rica, CORFOGA y FONAFIFO para implementar sistemas agroforestales con las especies arbóreas mencionadas. Para los dos casos, se asumió una tasa de instalación de sistemas agroforestales del 0,05 anual, esto basado en consultas realizadas a productores pecuarios del área de San Rafael Cucaracho de Río Cuarto. La determinación del área correspondiente a cada especie se sustrajo de la proporción de plantación de teca y melina en proyectos de pagos de servicios ambientales (PSA) para sistemas agroforestales (Martínez 2014). De esta manera, se asumió que por cada hectárea de pastizal en sistemas silvopastoriles, el 56% correspondería a melina y el 44% a teca. De las áreas de pastos

disponibles para el distrito de Río Cuarto, se excluyeron aquellas que estuvieran dentro de las áreas de protección arriba descritas.

Para teca y melina, se determinaron incrementos corrientes anuales basados en los datos de raleos y cosecha final de Murillo *et al.* (2013; cuadro 4). Con tal de expresar los valores a toneladas de carbono, se utilizó una densidad específica de 0,34 g/m<sup>3</sup> y 0,493 g/m<sup>3</sup> para melina y teca respectivamente (Zane *et al.* 2009), una fracción de carbono de 0,47 (IPCC 2006a), y un factor de expansión de la biomasa de 1,1 (Herrera y Herrera 2013). De la misma forma, los resultados finales se multiplicaron por un factor de 3,67 para expresarlos en giga gramos de dióxido de carbono equivalentes. Los turnos de cosecha fueron determinados en 8 años para melina y 20 años para teca.

Cuadro 4. Incrementos corrientes anuales para teca y melina empleados. Fuente: Murillo *et al.* (2013).

Teca			Melina		
Raleo	Años	ICA (Mg C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Raleo	Años	ICA (Mg C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
<b>I</b>	4	0,18	<b>I</b>	3	0,76
<b>II</b>	8	0,39	<b>II</b>	5	1,995
<b>III</b>	12	0,25	<b>Cosecha final</b>	8	0,22

Dado que las proyecciones de dióxido de carbono equivalente de los sistemas silvopastoriles presentaban fluctuaciones durante el turno de cosecha, debido a los raleos que deben ser ejecutados, se derivó un valor medio siguiendo la ecuación 2.

Ecuación 2. Fijación de CO<sub>2</sub> a largo plazo para sistemas silviculturales de sistemas de rotación. Fuente: The Gold Standard (2013).

$$CFMU, long - term = \frac{\sum_{t=1}^T CFMU, t}{T}$$

Donde:

CFMU, long-term: fijación de CO<sub>2</sub> a largo plazo de una unidad de medición, ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>

CFMU, t: long-term: fijación de CO<sub>2</sub> a largo plazo de una unidad de medición en el año t, ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

T: número de años entre el inicio de plantación y el final del período de creditación.

t: años, 1,2,3...

### **6.3.3. Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea**

Para Río Cuarto, se calculó la tasa de pérdida de cobertura arbórea siguiendo las fórmulas empleadas por Pedroni *et al.* (2015), para el bosque muy húmedo tropical (Bmh-T; -0,01), bosque muy húmedo premontano transición a basal (Bmh-P6; -0,03) y pastos arbolados (GGT; -0,02). Para ello, se tomó como punto de referencia los datos de superficie a los años 2005 y 2012. Asimismo, se estimó el potencial de reducción de emisiones, utilizando los factores de emisiones de cada uso de la tierra (anexo 2), además de lo propuesto por el IPCC (2006a). Se estableció un lapso de 10 años para estimar dicho potencial, asumiendo que el comportamiento de los cambios en el uso de la tierra varía dependiendo del contexto socio- económico en el cual se desarrollen.

### **6.4. Identificación participativa de las medidas de mitigación**

La definición de las medidas de mitigación en el sector FOLU del cantón de Grecia se llevó a cabo participativamente, a través de ocho entrevistas semi-estructuradas dirigidas a actores

clave; es decir, a representantes de ASADAS, cooperativas, instituciones gubernamentales, empresa privada y sector ganadero<sup>1</sup>. En un inicio, se planteó entrevistar a un representante del MINAE Sarapiquí y una ASADA de la zona baja de Río Cuarto; no obstante, por diversos motivos se imposibilitó contactarlos, por lo que dichas instituciones no fueron consideradas en el presente estudio. Además de las entrevistas, se realizó un taller con productores agropecuarios.

El propósito de las entrevistas y el taller fue determinar qué medidas son consideradas necesarias a partir de las realidades socio-productivas del cantón. Así mismo, se consultó la percepción de los actores clave sobre las barreras sociales, económicas, institucionales, educacionales, tecnológicas y políticas que impiden el desarrollo de las posibles medidas (Feliciano *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2014). En dicho taller, se precisó el tipo de medida (actividades que son necesarias para superar las barreras) y se evaluó cada una de ellas en razón de su facilidad y escala de implementación (Smith *et al.*, 2014).

La entrevista semi-estructurada está conformada por cuatro secciones. La primera corresponde al consentimiento libre e informado. La segunda es de información general y está compuesta por una pregunta. La tercera consta de nueve preguntas, en donde se consulta sobre medidas de mitigación para reducir emisiones o aumentar absorciones de GEI que se pueden desarrollar en el sector específico. Finalmente, la cuarta posee dos preguntas y hace énfasis en la superación de limitaciones para realizar las medidas de mitigación propuestas (anexo 4).

---

<sup>1</sup> ASADA Río Cuarto, UNAGUAS, COOPEVICTORIA, Municipalidad de Grecia, MAG, Comisión Interinstitucional Grecia-Carbono Neutral, ANEXCO, productores pecuarios, Fusión Inmobiliaria

Al taller con el sector agropecuario se invitaron a los subsectores con mayor representación del cantón de Grecia, entre ellos: el subsector cañero, cafetalero y de hortalizas. En dicho taller, al cual asistieron 40 personas, se desarrollaron mesas de trabajo con el fin de identificar el punto de vista de las personas involucradas (Cáceres *et al.* 2005), y priorizar las medidas de mitigación en razón de la facilidad y escala de implementación, a través del consenso generado entre los participantes. La convocatoria se llevó a cabo por la Municipalidad de Grecia y la Comisión Interinstitucional Grecia-Carbono Neutro.

## **7. Resultados**

### **7.1.Determinación de los sectores clave que contribuyen al balance de emisiones y absorciones**

#### **7.1.1. Cantón de Grecia**

##### **7.1.1.1.Emisiones**

Durante el período 2005-2012, las áreas con infraestructura residencial, industrial y comercial presentaron el mayor incremento en superficie con 287,14 ha. Dicho aumento representa la emisión de 52.708,65 Mg CO<sub>2</sub>-eq (43% de las emisiones del cantón de Grecia, figura 2). Los usos de la tierra que ceden mayor proporción de área al incremento de la infraestructura y los que poseen más peso en estas emisiones son las áreas con cultivos de caña y café (anexo 5).

Las áreas de cultivo de caña representan el segundo uso con mayores incrementos en área y la tercera fuente de emisión (197,22 ha; 13% de las emisiones del cantón de Grecia, figura 2). El incremento de la caña se debe a la conversión, principalmente, de áreas con cultivo de café. Los distritos de Puente de Piedra, Bolívar y San Roque presentan la mayor conversión de

cultivos de café a caña, y, consecuentemente, las mayores emisiones por ese cambio de uso (anexo 6).

Las áreas dedicadas al cultivo de café sin sombra, a pesar de ser el uso de la tierra con mayores pérdidas en área reportado (-508,70 ha durante el período 2005-2012), representaron la segunda fuente de emisión (18% de las emisiones del cantón de Greica; figura 2). Estas se generan por el cambio de cafetales con sombra a cafetales sin sombra. El registro más alto de estas emisiones se presentó en el distrito de Bolívar.

El restante 18% de las emisiones, durante el período 2005-2012, está constituido por los cambios de usos de la tierra a pastos, lotes, cultivos anuales, tierras desnudas, cultivos de helechos y viñedos, y pastos arbolados. La conversión de cafetales con y sin sombra a los usos de la tierra mencionados es el cambio de uso que contribuye en mayor proporción a dichas emisiones. Únicamente, se registra, en el distrito de Puente de Piedra, la emisión por pérdida de bosque en las tierras desnudas.

#### **7.1.1.2. Absorciones**

Si bien las áreas con cultivos de café disminuyeron, debido a la conversión de estos a asentamientos y cañales, aún siguen teniendo importancia en el balance; ya que poseen el 57% de las absorciones locales de GEI por cambios de uso de la tierra (CPC y CPT juntos; figura 2). Dichas absorciones se generan principalmente por las conversiones de cañales a cafetales y de cafetales sin sombra a cafetales con sombra. Los distritos de Bolívar y Tacaes registran las mayores cantidades de absorciones por ese cambio (anexo 7).

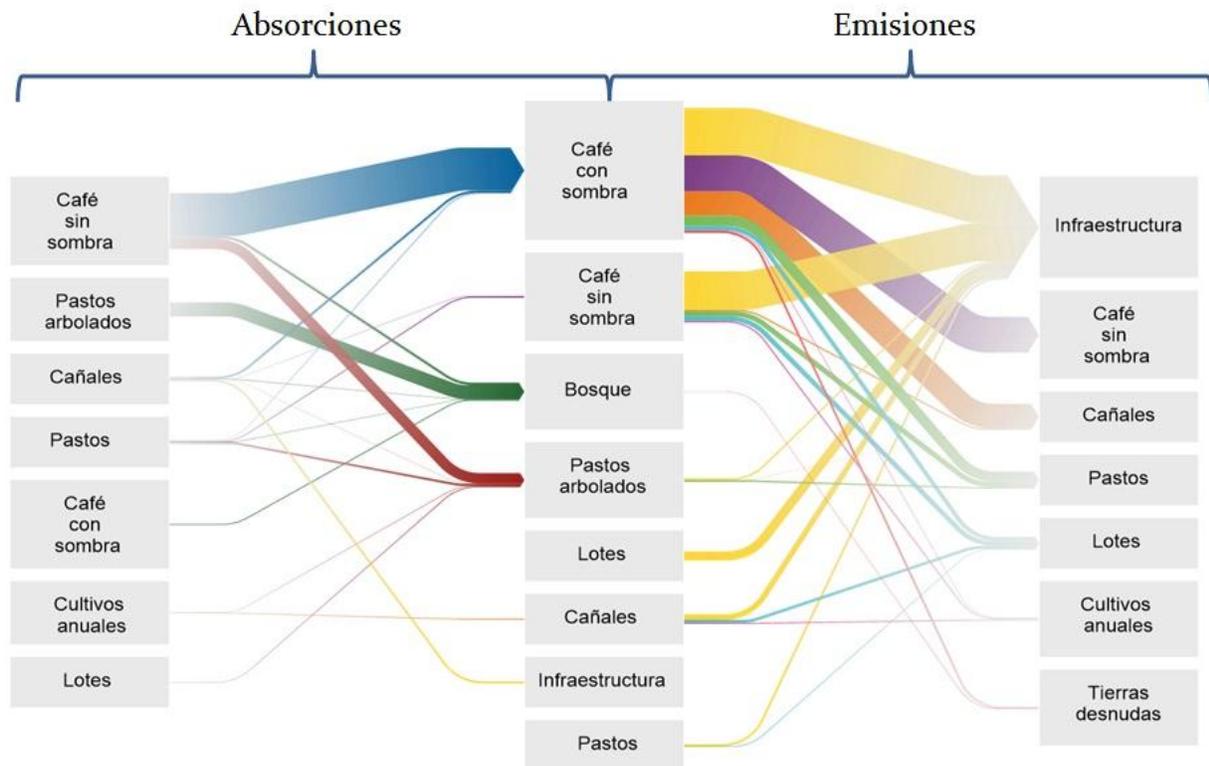


Figura 2. Flujos de absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero generados por cambios de uso de la tierra generadas en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.

La conversión de usos de la tierra a bosques representa el 22% de las absorciones (figura 2). El Bosque pluvial montano bajo presentó el porcentaje más alto de absorción de las tierras forestales, seguido del bosque muy húmedo montano bajo y pluvial montano transición a montano bajo (6%, 5% y 5% de las absorciones totales respectivamente). Estas absorciones ocurren en las zonas altas de los distritos Bolívar y San Roque, gracias a la conversión de pastos arbolados a bosques, y las zonas bajas de los distritos de Puente de Piedra, Grecia y Bolívar.

Los pastos arbolados poseen el 17% de las absorciones generadas (figura 2). Estas se dan por la conversión de cultivos de café sin sombra y de pastos sin árboles. Es en la parte alta del

distrito de Bolívar donde se registran las absorciones más altas por dichos cambios de uso de la tierra.

## **7.1.2. Cantón de Río Cuarto**

### **7.1.2.1.Emisiones**

En el cantón de Río Cuarto, el cultivo de piña presentó un incremento de 1 689,53 ha en el período 2005-2012 provenientes principalmente de pastos, pastos arbolados, áreas con cultivo de yuca y plantaciones forestales. Estas conversiones representan la emisión de 91 076,34 Mg CO<sub>2</sub>-eq (58% de las emisiones de este territorio; figura 3), de las cuales 25 684,74 Mg CO<sub>2</sub>-eq se deben a la pérdida del bosque muy húmedo premontano transición a basal y muy húmedo tropical (anexo 8).

Las conversiones de usos de la tierra a pastos representaron la segunda fuente emisora con el 26% de las emisiones, provenientes de la pérdida de superficie de tierras forestales (bosques y plantaciones forestales), pastos arbolados y tierras de cultivo (figura 3). Los cambios de uso de la tierra hacia el cultivo de yuca y otros cultivos anuales representan la tercera y cuarta fuente de emisión, respectivamente (figura 3).

### **7.1.2.2.Absorciones**

El 51% de las absorciones dadas en Río Cuarto se provoca por la conversión de usos de la tierra a pastos arbolados (figura 3). Estas son generadas principalmente en la parte media del territorio, a la altura de los poblados de Río Cuarto, Crucero y el Carmen. Los pastos es el principal uso de la tierra que contribuye a dichas absorciones (anexo 9).

Los cultivos de piña representan el 30% de las absorciones (figura 3), las cuales se dan por la conversión de tierras de cultivos anuales y pastizales a este cultivo. Las zonas bajas y medias del distrito de Río Cuarto son las que sufren estos cambios.

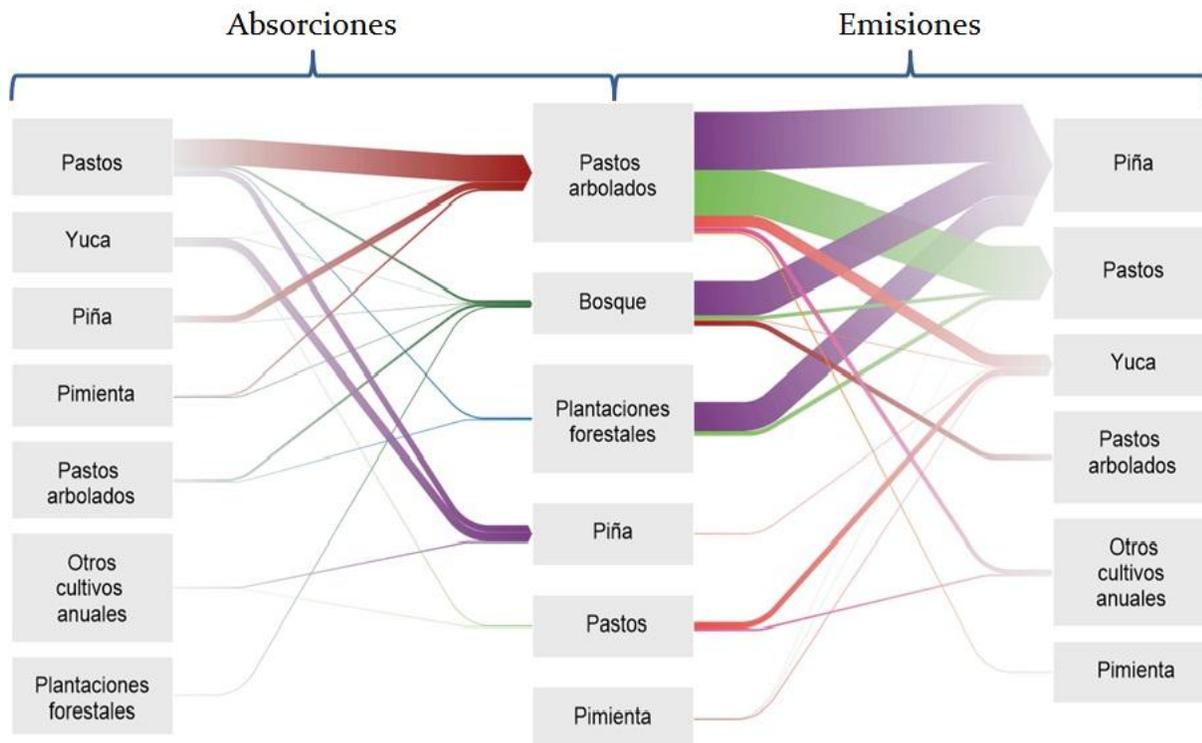


Figura 3. Flujos de absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero generados por cambios de uso de la tierra generadas en el cantón de Río Cuarto durante el período 2005-2012.

La conversión de usos de la tierra a bosques registró el 17% (figura 3) y se presenta hacia la parte media y baja del distrito. Las absorciones son provocadas principalmente por la conversión de pastos arbolados, plantaciones forestales y pastos a bosques. El bosque muy húmedo premontano transición a basal y el bosque muy húmedo tropical concentran  $-2\,962,96$  Mg CO<sub>2</sub>-eq y  $-2\,077,37$  Mg CO<sub>2</sub>-eq de absorciones respectivamente.

### 7.1.3. Balance de emisiones y absorciones

El balance general de emisiones y absorciones de GEI para el sector forestal y uso de la tierra del cantón de Grecia y Río Cuarto muestra que durante el periodo evaluado las concentraciones de GEI en la atmósfera por cambios de uso de la tierra aumentaron, esto porque las emisiones superaron a las absorciones dadas. En el cantón de Grecia, el distrito de Bolívar presenta las emisiones y absorciones más altas; por su parte, el distrito de Grecia posee los valores más bajos (figura 4).

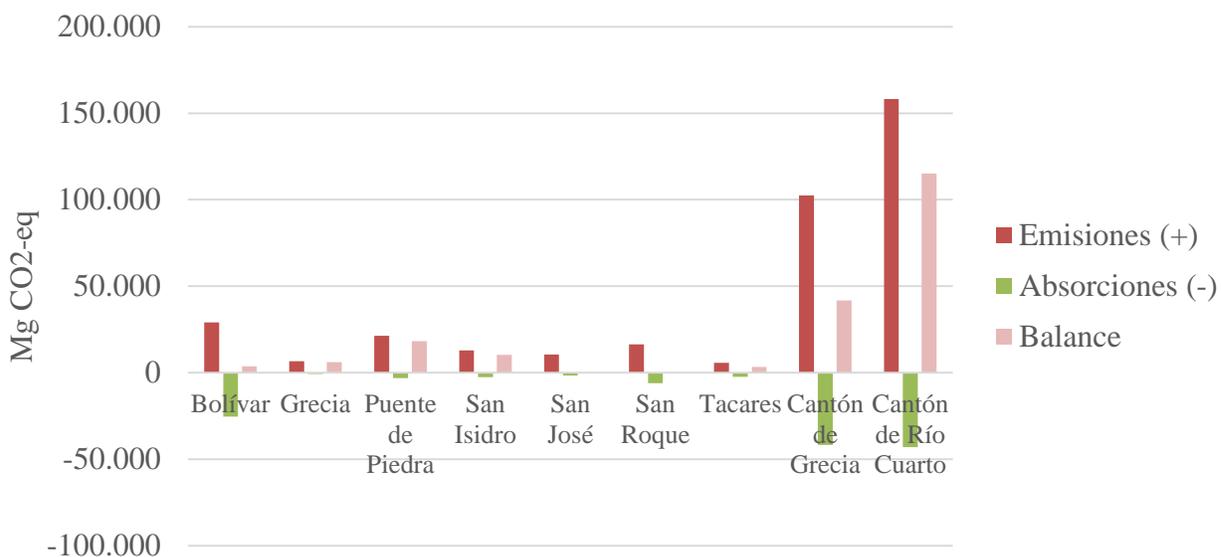


Figura 4. Balance de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero del sector FOLU por distrito del cantón de Grecia y Río Cuarto para el período 2005-2012.

### 7.1.4. Incertidumbre

El porcentaje de concordancia entre la clasificación del año 2012 y los puntos de control fue de 58,54% y 53,63% para los cantones de Grecia y Río Cuarto, respectivamente. Se obtuvo una incertidumbre asociada a la clasificación de usos de la tierra del 41% para Grecia y 46%

para Río Cuarto. El inventario de Grecia presentó una incertidumbre total del 160%, mientras que la correspondiente a Río Cuarto fue del 45% (anexos 10 y 11).

## **7.2. Identificación del potencial de mitigación del sector FOLU del cantón de Grecia**

### **7.2.1. Cantón de Grecia**

El incremento de la cobertura arbórea en cafetales representa el mayor potencial de mitigación de GEI del sector FOLU (Balance CAFÉ, Figura 5;  $X = 6,68 \text{ Mg CO}_2\text{-eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Asumiendo como año base 2012, la implementación de esta medida lograría mitigar en 8 años la cantidad de emisiones de GEI generadas por los cambios de uso de la tierra durante el período 2005-2012. Los distritos de Bolívar y San Roque concentran cerca del 52% de este potencial, esto debido a que son los distritos con mayor extensión de cafetales sin sombra.

Las áreas de protección de nacientes (100 m) poseen el segundo potencial de mitigación de GEI a los 20 años y podrían llegar a mitigar en 10 años las emisiones generadas en el sector FOLU. Estas presentan una tendencia similar con el potencial presentado por las áreas de protección de ríos y el plan regulador vigente, los cuales podrían tardar entre 13 y 14 años para mitigar las emisiones del sector FOLU (figura 5).

De las áreas alrededor de los ríos y nacientes definidas por la actual legislación nacional como áreas de protección, solo el 20% está ocupado por alguna cobertura boscosa, mientras que el 80% está siendo utilizado para el desarrollo de alguna actividad productiva, o bien, son terrenos en abandono.

Por otro lado, en el área determinada como Reserva Forestal de Grecia por el plan regulador vigente, apenas el 16% no está bajo cobertura forestal. Esta área posee el menor potencial de

mitigación (figura 5) y abarca las partes altas de los distritos de Bolívar, San Roque y San Isidro.

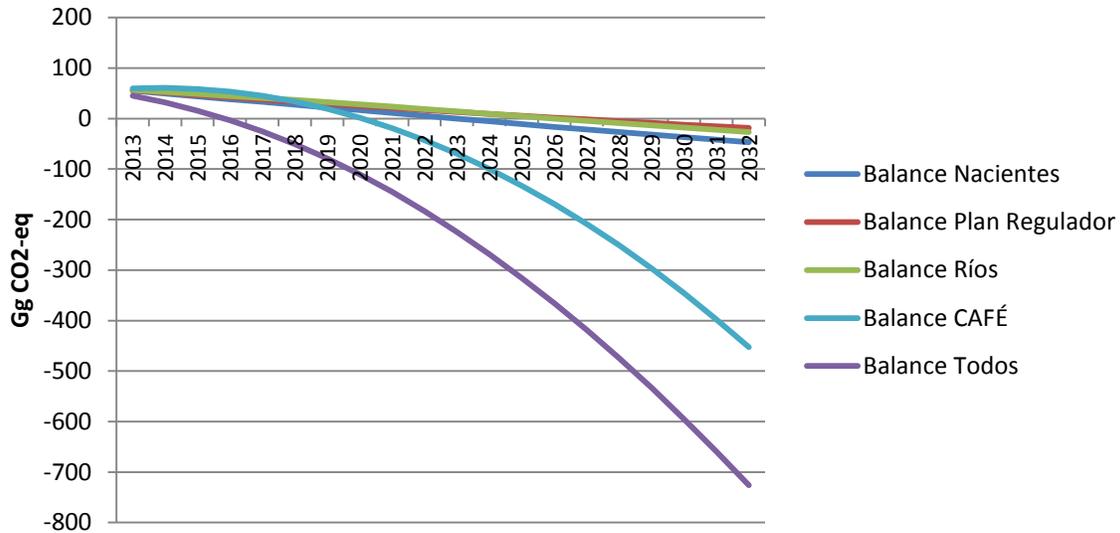


Figura 5. Potencial de mitigación presente en el cantón de Grecia.

### 7.2.2. Cantón de Río Cuarto

De los posibles escenarios seleccionados para determinar el potencial de mitigación de GEI en el sector FOLU del cantón de Río Cuarto, ninguno, por sí solo, lograría en un período de 20 años mitigar todas las emisiones generadas por cambios de uso de la tierra durante el período 2005-2012. La realización conjunta de los cinco escenarios propuestos podría, eventualmente, mitigar las emisiones generadas en un lapso de 12 años (figura 6).

El mayor potencial es presentado por las áreas de protección de ríos, las cuales cubren 397 ha de este territorio. El 36% de esas áreas está siendo designado para el desarrollo de alguna actividad productiva (figura 6).

Las áreas de protección estipuladas por el plan regulador vigente poseen el segundo potencial de mitigación registrado (figura 6). Estas se concentran principalmente en la parte alta del cantón, poseen una extensión de 230 ha, y son de importancia hídrica, ya que en ellas se da la recarga de los acuíferos que proveen de agua potable a los asentamientos ubicados aguas abajo.

Las áreas de nacientes y pastos poseen el menor potencial de mitigación de GEI presentado (figura 6). En el caso de los pastos, solamente un 13% de 3979 ha de pastos presentes en él, podría llegar a implementar los modelos de sistemas agroforestales en franjas con melina y teca según el escenario acogido por el presente estudio. Por otro lado, solo el 41% (56 ha) de las áreas de nacientes está bajo cobertura boscosa, mientras que el restante 59% (80 ha) es dedicado a actividades agropecuarias.

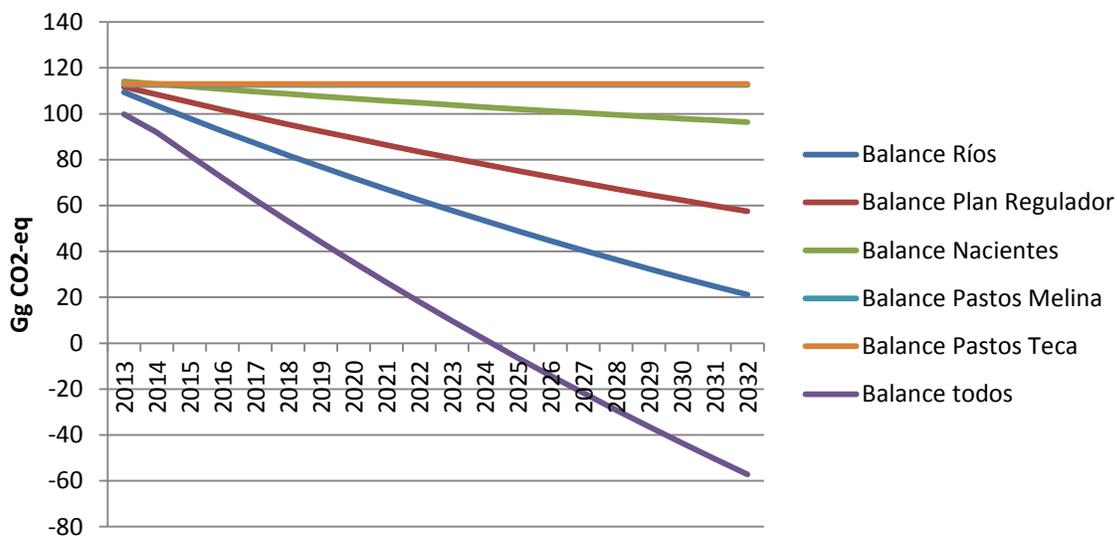


Figura 6. Potencial de mitigación presente en el cantón de Río Cuarto.

### 7.2.3. Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea

Asumiendo las tasas de pérdida de cobertura arbórea, en Río Cuarto se estarían emitiendo en el primer año 28 402,97 Mg CO<sub>2</sub>-eq producto de la transformación del bosque muy húmedo tropical, el bosque muy húmedo tropical transición a premontano y los pastos arbolados a otros usos de la tierra con nula cobertura arbórea (e.g. piñeras, pastos, tubérculos). La mayor cantidad de emisiones por pérdida provendría del bosque muy húmedo premontano transición a basal, mientras que las menores del bosque muy húmedo tropical. En 10 años, se emitirían a la atmósfera 258 383,61 Mg CO<sub>2</sub>-eq (Cuadro 5).

Cuadro 5. Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea en el cantón de Río Cuarto.

Año	Río Cuarto (Mg CO <sub>2</sub> - eq)			
	Bmh-T	Bmh-P6	GGT	Total
2013	4 195,88	13 267,92	10 939,17	28 402,97
2014	4 149,56	12 919,59	10 728,84	27 797,99
2015	4 103,75	12 580,41	10 522,55	27 206,71
2016	4 058,45	12 250,13	10 320,23	26 628,81
2017	4 013,65	11 928,52	10 121,79	26 063,96
2018	3 969,34	11 615,36	9 927,18	25 511,87
2019	3 925,52	11 310,41	9 736,30	24 972,24
2020	3 882,18	11 013,48	9 549,10	24 444,76
2021	3 839,32	10 724,34	9 365,49	23 929,16
2022	3 796,94	10 442,79	9 185,42	23 425,15
<b>Total</b>	<b>39 934,59</b>	<b>118 052,94</b>	<b>100 396,07</b>	<b>258 383,61</b>

Bmh-T: bosque muy húmedo tropical, Bmh-P6: bosque muy húmedo premontano transición a basal, GGT: pastos arbolados.

### **7.3. Identificación participativa de medidas de mitigación**

En este apartado se describen las medidas de mitigación de GEI mencionadas por los actores claves consultados de cada sector del cantón de Grecia (institucional, cafetalero, cañero, piñero, ganadero, ASADAS, e inmobiliario) y productores cafetaleros. Asimismo, se puntualizan las barreras que posee cada medida de mitigación para llevarse a cabo y las opciones que podrían explorarse para superar las barreras presentes.

Por medio de la realización de entrevistas y del taller, se buscó identificar medidas de mitigación para reducir las emisiones de GEI por cambios de uso de la tierra; absorber las emisiones de GEI por medio del aumento de la cobertura arbórea; así como identificar las barreras existentes para proteger las áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador.

#### **7.3.1. Reducción de emisiones por cambios de uso de la tierra**

Los actores clave consultados por medio de entrevistas son conscientes de que se han presentado cambios de uso del suelo en los cantones donde desarrollan sus actividades productivas. Para el sector inmobiliario, cafetalero, cañero e institucional, los mayores cambios en el cantón de Grecia se dan por la conversión de áreas de cultivo a infraestructura. Por su parte, en el cantón de Río Cuarto, tres de los sectores consultados afirman que el principal cambio se da hacia áreas de cultivo de piña (sector ganadero, institucional y piñero). Entre los usos de la tierra que ceden terreno a la piña están los pastos, el cultivo de tubérculos, plantaciones forestales y bosques secundarios en fincas de pequeños y medianos productores.

Al consultarles a los entrevistados por las alternativas para evitar el cambio de uso de la tierra, y así reducir las emisiones de GEI, dos de los sectores mencionaron que sería necesario mejores precios que permitan sostener financieramente su actividad productiva (sector cañero

y cafetalero); otros dos sectores no identificaron medidas para reducir las emisiones (sector ganadero e institucional). Por otro lado, el sector inmobiliario considera que es necesario la existencia de planes de sostenibilidad ambiental, así como eliminar el menor número posible de árboles y realizar movimientos de tierra ajustados a la topográfica del sitio. Finalmente, el sector piñero considera que debe haber mayor control del MINAE para evitar la deforestación de los bosques, mientras que el sector ganadero recalca la necesidad de someter los bosques a manejo forestal.

Algunos de los sectores participantes identificaron las siguientes barreras: aceptación y compromiso con los clientes (inmobiliario); alto costo del aprovechamiento de madera (ganadero); disminución de la producción (piñero); y limitado acceso a tecnología (ganadero; anexo 12).

### **7.3.2. Aumento de cobertura arbórea**

Todos los actores consultados afirmaron que existen posibilidades de aumentar la cobertura arbórea dentro de sus sectores, ya sea para la producción de madera y frutas, o bien para usos recreacionales. Estas alternativas enfrentan barreras como el tradicionalismo y la falta de interés de los productores o de personas asociadas a los sistemas productivos (sector cañero, piñero, cafetalero y ganadero), además de barreras económicas, vinculadas principalmente al alto costo de las actividades importantes (piñero), el costo de mantenimiento (cafetalero), y a que la producción de madera no es rentable (ganadero). El sector institucional, por su parte, identifica como barrera la política y el cumplimiento con la normativa legal, mientras que el sector inmobiliario relaciona las barreras más con el compromiso que se tenga con los clientes y al clima, el cual podría afectar la sobrevivencia de los árboles plantados.

Para superar las barreras identificadas, los actores clave presentaron las siguientes alternativas: asesoría técnica y capacitación (cafetalero, institucional y ganadero); mejores precios que reciben los productores (cafetalero y cañero); plantación de árboles maderables con mercado (cafetalero y cañero); existencia de viveros con material disponible, ya sea de una fuente externa o manejados por los mismos productores (piñero y ganadero); acciones que no involucren costos para el productor (piñero); respeto a la normativa legal (institucional), y consultas a los clientes (inmobiliario; anexo 13).

### **7.3.3. Áreas de protección**

En el caso de áreas de protección, uno de los factores que incide en que estas áreas no se respeten es porque reduce el área disponible para la producción, lo cual impacta la rentabilidad de las actividades, además existe poca capacidad operativa para supervisar dichas áreas y los mismos entes encargados no realizan sus funciones estrictamente (piñero e institucional).

Asimismo, hay criterios técnicos de las instituciones encargadas que resultan ambiguos al definir qué es naciente o no, y constantemente se presentan estudios hidrogeológicos demostrando que no hay afectaciones. Para el sector agua, en cambio, no hay interés de los diferentes actores sociales para respetar o hacer valer la legislación entorno a las áreas de protección, y la adquisición de terreno para preservar es limitado por el alto costo de la tierra y las tarifas, las cuales no incluyen un rubro para esto.

Para el sector ganadero, es necesario un pago al productor por respetar dichas áreas. El sector agua aboga por un cambio en el ajuste tarifario que incluya el rubro de adquisición de terrenos para realizar la compra de territorios que están en propiedad privada, además de la concientización de las personas y acciones similares a las descritas por el sector institucional.

Finalmente, el sector piña aduce sobre la necesidad de hacer auditorías socioambientales de la CANAPEP y la aplicación del manual de buenas prácticas en el cultivo de piña (anexo 14).

#### **7.3.4. Taller con productores cafetaleros**

Entre las medidas de mitigación priorizadas por los productores cafetaleros, solo la plantación de árboles se encuentra entre las alternativas que se refieren al sector FOLU, debido a que las otras están vinculadas al sector agricultura. Para la plantación de árboles, los productores perciben que pueden obtener mejoras ambientales y de disponibilidad de subproductos para la venta. El tiempo de trabajo y la implicación de más costos fueron identificadas como las barreras que limitarían la implementación de esta medida, por lo que proponen una mejora en el precio que reciben por el producto, realizar negocios directos con empresas proveedoras y crear alianzas con FONAFIFO y COOPEVICTORIA (anexo 15).

### **8. Discusión**

#### **8.1. Determinación de los sectores clave que contribuyen al balance de emisiones y absorciones**

##### **8.1.1. Emisiones por cambios de uso de la tierra**

Los asentamientos representaron la primera fuente de emisión en el cantón de Grecia (43% de las emisiones de GEI por cambios de uso de la tierra a infraestructura y lotes), evidenciándose el impacto que causan en los reservorios de carbono. A pesar de que existen varios estudios que muestran las transformaciones de los reservorios de carbono por la expansión urbana (Andrews 2008, Hutyra *et al.* 2011, Timilsina *et al.* 2014, Zhao *et al.* 2010), muy pocos inventarios de emisiones y absorciones de GEI del sector forestal y uso de la tierra cuantifican

este rubro (e.g. Fundación Bariloche 2005, Calvo 2014, Chacón *et al.* 2014, Yepes *et al.* 2011).

Usualmente, se asume que los cambios ocurridos en las áreas de asentamiento tienen un balance neto cercano a cero, y con esta premisa se justifica su exclusión de los inventarios. Este supuesto ha ocasionado que no se realicen esfuerzos a escala nacional para cuantificar el aporte de los reservorios de carbono de estas áreas en el balance de emisiones y absorciones de GEI, en especial de regiones tropicales (Hutyra *et al.* 2011, Nowak *et al.* 2013). De esta manera, al reducir la escala y aumentar la precisión es posible evidenciar cómo en esta Municipalidad sí se encuentra un efecto por cambio de uso del suelo hacia asentamientos y esto permite identificar oportunidades locales para el manejo del cambio climático. En el caso del cantón de Grecia, estas podrían dirigirse a reducir los impactos que causa el sector inmobiliario en el balance de GEI.

Desde inicios del año 2000, el cantón de Grecia se convirtió en un área con potencial para la expansión urbana debido a varios beneficios entre ellos: seguridad, servicios públicos y privados, tranquilidad y cercanía a la capital, entre otros (Brenes 2005). Estos factores han incidido en un aumento en los permisos de construcción para proyectos inmobiliarios en los distritos (Brenes 2005), y en el incremento del área y la magnitud de emisiones por cambios de uso de la tierra a asentamientos (reportado en el presente estudio). Aunado a ello, es de esperarse mayores emisiones, dado que después del 2012, aún se estaban desarrollando importantes proyectos inmobiliarios en los distritos de Puente de Piedra y Tacaes. Además, la Municipalidad de Grecia pretende atraer inversiones para la creación de nuevas fuentes de empleo (Municipalidad de Grecia 2009, Municipalidad de Grecia 2015).

Las áreas del cultivo de café y caña son las que más han cedido terreno a la expansión urbana (49.812,47 Mg CO<sub>2</sub>-eq de emisiones). Esto ha estado ligado a la baja rentabilidad de estas actividades agrícolas, al alto costo de oportunidad que los propietarios deben incurrir dado que el mercado inmobiliario es más lucrativo, y a que las nuevas generaciones no quieren dedicarse al cultivo de café y caña (Bosselmann 2012, Brenes y Esquivel 2005, Comisión de Cambio Climático de Grecia 2015).

Por otro lado, en el cantón de Río Cuarto, el cultivo de piña es el uso de la tierra con mayor incremento en área y mayores emisiones (1 689,53 ha; 58% de las emisiones de dicho territorio). Esto está relacionado a la rentabilidad de dicho cultivo respecto a otros usos de la tierra. Comportamiento dado por la alta demanda que posee en los mercados internacionales y por la disponibilidad de créditos que existen para desarrollar la actividad (Maglianesi 2013).

Según Fagan *et al.* (2013), en la zona norte de Costa Rica las áreas de pastos, plantaciones forestales y bosques secundarios también se ven afectados por la expansión del agronegocio, siendo los pastos los que mayor cantidad de área ceden. Misma tendencia fue encontrada en el presente estudio, en donde el 42% de las emisiones por cambios de uso de la tierra a piña fue producto de la pérdida de pastos hacia ese cultivo, seguido de las pérdidas de bosque (25.684,74 Mg CO<sub>2</sub>-eq emisiones) y plantaciones forestales (22.063,40 Mg CO<sub>2</sub>-eq emisiones).

De acuerdo a Fagan *et al.* (2013), la conversión de las áreas de pastos a piñales podría estar ocasionando el desplazamiento de los pastos hacia otras áreas, provocando la pérdida de bosques durante el período 2005-2011. De hecho, en el área en estudio se encontró que la pérdida de bosque representó el 4% del aumento de la superficie de pasto, aunque esto podría

estar igualmente relacionado con el aprovechamiento de madera en terrenos de uso agropecuario, mediante la conversión de bosques socolados a potreros para obtener madera fácil y de bajo costo tal como lo exponen Espinoza (2008) y Sandí (2008).

### **8.1.2. Absorciones por cambios de uso de la tierra**

Las absorciones presentadas en los dos cantones solo compensan el 27% de las emisiones por cambios de uso de la tierra. Esto diverge de lo mostrado por MINAET (2007) y Calvo (2015) para la región Huetar Norte y el cantón de San Rafael de Heredia, en donde todas las absorciones generadas pueden lograr compensar las emisiones tanto del sector FOLU como de otros sectores. Dicha diferencia se debe a los supuestos y la metodología empleada por MINAET (2007) y Calvo (2015), las cuales incluyeron el carbono contenido en los bosques y plantaciones forestales ya establecidas y su crecimiento, a diferencia de solo considerar los cambios en el contenido de carbono tal y como lo establecen las Guías para Inventarios del IPCC (IPCC, 2006).

Por ejemplo, MINAET (2007) alude que la región Huetar Norte posee la mayor capacidad de absorción por sumideros de GEI a nivel nacional, pero no considera la expansión de la piña en dicha área desde los años noventa y que esto ha generado un cambio en la tenencia de la tierra y la composición de los usos de la tierra de la región (Fagan *et al.*, 2013), lo cual tiene consecuencias directas en los reservorios de carbono (Powers, 2004); esto es evidencia de la importancia de tomar en cuenta el cambio de uso de la tierra dentro de las estimaciones de emisiones y absorciones de GEI, dada la importancia que posee ese cultivo en la región.

Por otro lado, la mayor magnitud en el total de absorciones registradas se da por la conversión de pastos a áreas de bosque (-11.092,66 Mg CO<sub>2</sub>-eq de absorciones incluyendo Grecia y Río

Cuarto). Las posibilidades de que se mantengan, o bien, se reviertan los procesos de regeneración iniciados varía de un territorio a otro. Así, los procesos de regeneración en el cantón de Grecia tendrían mayor posibilidad de perpetuarse en el tiempo que sus homólogos de Río Cuarto, esto porque las zonas de ese territorio responden a una restricción en el uso del suelo contemplada dentro del marco regulatorio cantonal (Reserva Forestal de Grecia; Municipalidad de Grecia 2003). En Río Cuarto, en cambio, estarán influenciados por una mejoría o degradación de la rentabilidad de las actividades agropecuarias desarrolladas (e.g. cambio en precios, Jones 2002), los cambios en los patrones de producción de los sistemas agroexportadores (e.g. distribución de los terrenos donde se planta piña), al abandono de tierras poco productivas o de difícil acceso (Rudel *et al.*, 2005), o al incremento en la adquisición de tierras por parte de ASADAS para la protección de nacientes.

Las áreas con cultivos de café con sombra (51% de las absorciones dadas en el cantón de Grecia) no estarían exentas de los factores mencionados arriba. De hecho, la permanencia de estos cultivos dependerá de la invención de nuevas estrategias de mercado que habiliten la posibilidad de acceder a mercados exclusivos que generen más réditos para los productores, como en la diversificación del mismo sistema productivo (Deug 2003), y de políticas de ordenamiento territorial que valoren las áreas de cultivo como sitios para asegurar el acceso de alimentos frescos a las poblaciones urbanas (Chaverri 2014).

### **8.1.3. Incertidumbre**

Según la valoración del índice de Kappa propuesta por López y Pita (2001), la fuerza de concordancia presentada por la clasificación de usos de la tierra de Grecia y Río Cuarto, es moderada. A pesar de ello, la incertidumbre total de ambos tiende a ser alta. Esto se debe a

algunos de los factores de emisión empleados, los cuales poseen errores estándar o coeficientes de variación superiores al 30%. Los factores de emisión que inciden en un aumento de la incertidumbre son aquellos presentados por defecto por el IPCC (2006a) y Ulate (2011), estos últimos empleados en la estimación de absorciones y emisiones de los bosques del piso montano y montano bajo.

## **8.2. Identificación del potencial de mitigación del sector FOLU del cantón de Grecia**

Entre las alternativas de mitigación propuestas para el sector FOLU se encuentra la restauración de las áreas degradadas de los ríos (Lal *et al.* 2011, Smith *et al.* 2014). Dichas áreas han sido catalogadas como importantes fuentes de absorción y almacenamiento, debido a que tienen condiciones favorables que garantizan el crecimiento de la vegetación, poseen características que asemejan a los bosques naturales, y contribuyen con el alcance de otros objetivos (e.g. biodiversidad, belleza escénica, riesgos, entre otros; Baladelli *et al.* 2013, Lewis *et al.*, 2015).

A pesar de ello, tanto en el cantón de Grecia como en el de Río Cuarto, la restauración de los bosques riparios en áreas sin cobertura boscosas, no representa el mayor potencial de mitigación existente dentro del sector FOLU de ese cantón. De hecho, la cantidad de carbono que puede ser almacenado es inferior al presentado por otros estudios realizados a orillas de ríos (Baladelli *et al.*, 2013; Garrastazú *et al.* 2015). No obstante, el potencial de mitigación puede variar considerablemente de una región a otra, tanto por las actividades productivas desarrolladas, el sistema de límites administrativos, el horizonte definido por los estudios, como por el tipo de vegetación existente (IPCC 2007) y las metodologías para estimar la cantidad de carbono.

En contraposición a la recuperación de la cobertura forestal de las áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador, es el establecimiento de sistemas agroforestales de café los que poseen el mayor potencial de mitigación en el sector FOLU del cantón de Grecia (513 331,24 Mg CO<sub>2</sub>-eq en 20 años). De acuerdo a Dossa *et al.* (2007), este tipo de sistemas productivos presentan una producción de biomasa primaria comparable a la de bosques secundarios, con lo que podrían compensar las emisiones por deforestación y aquellas derivadas de las prácticas agrícolas. Dicha capacidad de almacenamiento varía según el tipo de manejo, las condiciones físicas del ambiente y la cantidad y tipo de árboles presentes (Pinoargote 2014). Ante esto, es necesario considerar en la estimación del potencial de mitigación, las características propias de los cafetales de la zona de Grecia, dada la existencia de una mayor cantidad de especies vegetales (e.g. laurel, eucalipto, musáceas, entre otras), las cuales presentan diferentes tasas de crecimiento y producción primaria al cedro, especie en la cual se basa la ecuación empleada en el presente estudio (González, 2016).

Más allá de las diferencias que pueden darse, ha sido por el potencial que presentan las áreas de cafetal que están siendo consideradas en la formulación de estrategias de cambio climático como alternativa para mitigarlo en las regiones donde este cultivo es de gran importancia (Nieters *et al.* 2015, Richards y Méndez 2014, van Noordwijk *et al.* 2002). Asimismo, se ha planteado la posibilidad de considerar los cafetales como prácticas a ser incluidas dentro de los programas de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD; Soto-Pinto *et al.* 2010), a través de la intensificación del cultivo para evitar las emisiones por cambios de ese cultivo a otros, o bien la deforestación asociada a la expansión del mismo (e.g. Vietnam, Indonesia; Nojonen *et al.* 2013). Criterio que debiera tomarse en cuenta en el cantón de

Grecia, ante la pérdida de área de ese cultivo hacia tierras dedicadas a la producción de caña y urbanismo.

### **8.2.1. Reducción de emisiones por pérdida de cobertura arbórea**

Las emisiones de GEI por pérdida de cobertura arbórea apenas representan el 17% del total de emisiones generadas por cambios de uso de la tierra de Río Cuarto durante el período 2005-2012. No obstante, en 10 años puede significar más del 100% de emisiones de GEI registradas.

Si bien estas estimaciones pueden variar dentro de los próximos años, debido a la existencia de factores socio-económicos (e.g. cambio en precios, Jones 2002) que no fueron incluidos en la estimación de las tasas de pérdida de cobertura arbórea, no se puede despreciar el impacto futuro que puede ocasionar la deforestación y la corta de árboles en potrero en el total de emisiones de GEI del cantón. Aún más cuando se ha expuesto sobre la existencia de: tala y comercio ilegal de madera en Costa Rica a través de diferentes prácticas (e.g. conversión de bosques sicolados a terrenos de uso agropecuario; Barrantes y Ulate 2016, Espinoza 2008, Sandí 2008), y la pérdida de cobertura boscosa en la región Huetar Norte a una tasa del 1% anual a pesar de la presencia de una legislación que la prohíbe (Fagan *et al.*, 2013). Esto último producto tanto por la expansión de piña como por la conversión a otros usos de la tierra (Fagan *et al.* 2013, MOCUPP 2017).

## **8.3. Definición de medidas de mitigación**

### **8.3.1. Reducción de emisiones por cambios de uso de la tierra**

El comportamiento de los mercados de las actividades agropecuarias e inmobiliarias de los dos cantones tiene influencia en el cambio de uso de la tierra y, por ende, en el aumento de las

emisiones de GEI. Para disminuir el cambio de uso de cafetales y cañales a otros usos de la tierra, representantes del sector cafetalero y cañero plantearon la necesidad de aumentar los precios que reciben los productores. Sin embargo, para representantes del sector institucional, dicha medida es limitada, ya que los precios de esos productos están sometidos a las reglas impuestas por los mercados internacionales. Por otro lado, otros autores han planteado la necesidad de crear nuevas estrategias (e.g. aumento de la calidad del grano, mayor valor agregado de los productos, mejoras en el mercadeo y diversificación de la producción) con tal de acceder a nuevos nichos de mercado (Deug 2003), aún, quizá, poco explorados o aprovechados por las organizaciones y los productores del cantón.

Ante la inexistencia de un medio financiero para evitar el cambio de uso de la tierra, el planteamiento de crear normativas orientadas a ordenar el territorio (e.g. moratorias), surge como alternativa para minimizar los impactos de la expansión urbana y piñera en el cantón, los cuales son los usos de la tierra que experimentan los mayores incrementos en área. No obstante, es necesario analizar las implicaciones que pesarían sobre el derecho a la propiedad planteado por Valdés (2010), y la afectación a la economía local y familiar de las personas (Smith *et al.* 2014, Oosterzee *et al.* 2014) y la capacidad del Gobierno local para verificar el cumplimiento de este tipo de normativas. Estos factores incidirían en el poco cumplimiento por parte de la población, tal como lo han planteado Kingsford (2011), Viers y Rheinheimer (2011) y Garrastazú *et al.* (2015) respecto a las normativas asociadas a áreas de protección de ríos. Por su parte, Chaverri (2014) alude a la necesidad de crear marcos de ordenamiento territorial con visión estratégica basados en una economía de fuentes limpias, en donde se logre captar una real participación ciudadana, no se prioricen los intereses de un grupo y se logre dar otro tipo de valores a las áreas de cultivo.

La implementación de planes de sostenibilidad y manuales de buenas prácticas pueden llegar a funcionar como medidas paralelas a las normativas de ordenamiento territorial. El número de personas y organizaciones que logre adecuarse a ese tipo de medidas pareciera ser el mayor desafío que enfrenta ese tipo de medidas, las cuales usualmente son aplicadas por organizaciones con alta liquidez que les permite realizar acciones sin comprometer la rentabilidad de sus actividades.

### **8.3.2. Aumento de cobertura arbórea**

El aumento de cobertura arbórea ha sido presentado por los diferentes actores sociales consultados como alternativa viable para ser ejecutada en el cantón de Grecia (e.g. sistemas agroforestales, silvopastoriles; arborización urbana). Este tipo de medida fue considerada como una opción efectiva para mitigar las emisiones de GEI (Feliciano *et al.* 2014), aunque no ha sido del todo aprovechada para lograr la conservación de los bosques (Quazi y Ticktin, 2016) ni preferida por productores agropecuarios de otras regiones (Feliciano *et al.* 2014, Duesberg *et al.* 2014). La falta de interés que muestran los productores, el tradicionalismo, actitudes negativas hacia la plantación de árboles y el aumento del trabajo, el riesgo, la falta de conocimiento, entre otras, han sido barreras que disminuyen el alcance logrado por estrategias que han contemplado el aumento de cobertura arbórea dentro sus lineamientos (Feliciano *et al.* 2014, Duesberg *et al.* 2014, Smith *et al.* 2007). Dichas barreras son semejantes a las descritas por los autores clave consultados en este estudio.

Sin embargo, los productores de café del cantón de Grecia sí estarían dispuestos a plantar árboles dentro de sus sistemas productivos, y consideraron esta actividad entre las acciones prioritarias a desarrollar para mitigar los efectos del cambio climático en el cantón. La generación de alianzas con instituciones, el negocio con una empresa directa y la plantación de

árboles maderables con mercado fueron planteadas como medios para superar las barreras que esta medida presenta. Feliciano *et al.* (2014) y Pagiola *et al.* (2006), por su parte, ven en la creación de mercados de carbono o en la provisión de incentivos financieros como opciones para lograr la implementación de los sistemas agroforestales. No obstante, cualquier política a implementar debe poseer instrumentos que superen barreras no monetarias (Duesberg *et al.* 2014), ya que la adopción o no de una medida de mitigación no está dada solamente por barreras económicas (Neumann *et al.* 2007).

Dada la aceptabilidad que poseen los productores, y la extensión del cultivo del café en el cantón de Grecia (12,67% del territorio), es preciso considerar el establecimiento de sistemas agroforestales de café en las áreas sin restricciones legales (e.g. plan regulador, áreas de protección) en la formulación de políticas y estrategias de cambio climático local. Esto porque los cafetales con producción diversificada pueden proveer bienes que generan ingresos extras a las familias y empresas (Pinoargote 2014), además de presentar el mayor potencial de mitigación del sector FOLU del cantón. Según actores del sector cafetalero consultados, ese potencial podría lograrse en un tiempo de 10 años, debido a trabajos que ya se están realizando en conjunto con instituciones privadas, públicas y los productores. Sin embargo, el sector institucional considera que quizá se llegue a alcanzar en 20 años un 75% del área de cafetales disponible.

Si bien existen otras alternativas para aumentar la cobertura arbórea (e.g. sistemas silvopastoriles, arborización urbana, reforestación de áreas improductivas) propuestas, estas tienen pocas probabilidades de llegarse a implementar, y sus impactos al mediano y largo plazo no llegan a ser tan evidentes como el establecimiento de sistemas agroforestales de café. Esto debido a la reducida área en donde se desarrollaría (e.g. arborización urbana en el distrito

central y algunos proyectos inmobiliarios). Por ejemplo, a pesar que las áreas de pastos representan el 11% del cantón de Río Cuarto, su potencial de mitigación en este uso de la tierra es mínimo, debido a que: todavía las áreas de pastizales ceden terreno al cultivo de piña<sup>3</sup>; parte del área de pastos se encuentra en zonas con bajo potencial para la reforestación de las especies forestales seleccionadas por este estudio (teca y melina; zonas altas); y no existía un consenso a nivel local entre los actores sociales sobre la importancia del aumento de cobertura arbórea en pastizales.

### **8.3.3. Áreas de protección**

Las áreas de protección de ríos abarcan 1 794 ha del cantón de Grecia y Río Cuarto juntos, y de ellas el 31% no se encuentran bajo cobertura forestal. Dicha cifra varía a la presentada por otros estudios realizados en el país que determinaron entre un 10% hasta cerca de un 58% de áreas de protección de ríos sin cobertura arbórea (Mora y Chavarría 2008, Alice 2012, CGR 2013, CGR 2014). La variación dada está influenciada por la ubicación de áreas protegidas, y la presencia de áreas agropecuarias y urbanas, las cuales ejercen presión hacia los bordes de los ríos. Esto, a pesar de la existencia de marcos jurídicos existentes que obligan a los propietarios de esas áreas a mantenerlas bajo preservación (CGR 2014, Mora y Chavarría 2008, Valdés 2010).

El incumplimiento de las áreas de protección de ríos se debe tanto al desconocimiento de las leyes por parte de las personas, como a la ineficiencia de los entes encargados en llevarlas a su ejecución, dada la faltante de recursos y sobrecarga de trabajo que presentan para las instituciones (Castro 2007, Mora y Chavarría 2008, Valdés 2010). Situación que se repite en otras regiones en donde las regulaciones sobre las áreas de protección de ríos han tenido una pobre implementación y desarrollo (Garrastazú *et al.* 2015, Kingsford 2011, Viers y

Rheinheimer 2011). Ante ello, alcanzar el máximo potencial de mitigación de las áreas de protección de ríos a través de los aparatos jurídicos actuales es poco posible. Misma aseveración fue asumida por Alice (2012), para el potencial de mitigación de las áreas de protección de ríos de San Rafael de Heredia, y por funcionarios de la Municipalidad de Grecia, los cuales adujeron que quizá en 20 años el avance en este tema sea nulo.

Las áreas de protección de nacientes y del plan regulador no escapan de lo escrito arriba. A su vez, estas presentan otras problemáticas, las cuales se relacionan con: la divergencia de criterio para definir la presencia o no de una naciente<sup>6</sup>; el proceso jurídico extenso para realizar expropiaciones<sup>6</sup>; la presentación de estudios hidrogeológicos que disminuyen las áreas de protección de las nacientes<sup>6</sup>; la reducción del valor de los inmuebles<sup>6</sup>; y la pérdida de área productiva disponible<sup>2, 3, 5</sup>. No obstante, las expectativas para lograr alcanzar el potencial de mitigación en estos casos, tienden a ser mayores que la presentada por los ríos (hasta un 30% de las áreas de protección del plan regulador y entre un 5 a 15% de las áreas de protección de las nacientes<sup>6, 2</sup>).

Dada la problemática alrededor de las áreas de protección, se ha recomendado estudiar la posibilidad de modificarlas en función de las necesidades y factores de riesgos a través de medios más efectivos que los actuales (Valdés 2010). Para productores cafetaleros esto puede ser posible, dado que un sistema agroforestal de café no llega a perjudicar la permanencia de una fuente de agua<sup>3</sup>. Dicha afirmación es validada por varios estudios que determinaron que la implementación de buenas prácticas agroforestales en las áreas de protección no afecta la calidad de los cuerpos de agua (Maraseni y Mitchell 2016, Neary *et al.* 2010, Smethurst *et al.*

---

<sup>2</sup> Martínez, I. 2016. Medidas de mitigación del cambio climático en el sector FOLU del cantón de Grecia. (entrevista). Grecia, CR. UNAGUAS.

<sup>3</sup> Bolaños Álvaro, RM. 2016. Medidas de mitigación del cambio climático en el sector FOLU del cantón de Grecia. (entrevista). Grecia, CR. Productor asociado a COOPEVICTORIA.

2012). Aunque, eso implicaría un cambio en la legislación, el cual podría ser difícil de llegarse a implementar, aún más cuando la Sala Constitucional de Costa Rica declaró inconstitucional en el 2014 una propuesta para modificar el área de protección de nacientes (Quirós 2014).

## **9. Conclusiones**

La transformación de tierras para dedicarlas al urbanismo representó el cambio de uso de la tierra con mayores emisiones de GEI del cantón de Grecia (51%), ello debido al auge inmobiliario que ha experimentado dicho cantón. Por su parte, en Río Cuarto la expansión del cultivo de piña fue el tipo de uso que presentó las mayores emisiones (58%), fenómeno que es atribuido a la rentabilidad que dicha actividad agrícola tiene respecto a otras.

Las emisiones de GEI provocadas por el aumento del área urbana y el cultivo de piña no son compensadas por todas las absorciones que se registraron en el período 2005-2012 en los dos cantones. Los usos de la tierra que mayor contribución aportan al total de absorciones de GEI son los pastos en Río Cuarto y los cafetales arbolados en Grecia.

El potencial de mitigación de las áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador no es suficiente para mitigar las emisiones de GEI del sector FOLU. Por su parte, los cafetales arbolados muestran el mayor potencial de mitigación, con capacidad de mitigar las emisiones en un período de 8 años.

Asimismo, el estudio involucra diferentes actores sociales que validaron la información con tal de que las propuestas presenten condiciones de viabilidad, y se tomen las acciones respectivas. Dentro de ello, se consideró la plantación de árboles dentro de cafetales como la medida de mitigación con mejor aceptabilidad entre los propietarios de las tierras, lo cual es clave para

superar las barreras que se presentan en torno a ellas. Para implementarla se planteó generar alianzas con CoopeVictoria con tal de capacitar al productor y aumentar los ingresos por la venta de madera.

Por otro lado, la recuperación de las áreas de protección de nacientes y del plan regulador puede explorarse ante la importancia hídrica que presentan. Para ello, se requiere un ajuste tarifario para incluir un rubro por compra de terrenos y mayor apoyo entre los acueductos y los actores sociales involucrados.

## **10. Recomendaciones**

### **10.1. Grecia**

Si bien existe una tendencia creciente al desarrollo urbanístico y hay interés por parte de la Municipalidad de Grecia para atraer inversiones, es necesario valorar hasta dónde se quiere crecer y cuál es el tipo de crecimiento deseado, esto para evitar conflictos futuros relacionados al acceso de recursos naturales existentes (e.g. agua, suelo, alimentación), y al bienestar de las comunidades (congestión vial, desorganización territorial, drogadicción, contaminación), los cuales tendrán una acción directa e indirecta en el comportamiento de las emisiones y absorciones de GEI.

El establecimiento de sistemas agroforestales de café en áreas sin restricciones legales debe considerarse en la formulación de las políticas y estrategias de cambio climático local. Actualmente, existen iniciativas dirigidas al fomento de esta práctica en el país (e.g. NAMA Café) que resulta indispensable valorarlas a nivel local. Asimismo, se requiere articular el trabajo que ha realizado CoopeVictoria, ya que posee mejor conocimiento de los productores

de Grecia. Eso en coordinación con la Municipalidad, el Ministerios de Agricultura y Ganadería y la Comisión de Cambio Climático con tal estimular dicha práctica en la zona.

### **10.2. Río Cuarto**

En Río Cuarto, dado que la actividad piñera se ha establecido como la principal actividad económica y su área seguirá creciendo, se debe incentivar su cultivo responsable por medio la aplicación de las auditorías ambientales de la Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEEP) y el uso del manual de buenas prácticas para el cultivo de piña, tanto en pequeños, medianos y grandes productores. Además, tomando en cuenta que en algunas ocasiones los productores no respetan las áreas de producción y prefieren realizar cambios de uso del suelo (e.g. tala, conversión de potreros arbolados a piñeras) para no disminuir la producción, se tienen que tomar medidas que involucren pagos al productor por mantener la cobertura arbórea y así evitar el cambio de uso del suelo y, por consiguiente, el aumento en las emisiones de GEI.

Se recomienda también, estimular otras actividades productivas paralelas a la producción piñera que potencien la captura de carbono, ayuden a mejorar el desarrollo humano, y diversifique la economía del cantón.

### **10.3. Ambos**

El hecho de que las áreas de protección de ríos, nacientes y plan regulador no posean el mayor potencial de mitigación de GEI no implica que no sean de importancia para fines distintos (hídrico, ecosistémico, social, cultural, entre otros). La continuación de las actuales políticas entorno a estas áreas debe seguir; no obstante, es bueno buscar otros mecanismos para persuadir a los propietarios de tierras y cambiar el comportamiento y las percepciones que estos tienen respecto a la restauración de la cobertura forestal de estas zonas. Estos no solo se

deben basar en mecanismos de comando y control como históricamente ha sucedido, pudiéndose explorar otro tipo de mecanismos (exoneraciones del pago de impuestos del inmueble, pago por servicios ambientales, pagos tomando en cuenta el costo de oportunidad en que los propietarios incurren por no realizar sus actividades, entre otros).

Los municipios deben generar políticas de consumo sostenible de madera dentro de sus cantones, con tal de que los productores que se involucren en el cultivo de árboles puedan tener alguna retribución al largo o mediano plazo. La aplicación de las mismas puede desarrollarse en articulación con los diferentes actores sociales presentes. Esto con tal de abogar hacia el manejo sostenible de los recursos forestales y no basarse únicamente en enfoques preservacionistas.

Presentar la información resultante de este estudio al Concejo Municipal y a los actores sociales de los cantones para que las medidas con mayor potencial se logren implementar.

## **11. Literatura citada**

Alice Guier, F.E. 2012. Forest Restoration as a Win-Win Measure for Climate Change Planning at the Local Level. Dissertation M.Sc. Edinburgh, GB. The University of Edinburgh. 101 p.

Anastasiadis, S; Kerr, S; Mackay, A; Roygard, J; Shepherd, M. 2012. The Mitigation of Nutrient Loss from New Zealand Agriculture: Separating the Probable from the Possible. NZ. Motu Economic and Public Policy Research. 14 p.

Andrews, C.J. 2008. Greenhouse gas emissions along the rural-urban gradient. *Journal of Environmental Planning and Management*. 51(6): 847–870.

- Arango Gutiérrez, M; Branch Bedoya, JW; Botero Fernández, V. 2005. Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: "LANSAT-ETM+". Revista Facultad Nacional Agraria de Medillín. 58 (1): 2611-2634.
- Barrantes R, A; Ulate A, S. 2016. Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2015. San José, CR. Oficina Nacional Forestal. 44 p.
- Bolaños, R; Watson; V. 1993. Zonas de vida de Costa Rica. . S.I. esc: 1:200 000. In Atlas 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Brenes Z, H. 2005. Grecia atrae a personas que buscan seguridad y descanso. La Nación, San José, Costa Rica. oct.
- Brenes Z, H; Esquivel, J. 2005. Agricultores venden tierra para sobrevivir. La Nación, San José, Costa Rica. oct.
- Cáceres, DM; Tapella, E; Quétier, F; Díaz, S. 2015. The social value of biodiversity and ecosystem services from the perspectives. Ecology and Society. 20(1): 62.
- Calvo, MM. 2014. Inventario de gases de efecto invernadero en el sector FOLU del cantón de San Rafael de Heredia (comunicación personal). Heredia. Universidad Nacional.
- Cambronero, N. 2017. Río Cuarto, el cantón número 82, una comunidad ni de aquí ni de allá (en línea). Consultado 12 abr 2017. Disponible en [http://www.nacion.com/nacional/politica/canton-numero-comunidad-alla\\_0\\_1623437719.html](http://www.nacion.com/nacional/politica/canton-numero-comunidad-alla_0_1623437719.html)
- Castro, R. S.f. Decimo tercer informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible: Actividades productivas y legislación ambiental. San José, CR. Estado de la Nación. 22 p.

- Chacón Araya, AR; Jiménez Valverde, G; Montenegro Ballesteros, J; Sasa Marín, J; Blanco Salas, K. 2014. Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 2010. San José, CR. MINAE-IMN-GEF-PNUD. 68 p.
- Chaverri Pollini, P. 2014. Cambio climático y ordenamiento territorial en Costa Rica: de la indolencia a la transformación de la Gran Área Metropolitana (GAM). San José, CR. Friedrich Ebert Stiftung Costa Rica. 13 p.
- Cifuentes Jara, M. 2008. Aboveground Biomass and Ecosystem Carbon Pools in Tropical Secondary Forests Growing in Six Life Zones of Costa Rica. Ph. D. Tesis. Oregon, EU. Oregon State University. 195 p.
- Comisión de Cambio Climático de Grecia. 2015. Causas del cambio de usos de la tierra en el cantón de Grecia (comunicación personal). Grecia, CR. Municipalidad de Grecia.
- Contraloría General de la República (CGR). 2013. INFORME DFOE-AE-IF-01-2013: Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos. San José, CR. CGR. 74 p.
- Contraloría General de la República (CGR). 2014. INFORME DFOE-AE-IF-14-2014: Informe de auditoría de carácter especial acerca del cumplimiento de las obligaciones establecidas en la normativa para el resguardo de las áreas de protección de ríos ubicados en la Gran Área Metropolitana. San José, CR. CGR. 35 p.
- Corrales, L; Alpízar, W. 1998. Estimación de la Cantidad de Carbono Conservado y Captado (masa aérea) por los Bosques de Costa Rica. San José, CR. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 50 p.
- Coto Chinchilla, O. 2013. Evaluación de la generación de Residuos Agrícolas Orgánicos (RAO) en Costa Rica e Identificación de Sector Prioritario. San José, CR. FITTACORI. 69 p.

- Cubero Moya, JA; Rojas Piedra, SR. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojancha y Nandayure, Guanacaste, Costa Rica. Heredia, CR. Tesis Lic. Universidad Nacional de Costa Rica. 111 p.
- Cuenca Capa, PR. 2009. Evaluación de productividad en volumen y el potencial de fijación de carbono en plantaciones mixtas en la zona Caribe de Costa Rica. Turrialba, CR. Tesis M.Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 189 p.
- D'Avignon, A; Azevedo Carloni, F; Lèbre La Rovere, E; Schmidt Dubeux, CB. 2010. Emission inventory: An urban public policy instrument and benchmark. *Energy policy*. 38: 4838-4847.
- Dirección de Cambio Climático (DCC). 2013. Guía para la participación en el mercado doméstico de carbono. S.l. MINAET. 11 p.
- De Jong, BHJ. 2001. Cambio de uso del suelo y flujos de carbono en los altos de Chiapas, México. In Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, CL.
- Deug, M. 2003. Crisis del café: nuevas estrategias y oportunidades. *SI*. 71 p.
- Dorado, V; Eguino, S; Ribera, MO; Sanguenza, S. 2011. Mecanismos financieros del agua en América Latina. S.l. Fundación Avina. 154 p.
- Dossa, EL; Fernández, ECM; Reid, W; Guillaume Ezui, KS. 2007. Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. *Agroforest Syst*. 72:103–115.
- Duesberg, S; Dhubháin, ÁN; Connor, DO. 2014. Land Use Policy Assessing policy tools for encouraging farm afforestation in Ireland. *Land Use Policy*. 38: 194–203.
- Espinoza, A. 2008. Producción y demanda de madera en Costa Rica. *Ambientico*. 184: 3-4.

ESRI. 2012. Editor. Editor. New York, US.

ESRI. 2013. Intersect. (en línea). Consultado 5 may 2015. Disponible en <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//000800000000p000000>

Fagan ME; DeFries, RS; Sesnie, SE; Arroyo, JP; Walker, W; Soto, C; Chazdon, RL; Sanchun, A. Land cover dynamics following a deforestation ban in northern Costa Rica. *Environmental Research Letters*. 8.

Feliciano, D; Hunter, C; Slee, B; Smith, P. 2013. Selecting land-based mitigation practices to reduce GHG emissions from the rural land use sector: A case study of North East Scotland. *Journal of Environmental Management*. 120: 93–104.

Feliciano, D; Hunter, C; Slee, B; Smith, P. 2014. Climate change mitigation options in the rural land use sector: Stakeholders' perspectives on barriers, enablers and the role of policy in North East Scotland. *Environmental Science and Policy*. 44: 26–38.

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). 2014a. Financiamiento del programa pago por servicios ambientales. (en línea). Consultado 19 may 2015. Disponible en [www.fonafifo.go.cr/](http://www.fonafifo.go.cr/)

\_\_\_\_\_. 2014b. Estadísticas de los contratos vigentes de PSA en el cantón de Grecia. (en línea). Consultado 10 may 2015. Disponible en [http://www.fonafifo.go.cr/mapas/m\\_General\\_Canton\\_datos.php?&titulo=DIVISION%20POLITICA%20DE%20COSTA%20RICA&titulo\\_prov=PROVINCIA%20DE%20ALAJUELA&prov=02&titulo\\_cant=CANTON%20ALAJUELA/GRECIA&canton=03](http://www.fonafifo.go.cr/mapas/m_General_Canton_datos.php?&titulo=DIVISION%20POLITICA%20DE%20COSTA%20RICA&titulo_prov=PROVINCIA%20DE%20ALAJUELA&prov=02&titulo_cant=CANTON%20ALAJUELA/GRECIA&canton=03)

Fonseca, W; Rey Benayas, JM; Alice, FE. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 262 (8): 1400-1408.

- Fonseca, W; Alice Guier, F; Rojas Vargas, M; Villalobos Chacón, R; Porras Quirós, J. 2016. Construcción de ecuaciones alométricas para Costa Rica en el Contexto del Proyecto Protección Ambiental a través de la Protección de los Bosques de Centro América. Heredia, CR. Proyecto Cooperación Internacional entre la Universidad Nacional y la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ). 31 p.
- Forest Carbon Partnership Facility (FCPF). 2013. Emission Reductions Program Idea Note (ER-PIN). San José, CR. 117 P.
- Fundación Bariloche, 2005. Inventario de gases de efecto invernadero de la República Argentina, Año 200. Buenos Aires, AR. República de Argentina. 79 p.
- Garrastazú, MC; Mendonc, SD; Horokoski, TT; Cardos, DJ; Rosot, MAD, Evelyn R. Nimmo, ER; Lacerda, AEB. 2015. Carbon sequestration and riparian zones: Assessing the impacts of changing regulatory practices in Southern Brazil. Land Use Policy. 42: 329–339.
- Geotecnologías S.A. s.f. Distritos de Costa Rica. . S.I. s. esc. In Atlas 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Global Forest Coalition. 2013. Non-market-based approaches to reducing deforestation and forest degradation. S.I. Global Forest Coalition-ICCA Consortium. 18 p.
- Gobierno de España. 2012. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España años 1990-2012: Comunicación a la secretaría del convenio marco sobre cambio climático y protocolo de Kioto. ES. Gobierno de España. 890 p.
- González, M. 2016. Modelos de crecimiento del cedro en sistemas agroforestales de café en Pérez Zeledón. Heredia, CR. Sin publicar

- Hergoualc'h, K; *et al.* 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 148: 102– 110.
- Herrera, E; Herrera, ME. 2013. Comercialización del servicio de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI): generado en fincas con contrato de PSA Área del Proyecto Zona Atlántica. San José, CR. FONAFIFO-MINAET. 33p.
- Hutyra, LR; Yoon, B; Alberti, M. 2011. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle, WA region. *Global Change Biology*. 17: 783–797.
- Ibrahim, M; *et al.* 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. 45: 27-36.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). 2011. Censo 2011: Población total por zona y sexo, según provincia, cantón y distrito. (en línea). San José, CR. Consultado 28 jul 2014. Disponible en <http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006a. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. EDs. S Eggleston; L Buendía; K Miwa; T Ngara; K Tanabe. Hayama, JP. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES). Vol 4.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006b. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Orientación general y generación de informes. SI. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES). Vol 1.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Working Group III: Mitigation of Climate Change (en línea). Consultado 12 nov 2016. Disponible en [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch9s9-es.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch9s9-es.html).
- Jones, JR. 2002. Noveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Cambios en el uso de la tierra en Costa Rica: el mapeo y la deforestación. San José, CR. Programa Estado de La Nación. 17 p.
- Baladelli Ribeiro, J; Borgo, M; Maranhão, LT. 2013. Áreas protegidas de Curitiba (PR, Brasil) como sumidouros de CO<sub>2</sub>. Floresta. 43 (2): 181–190.
- Kingsford, RT. 2011. Conservation management of rivers and wetlands under climate change - a synthesis. Marine and Freshwater Research, 62: 217–222.
- Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL); Centro Científico Tropical (CCT), Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). 2002. Cambio de cobertura de la tierra ocurrido en el período 1997-2000 con imágenes Landsat TM 7. San José, CR. s. esc. In Atlas 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL); Universidad de Alberta; Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR); Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). 2006. Cobertura de la tierra ocurrido en el 2005. S.I. s. esc. In Atlas 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Lal, R; Delgado, JA; Groffman, PM; Millar, N; Dell, C; Rotz, A. 2011. Management to mitigate and adapt to climate change. Journal of Soil and Water Conservation. 66(4):276-285.
- Levin, K; Finnegan, J; Richa, D; Bhatia, P. 2014. Mitigation Goal Satndar. USA. World Resources Institute. 160 p.

- Lewis, D.J. M; Lennox, A; O'Geen, J; Creque, V; Eviner, S; Larson, J; Harper, M; Doran; Tate, K.W. 2015. Creek carbon: Mitigating greenhouse gas emissions through riparian restoration. California, US. University of California Cooperative Extension in Marin County. Novato. 28 p.
- López de Ulibarri Galparoso, I; Pita Fernández, S. 2001. Medidas de concordancia: el índice de Kappa. A Coruña, ES. Atención primaria en la red. 5 p.
- Lovera, S; Arias, M; Lahiri, S; Menne, W. 2013. Enfoques no basados en el mercado para la Reducción de la Deforestación y la Degradación de los Bosques. S.I. Coalición Mundial por los Bosques. 21 p.
- Maglianesi Sandoz, MA. 2013. Desarrollo de las piñeras en Costa Rica y sus impactos sobre ecosistemas naturales y agrouurbanos. Biocenosis. 27 (1-2).
- Maraseni, TN; Mitchell, C. 2015. An assessment of carbon sequestration potential of riparian zone of Condamine Catchment, Queensland, Australia. Land Use Policy. 54: 139–146.
- Matínez H, HA. 2014. Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono. Moravia, CR. FONAFIFO-ONF-Banco Mundial. 39 p.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). 2013. Costa Rica: índice de desarrollo social (IDS) 2013. San José, CR. MIDEPLAN. 12 p.
- Ministerio de Ambiente y Energía. 2007. Estrategia de cambio climático: Región Huetar Norte. San José, CR. MINAE. 66 p.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1992. Usos de la tierra en Costa Rica en 1992. S.I. s.esc. In Atlas 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos (MOCUPP). Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos. San José, CR. PNUD-PRIAS-CENAT-MINAE-GEF-PROGRAMA UNA REDD. 60 p.

- Mora Cordero, C; Chavarría, JB. 2008. Factores que afectan la cuenca del río La Estrella y recomendaciones para la gestión ambiental en su zona costera (Caribe de Costa Rica). *Revista de Biología Tropical*. 56:191-203.
- Municipalidad de Belén. 1996. Reglamento del plan regulador. San Antonio de Belén, Heredia. 32 p.
- Municipalidad de Grecia. 2003. Plan regulador urbano y rural del cantón de Grecia: diagnóstico biofísico. Grecia, CR. 179 p.
- Municipalidad de Grecia. 2009. Plan cantonal de desarrollo humano local de Grecia. Grecia, CR. Municipalidad de Grecia. 174 p.
- Municipalidad de Grecia. 2011. Acuerdo de creación de la comisión de cambio climático. Grecia, CR. 6 p.
- Municipalidad de Grecia. 2014. Base de datos de ríos y nacientes del cantón de Grecia. Grecia, CR.
- Municipalidad de Grecia. 2015. Permisos de construcción por distrito del cantón de Grecia. Grecia, CR. Municipalidad de Grecia.
- Murillo, O; Paniagua, W; Badilla, Y; Rojas, A; Arce, J; Corea, E. 2013. Modelo silvopastoril orientado a la reducción de la huella de carbono y al aumento de la productividad económica. Cartago, CR. Proyecto Interuniversitario CONARE.
- Navarro, G; Obando, G; Corella, O. 2008. Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2015. . In: Abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica. San José, CR. OET. 120 p.
- Neary, DG; Smethurst, PJ; Baillie, BR; Petrone, KC; Cotching, WE; Baillie, CC. 2010. Does tree harvesting in streamside management zones adversely affect stream turbidity?—preliminary observations from an Australian case study. *J Soils Sediments*. s.p.

- Neumann, PD; Krogman, NT; Krahn HJ; Thomas, BR. 2009. 'My Grandfather Would Roll Over in His Grave': Family Farming and Tree Plantations on Farmland. (en línea). *Rural Sociology*. 72(1):111 – 135. Consultado 4 set 2016. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/229934550\\_'My\\_Grandfather\\_Would\\_Roll\\_Over\\_in\\_His\\_Grave'\\_Family\\_Farming\\_and\\_Tree\\_Plantations\\_on\\_Farmland](https://www.researchgate.net/publication/229934550_'My_Grandfather_Would_Roll_Over_in_His_Grave'_Family_Farming_and_Tree_Plantations_on_Farmland)
- Nieters, A; Grabs, J; Jimenez, G; Alpizar, W. 2015. NAMA Café de Costa Rica: Una herramienta para el desarrollo bajo en emisiones. San José, CR. NAMA Facility – DCC. 6 p.
- Noponen, MRA; Hagggar, JP; Edwards-Jones, G; Healey, JR. 2013. Intensification of coffee systems can increase the effectiveness of REDD mechanisms. *Agricultural Systems*. 119 1–9.
- Nowak, JD; *et al.* 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental pollution*. 178: 229-236.
- Tubiello, FN; Salvatore, M; Córdor Golec, RD; A. Ferrara, A; Rossi, S; Biancalani, R; Federici, S; Jacobs, H; Flammini, A. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. Roma, IT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 89 p.
- Organización Mundial del Comercio (OMC). 2006. Informe sobre el comercio mundial 2006. (en línea). Consultado 19 may 2015. Disponible en [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/booksp\\_s/anrep\\_s/world\\_trade\\_report06\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/anrep_s/world_trade_report06_s.pdf)
- Oosterzee, P Van; Dale, A; Preece, ND. 2014. Integrating agriculture and climate change mitigation at landscape scale: Implications from an Australian case study. *Global Environmental Change*. 29: 306–317.

- Pagiola, S; Landell-Mills, N; Jishop, B. 2006. Los mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. (en línea). MX. In La venta de los servicios ambientales forestales: los mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. Consultado 14 abr 2015. Disponible en [https://books.google.co.cr/books?id=ocauHaUs9kMC&pg=PA29&lpg=PA29&dq=mecanismos+basado+en+enfoques+de+mercado&source=bl&ots=EQMvzSuBJ6&sig=W N5S8n2p6\\_MM8mRZMwjwjFxsH4&hl=es&sa=X&ei=EGgxVZ6BFfj7sAS0kIHgDA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=mecanismos%20basado%20en%20enfoques%20de%20mercado&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=ocauHaUs9kMC&pg=PA29&lpg=PA29&dq=mecanismos+basado+en+enfoques+de+mercado&source=bl&ots=EQMvzSuBJ6&sig=W N5S8n2p6_MM8mRZMwjwjFxsH4&hl=es&sa=X&ei=EGgxVZ6BFfj7sAS0kIHgDA&redir_esc=y#v=onepage&q=mecanismos%20basado%20en%20enfoques%20de%20mercado&f=false)
- Paiva Sobrinho, R. 2014. Cómo crear nuestro dinero y construir sostenibilidad. San José, CR. Editorial Heliconia. 34 p.
- Pérez Pelaez, M; Alvarado Salas, R. 2003. Planes reguladores en Costa Rica: cantonales y costeros. S.I. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. 18 p.
- Pedroni, L; Espejo, A; Villegas, JF. 2015. Nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF: metodología y resultados. San José, CR. 223 p.
- Pinoargote Chang, MA. 2014. Almacenamiento de carbono y beneficios familiares obtenidos de cafetales en fincas de pequeños productores de Nicaragua. Tesis M.Sc. Turrialba, CR. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 47 p.
- Powers, JS. 2004. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in northeastern Costa Rica. *Ecosystems*. 7: 134–146.
- Primo, F; Gioli, B; Toscano, P; Perrone, C. 2013. Landscape and Urban Planning Carbon dioxide balance assessment of the city of Florence (Italy), and implications for urban planning. *Landscape and Urban Planning*. 120: 138–146.

- Quazi, SA; Ticktin, T. 2016. Understanding drivers of forest diversity and structure in managed landscapes: Secondary forests, plantations, and agroforests in Bangladesh. *Forest Ecology and Management*. 366: 118–134.
- Quirós, D. 2014. Sala IV declara inconstitucional proyecto para la modificación de la Ley de Aguas. (en línea). Consultado 28 ago 2016. Disponible en [http://www.nacion.com/nacional/Ley\\_de\\_Aguas-Areas\\_Protegidas\\_0\\_1431856897.html](http://www.nacion.com/nacional/Ley_de_Aguas-Areas_Protegidas_0_1431856897.html)
- Ramírez Daza, HM. 2013. Imágenes multiespectrales de sensores remotos. Santo Domingo, RD. IGAC-UN-CATHALAC. 17 p.
- Rapaport, E; Lind, T. 2003. Steps Towards Integrating Carbon Dioxide Sources and Sinks into Local Environmental Planning. *Journal of Environmental Planning and Management*, 46(6): 803–816.
- Rich, D; Finnegan, J; Owen-jones, R; García-guerrero, A; Dickinson, J; Barth, K. . 2014. Policy and Action Standard: an accounting and reporting standard for estimating the greenhouse gases effects of policies and actions. US. World Resources Institute. 192 p.
- Richards, MB; Méndez, VE. 2014. Interactions between Carbon Sequestration and Shade Tree Diversity in a Smallholder Coffee Cooperative in El Salvador. *Conservation Biology*. (2) 489–497.
- Rodríguez, D; Valerio, V; Arguedas, S. 2013. Estrategia de cambio climático a nivel local. San Rafael de Heredia, CR. Escuela de Ciencias Ambientales-Comisión de Cambio Climático de San Rafael de Heredia. 7 p.
- Rodríguez Sánchez, R. 2014. Inventario de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en el sector forestal y uso de la tierra (FOLU) del cantón de Belén para el periodo 2006-2013. San Antonio de Belén, CR. Municipalidad de Belén. 57 p.

- Rudel, TK; Coomes, OT; Moran, E; Achard, F; Angelsen, A; Xu, J; Lambin, E. 2005. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change*. 15:23–31.
- Sandí Ch, SL. 2008. El sector conservacionista y la problemática del abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica. In: *Abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica*. San José, CR. OET. 120 p.
- Schultz, S; Dickinson, J; Schultz, S; Hammer, S; Lynch, M; Corfee-morlot, J; Wyman, O. . 2014. Protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories GPC: Draft Version 2.0. (en línea). SI. cCCR (carbon Cities Climate Registry). Consultado 26 jul 2014. Disponible en [http://iclei.org/fileadmin/user\\_upload/ICLEI\\_WS/Documents/Climate/GPC\\_Draft\\_2.0\\_for\\_public\\_comment.pdf](http://iclei.org/fileadmin/user_upload/ICLEI_WS/Documents/Climate/GPC_Draft_2.0_for_public_comment.pdf)
- Segura, R; Trincado, G. 2003. Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM. *Bosque*. 24(2):43-52.
- Shao, G; Wo, J. 2008. On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. *Landscape Ecology*. 58:505–511.
- Sippel, M. 2011. Urban GHG inventories, target setting and mitigation achievements: how German cities fail to outperform their country. *Greenhouse Gas Measurement & Management*. 1:55–63
- Skovmand Bosselmann, A. 2012. Mediating factors of land use change among coffee farmers in a biological corridor. *Ecological Economics*. 80: 79–88.
- Skutch, M; et al. 2011. Alternative models for carbon payments to communities under REDD+: A comparison using the Polis model of actor inducements. *Environmental Science & Policy*. 14:140-151.

Smethurst, P; Petrone, K; Neary, D. 2012. Understanding the effectiveness of vegetated streamside management zones for protecting water quality. *Landscape Logic: Integrating Science for Landscape Management*. 51-67.

Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsidig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Smith, P; Martino, D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Kumar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C; Scholes, B; Sirotenko, O; Howden, M; McAllister, T; Pan, G; Romanenkov, V; Schneider, U; Towprayoon, S. . 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118(1-4): 6–28.

Spracklen, DV; Righelato, R. 2016. Carbon storage and sequestration of re-growing montane forests in southern Ecuador. *Forest Ecology and Management*. 364:139–144.

Soto-Pinto, L; Jimenez-Ferrer, G; de Jong BHJ. 2010. Carbon Sequestration through Agroforestry in Indigenous Communities of Chiapas, Mexico. *Agroforest Syst.* 78: 39–51.

- Suckall, N; Tompkins, E; Stringer, L. 2014. Identifying trade-offs between adaptation, mitigation and development in community responses to climate and socio-economic stresses: Evidence from Zanzibar, Tanzania. *Applied Geography*. 46: 111–121.
- The Gold Standard. 2013. Requisitos Forestación/Reforestación (F/R) versión 0.9. S.I. Fundación Gold Standard. 48 p.
- Timilsina, N; Escobedo, FJ; Staudhammer, CL; Brandeis, T. 2014. Analyzing the causal factors of carbon stores in a subtropical urban forest. *Ecological Complexity*. 20: 23–32.
- Ulate Quesada, CA. 2011. Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. Cartago, CR. Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 61 p.
- Universidad de Jaén. 2006. Prácticas de teledetección: clasificación. (en línea). Consultado 15 mar 2015. Disponible en [http://coello.ujaen.es/asignaturas/teledeteccion/tel/archivos/Prac\\_Tel\\_2006\\_7.pdf](http://coello.ujaen.es/asignaturas/teledeteccion/tel/archivos/Prac_Tel_2006_7.pdf)
- Valdés Torres, M. 2010. Las áreas de protección del artículo 33 de la Ley Forestal: el caso de la quebrada Los Negritos en el sector de Montes de Oca. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica. 179 p.
- van Noordwijk, M; Rahayu, S; Hairiah2, K; Wulan, YC; Farida, A; Verbist, B. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Science in China*. 45: 75-86.
- Viers, JH; Rheinheimer, DE. 2011. Freshwater conservation options for a changing climate in California's Sierra Nevada. *Marine and Freshwater Research*. 62: 266–278.

- Yepes, A., Navarrete D.A., Phillips J.F., Duque, A.J., Cabrera, E., Galindo, G., Vargas, D., García, M.C y Ordoñez, M.F. 2011. Estimación de las emisiones de dióxido de carbono generadas por deforestación durante el periodo 2005-2010. Bogotá D.C., CO. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. 32 pp.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G.\*, Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- Zhao, M; Kong, ZH; Escobedo, FJ; Gao, J. 2010. Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China. *Journal of Environmental Management*. 91: 807–813.

## 12. Anexos

**Anexo 1. Supuestos establecidos para cada reservorio de carbono, y categoría, subcategoría y estrato de uso de la tierra.**

### **Biomasa aérea y subterránea (BVAS)**

#### *Cultivos anuales y pastos y charrales que permanecen como tales (CA\_CA, GG\_GG)*

El incremento en la biomasa es el mismo a la pérdida por cosecha y mortalidad en un año, considerándose el cambio en el carbono de la biomasa aérea y subterránea en equilibrio.

#### *Tierras de Asentamientos que permanecen como tales (TS\_TS)*

En la estimación de la biomasa se asume que los árboles son mayores a 20 años, y el componente herbáceo y arbustivo se considera en equilibrio por las podas y las pérdidas naturales de biomasa.

#### *Tierras forestales, cultivos perennes, y pastos y charrales arbolados que permanecen como tales (TF\_TF, GGT\_GGT, CP\_CP)*

La existencias de carbono en las biomasa viva aérea y subterránea de los usos de la tierra citados no experimentarán cambios en sus existencias, siempre que se mantengan como tales. Las pérdidas de carbono en biomasa debida a la recogida de madera para leña y cosecha no se toman en cuenta porque no se cuentan con el tiempo necesario para realizar las gestiones en los entes gubernamentales que poseen esa información, o bien por carencias en la información de podas y raleos de plantaciones forestales; por lo que se asumirán las pérdidas en 0. El componente herbáceo de los pastos y charrales arbolados que permanecen como tales (GGT\_GGT) se considera en equilibrio.

### ***Otras tierras que permanecen como tales (OT\_OT)***

Las existencias de carbono en biomasa aérea y subterránea se mantienen en equilibrio porque el componente vegetal es mínimo.

### ***Usos de la tierra a usos de la tierra (UT\_UT)***

El cambio en las existencias de biomasa (BVAS) es considerado cuando se presenten conversiones de un uso de la tierra a otro, para representar la variación de las emisiones y absorciones.

### **Materia orgánica muerta (MOM)**

Se considera que la madera muerta y la hojarasca de todos los usos de la tierra que permanecen como tales y las conversiones de un uso a otro se mantienen en equilibrio. Esto para prevenir la sobreestimación de este reservorio y el aumento de las incertidumbres.

### **Carbono del suelo (COS)**

#### ***Usos de la tierra que permanecen como tales***

Considerándose que las entradas equivalen a las salidas, se asume el cambio en las existencias del carbono del suelo en cero. Específicamente en las tierras forestales se considera que el suelo no sufre modificaciones por la gestión.

#### ***Usos de la tierra a infraestructura (UT\_SSi)***

Se considera el reservorio del carbono orgánico del suelo como ente emisor cuando ocurren cambios de usos de la tierra a zonas con infraestructura, debido a que se debe realizar la remoción de suelo cuando se va a urbanizar. Esto solo se contempló en el cantón de Grecia.

El cálculo del carbono inorgánico del suelo no es asumido ya a que el alcance del presente trabajo no lo contempla y no se poseen datos de dicha actividad. Considerándose que el cambio en las existencias de carbono en el suelo será igual al cambio del carbono de suelos minerales en las conversiones de usos de la tierra a infraestructura (UT\_SSi).

Ecuación 3. Cambio en las existencias de carbono de los suelos. Fuente: IPCC 2006a.

$$\Delta C_{suelos} = \Delta C_{minerales} - L_{orgánicos} + \Delta C_{inorgánico}$$

Donde:

$\Delta C_{suelos}$  = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos, ton C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_{minerales}$  = cambio anual en las existencias de carbono orgánico de los suelos minerales, ton C año<sup>-1</sup>.

$L_{orgánicos}$  = pérdida anual de carbono de suelos orgánicos drenados, ton C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_{inorgánicos}$  = cambio anual en las existencias de carbono inorgánico de los suelos, ton C año<sup>-1</sup>.

**Anexo 2.** Factores de emisión de la biomasa por uso de la tierra empleados para estimar las emisiones y absorciones de GEI.

UT	Biomasa				
	Valor (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Error	Fuente	Sitio	Observación
CAÑ	13,09		Coto (2013)	Costa Rica	Producción de biomasa seca por hectárea. Se le aplicó una fracción de carbono de 0,47 para pasarlo a carbono.
CAP	9,15		Coto (2013)	Costa Rica	
CAO, CAY y CPOgr	0				
CPP, CPS, y CPOrc	10	75%	IPCC (2006 <sup>a</sup> )	Tropical muy húmedo	Existencias de carbono en la biomasa después de un año en cultivos perennes del trópico muy húmedo.
CPT	32,4	0,9	Hergoualc'h et al (2012)	San Pedro de Barva	Carbono almacenado en un cafetal bajo sombra de <i>Inga densiflora</i> . Error reportado es el error estándar.
CPC	14,1	0,8	Hergoualc'h et al (2012)	San Pedro de Barva	Carbono almacenado en un cafetal sin sombra. Error reportado es el error estándar.
GG	6,2	7,8	Yepes <i>et al</i> (2010)	Colombia	Carbono almacenado en pastos. Error presentado es la desviación estandar.
GGT	31,80	10,9	Ibrahim <i>et al</i> (2006)	Esparza, Costa Rica	Carbono almacenado en pasturas degradadas. El valor se multiplicó por un coeficiente de 0,20 (IPCC 2006a) para incluir el carbono correspondiente a la raíz. Error reportado es el error estándar.
Bh-P6, Bh-P	36,14	16,8	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque húmedo premontano transición a basal de 6 años.
Bh-T12	36,14	15,1	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque tropical seco de 9 años.
Bmh-MB	46,013	NR	Ulate (2011)	Costa Rica	Carbono arriba del suelo para un bosque primario de la zona de muy húmedo montano bajo. El valor de carbono se obtuvo multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0.47 (IPCC 2006)

UT: uso de la tierra, CAÑ: cultivo de caña, CAO: otros cultivos anuales, CAP: cultivo de piña, CAY: cultivo de yuca, CPP: cultivo de pimienta, CPS: cultivo de ornamentales, CPOgr: otros cultivos perennes en el cantón de Grecia, CPOrc: otros cultivos perennes en Río Cuarto, CPT: café con sombra, CPC: café sin sombra, GG: pastos y charrales, GGT: pastos arbolados, Bh-P6: bosque húmedo premontano transición a basal, Bh-P: bosque húmedo premontano, Bh-T12: bosque húmedo tropical transición a premontano, Bmh-MB: bosque muy húmedo montano bajo.

**Anexo 2.** Factores de emisión de la biomasa por uso de la tierra empleados para estimar las emisiones y absorciones de GEI (continuación).

UT	Biomasa				
	Valor (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Error	Fuente	Sitio	Observación
<b>Bmh-P</b>	33,44	97,07	Ulate (2011)	Costa Rica	Carbono arriba del suelo para un bosque entre 5 y 20 años de la zona de muy húmedo premontano. El valor de carbono se obtuvo multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0.47 (IPCC 2006). Error reportado es el coeficiente de variación.
<b>Bp-M</b>	101,40	59,23	Ulate (2011)	Costa Rica	Carbono arriba del suelo para un bosque primario de la zona de vida pluvial montano. El valor de carbono se obtuvo multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0.47 (IPCC 2006). Error reportado es el coeficiente de variación.
<b>Bp-M6</b>	70,72	102,46	Ulate (2011)	Costa Rica	Carbono arriba del suelo para un bosque entre 5 y 20 años de la zona de vida pluvial montano bajo. El valor de carbono se obtuvo multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0.47 (IPCC 2006)
<b>Bp-MB</b>	70,72	102,46	Ulate (2011)	Costa Rica	Carbono arriba del suelo para un bosque entre 5 y 20 años de la zona de vida pluvial montano bajo. El valor de carbono se obtuvo multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0.47 (IPCC 2006). Error reportado es el coeficiente de variación.
	114,25	77,87	Ulate (2011)	Costa Rica	Carbono arriba del suelo para un bosque primario de la zona de vida pluvial montano bajo. El valor de carbono se obtuvo multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0.47 (IPCC 2006). Utilizado en el distrito de Río Cuarto. Error reportado es el coeficiente de variación.

UT: uso de la tierra, Bmh-P: bosque muy húmedo premontano, Bp-M: Bosque pluvial montano, Bp-M6: bosque pluvial montano transición a montano bajo, Bp-MB: bosque pluvial montano bajo.

**Anexo 2.** Factores de emisión de la biomasa por uso de la tierra empleados para estimar las emisiones y absorciones de GEI (continuación).

UT	Biomasa				
	Valor (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Error	Fuente	Sitio	Observación
Bp-P	37,01	16,56	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque pluvial premontano de 10 años, Este valor se empleó en la estimación de absorciones por cambios de uso de la tierra a bosques, Error reportado es el error estándar,
	88,61	21,04	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque pluvial premontano de 50 años, Este valor se empleó en la estimación de emsiones por cambios de bosques a otros usos de la tierra, Error reportado es el error estándar,
Bmh-P6	42,74	8,08	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque muy húmedo premontano transición a basal de 6 años, Este valor se empleó en la estimación de absorciones por cambios de uso de la tierra a bosques, Error reportado es el error estándar,
	46,4	13,64	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque muy húmedo premontano transición a basal de 32 años, Este valor se empleó en la estimación de emsiones por cambios de bosques a otros usos de la tierra, Error reportado es el error estándar,

UT: uso de la tierra, Bp-P: bosque pluvial premontano, bosque muy húmedo premontano transición a basal.

**Anexo 2.** Factores de emisión por uso de la tierra empleados para estimar las emisiones y absorciones de GEI (continuación).

UT	Biomasa				
	Valor (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Error	Fuente	Sitio	Observación
<b>Bmh-T - Bmh-T12</b>	40,21	11,81	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque muy húmedo tropical de 9 años, Este valor se empleó en la estimación de absorciones por cambios de uso de la tierra a bosques, Error reportado es el error estándar,
	82,37	25,07	Cifuentes (2008)	Costa Rica	Carbono ecosistémico de un bosque muy húmedo tropical de 60 años, Este valor se empleó en la estimación de emsiones por cambios de bosques a otros usos de la tierra, Error reportado es el error estándar,
<b>FPM</b>	37,92	NR	Cubero y Rojas (1999)	Hojancha y Nicoya, Costa Rica	Carbono arriba del suelo de plantaciones de teca de 12 años de edad desarrollada en una calidad de sitio media,
<b>FPV-FP</b>	37,1	NR	Cuenca (2009)	Las Mercedes, Guácimo	Carbono almacenado en plantaciones mixtas V, guatemalensis, E, deglupta, A, hunsteini y S, macrophylla de 6,6 años, Dato empleado cuando se presentaron conversiones de usos de la tierra a plantaciones forestales o plantaciones forestales de chanco,
<b>FPC</b>	57	NR	Corrales y Alpízar 1998		Carbono almacenado en plantaciones de ciprés de 20 años,
<b>SSI y SSL</b>	0				
<b>OA, OD, OI, ON, OS</b>	0				

UT: uso de la tierra, Bmh-T: bosque muy húmedo tropical, Bmh-T12: bosque muy húmedo tropical transición a premontano, FPM: plantación forestal de melina, FPV: plantación forestal de chanco, FP: otras plantaciones forestales, FPC: plantación forestal de conífera, SSI: infraestructura, SSL: lotes, OA: cuerpos de agua, OD: tierras desnudas, OI: áreas sin información ON: nubes, OS: sombras,

**Anexo 2.** Factores de emisión del carbono orgánico del suelo por uso de la tierra empleados para estimar las emisiones y absorciones de GEI (continuación).

<b>UT</b>	<b>COS<sub>REF</sub> (Mg CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>F<sub>LU</sub></b>	<b>F<sub>MG</sub></b>	<b>F<sub>I</sub></b>
CAÑ	65	0,48	1	0,92
CAO	65	0,48	1,22	1
SS	65	0,8	0,8	0,8
CPT-CPC	65	1	1,22	1
GG-GGT	65	1	0,97	1

UT (Uso del suelo), COS<sub>REF</sub> (Carbono orgánico del suelo de referencia), F<sub>LU</sub> (Factor de cambio asociado al uso de la tierra), F<sub>MG</sub> (Factor de cambio asociado al manejo), F<sub>I</sub> (Factor de cambio asociado al aporte de materia orgánica), SS (infraestructura), CAO (Otros cultivos anuales), CPT (café con sombra), CP (café sin sombra), GG (pastos), GGT (pastos arbolados).

**Anexo 3.** Datos empleados para estimar el potencial de mitigación de las áreas de protección de ríos, nacientes y aquellas definidas por el plan regulador del cantón de Grecia.

<b>Tipo de Bosque</b>	<b>Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup></b>	<b>Fuente</b>	<b>Tipo de Bosque</b>	<b>Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup></b>	<b>Fuente</b>
Bh-P6, Bh-P	11,5	Cifuentes (2008)	Bp-M6	1,88	Spracklen y Righelato (2016)
Bh-T12	5,8	Cifuentes (2008)	Bp-MB	1,88	Spracklen y Righelato (2016)
Bmh-MB	1,88	Spracklen y Righelato (2016)	Bp-P	10,1	Cifuentes (2008)
Bmh-P	11,5	Cifuentes (2008)	Bmh-P6	12,5	Cifuentes (2008)
Bp-M	1,88	Spracklen y Righelato (2016)	Bmh-T - Bmh-T12	11,4	Cifuentes (2008)

Bh-P6: bosque húmedo premontano transición a basal, Bh-P: bosque húmedo premontano, Bh-T12: bosque húmedo tropical transición a premontano, Bmh-MB: bosque muy húmedo montano bajo, Bp-P: bosque pluvial premontano, Bp-M: bosque muy húmedo premontano transición a basal, Bmh-T: bosque muy húmedo tropical, Bmh-T12: bosque muy húmedo tropical transición a premontano

**Anexo 4.** Cuestionario empleado en las entrevistas semiestructuras.

Buenos días/tardes me llamo Roberto Rodríguez Sánchez, soy estudiante de Ingeniería Forestal y estoy realizando un estudio sobre los cambios de uso de la tierra que se dieron durante el período 2005-2012 en el cantón de Grecia. Esto para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por esos cambios y el almacenaje de carbono dentro de cada uso de la tierra. Además se evalúan las posibilidades que existen en el cantón para aumentar la cobertura arbórea o bien evitar los cambios de uso de la tierra.

Dicho trabajo se hace en conjunto con la Municipalidad de Grecia, esto porque la misma está interesada en realizar una estrategia cantonal para alcanzar la C-neutralidad mediante la consulta a diversos actores de la comunidad. Es por ello que me gustaría solicitarle aproximadamente media hora para entrevistarle y a la vez le aclaro lo siguiente:

Su participación en esta entrevista es totalmente voluntaria y sus respuestas son totalmente anónima. Es decir, todas las respuestas, tanto tuyas como la de los demás entrevistados, serán estudiadas en conjunto y, por eso, no se sabrá cuáles son las respuestas de una determinada persona. Si en algún momento no quisiera continuar, por favor indicármelo o si las preguntas no le parecen claras no dude en preguntarme. Durante la entrevista estaré tomando nota. Espero que eso no le incomode y si hay algo que no quisiera que quedara escrito, por favor de indicármelo.

Consentimiento

informado

Me gustaría confirmar que está claro que su participación es voluntaria y que podemos terminar la entrevista en el momento que usted lo decida.

1. Sector que representa \_\_\_\_\_
2. Según su conocimiento, ¿suceden cambios de uso de la tierra de su sector hacia otros o viceversa? (si contesta que no ir a pregunta 6)
3. De existir, ¿qué alternativas pueden desarrollarse para evitar esos cambios de uso de la tierra?
4. ¿Cuál sería el alcance de la implementación de dichas alternativas en un período de 20 años?
  - a. En el 100% del área del sector representado ( )
  - b. Entre el 75 y 99% del área. ( )
  - c. Entre el 50% y 75% del área. ( )
  - d. Entre el 25% y 50% del área. ( )
  - e. Menos del 25% del área. ( )
  - f. En ninguna área del sector representado. ( )
5. De las opciones presentadas a continuación, ¿cuál o cuáles podrían ser barreras que impidan realmente hacer efectivas las alternativas mencionadas?
  - a. Barreras económicas ( )
  - b. Barreras sociales ( )
  - c. Barreras educativas ( )
  - d. Barreras tecnológicas ( )
  - e. Barreras institucionales ( )
  - f. Barreras políticas ( )
  - g. Otras \_\_\_\_\_
6. ¿Cuáles son las posibilidades de aumentar la cobertura arbórea dentro de su sector?
7. En 20 años, el aumento de cobertura arbórea podría lograrse en:

- a. El 100% del área del sector representado.      ( )
  - b. Entre el 75 y 99% del área.      ( )
  - c. Entre el 50% y 75% del área.      ( )
  - d. Entre el 25% y 50% del área.      ( )
  - e. Menos del 25% del área.      ( )
  - f. Ninguna área del sector representado.      ( )
8. De las opciones presentadas a continuación, ¿cuál o cuáles podrían ser barreras que impidan aumentar la cobertura arbórea?
- h. Barreras económicas      ( )
  - i. Barreras sociales      ( )
  - j. Barreras educativas      ( )
  - k. Barreras tecnológicas      ( )
  - l. Barreras institucionales      ( )
  - m. Barreras políticas      ( )
  - n. Otras \_\_\_\_\_
9. ¿Cuánto terreno podría ceder su sector representado para cumplir con las áreas de protección de ríos y nacientes?
10. ¿Cuál o cuáles factores inciden para que el sector no ceda toda el área establecida como áreas de protección?
11. A su criterio, cuál de las barreras seleccionadas posee mayor importancia en que las distintas alternativas no se logren llegar a ejecutar.

Evitar cambio de uso de la tierra: \_\_\_\_\_

Aumento de cobertura arbórea: \_\_\_\_\_

Áreas de protección de ríos y nacientes: \_\_\_\_\_

12. ¿Cómo podrían superarse las barreras que poseen mayor importancia?

Evitar cambio de uso de la tierra: \_\_\_\_\_

Aumento de cobertura arbórea: \_\_\_\_\_

Áreas de protección de ríos y nacientes: \_\_\_\_\_

13. Si existe supuesto 3, ¿Cómo se plantea implementar el NAMA en el área de Grecia?

14. ¿Hay avances al respecto? ¿Cuántos productores han incursionado en el programa?

15. ¿Cómo se ha logrado la incursión de los productores?

16. ¿Cuántas hectáreas se han visto beneficiadas?

17. ¿Cuántos productores al año estiman que incursionen en el programa?

18. ¿En hectáreas cuánto podría significar?

19. En 20 años se podrán abarcar todas las áreas destinadas a dicha producción (café-ganadería).

20. De no alcanzar a todos, cuánta área podría alcanzarse.

21. Si existe supuesto 2. ¿Cómo podría articularse un mercado de carbono a nivel local?

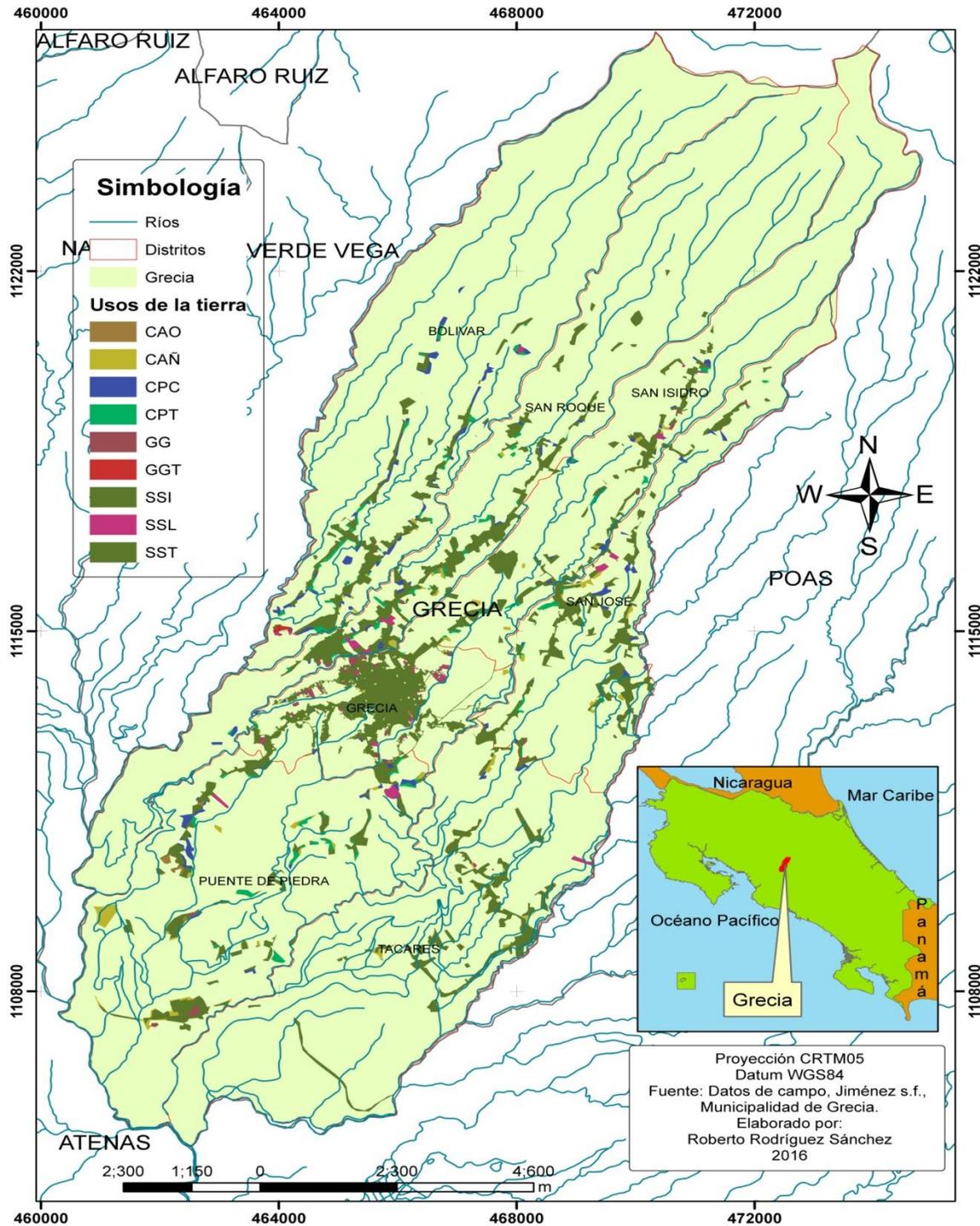
22. ¿En los primeros años, cuántas personas podrían beneficiarse?

23. ¿La demanda por créditos de carbono podría acaparar el costo de producir dicho crédito?

24. Además de su sector, cree que otros sectores podrían vincularse a dicho mercado.

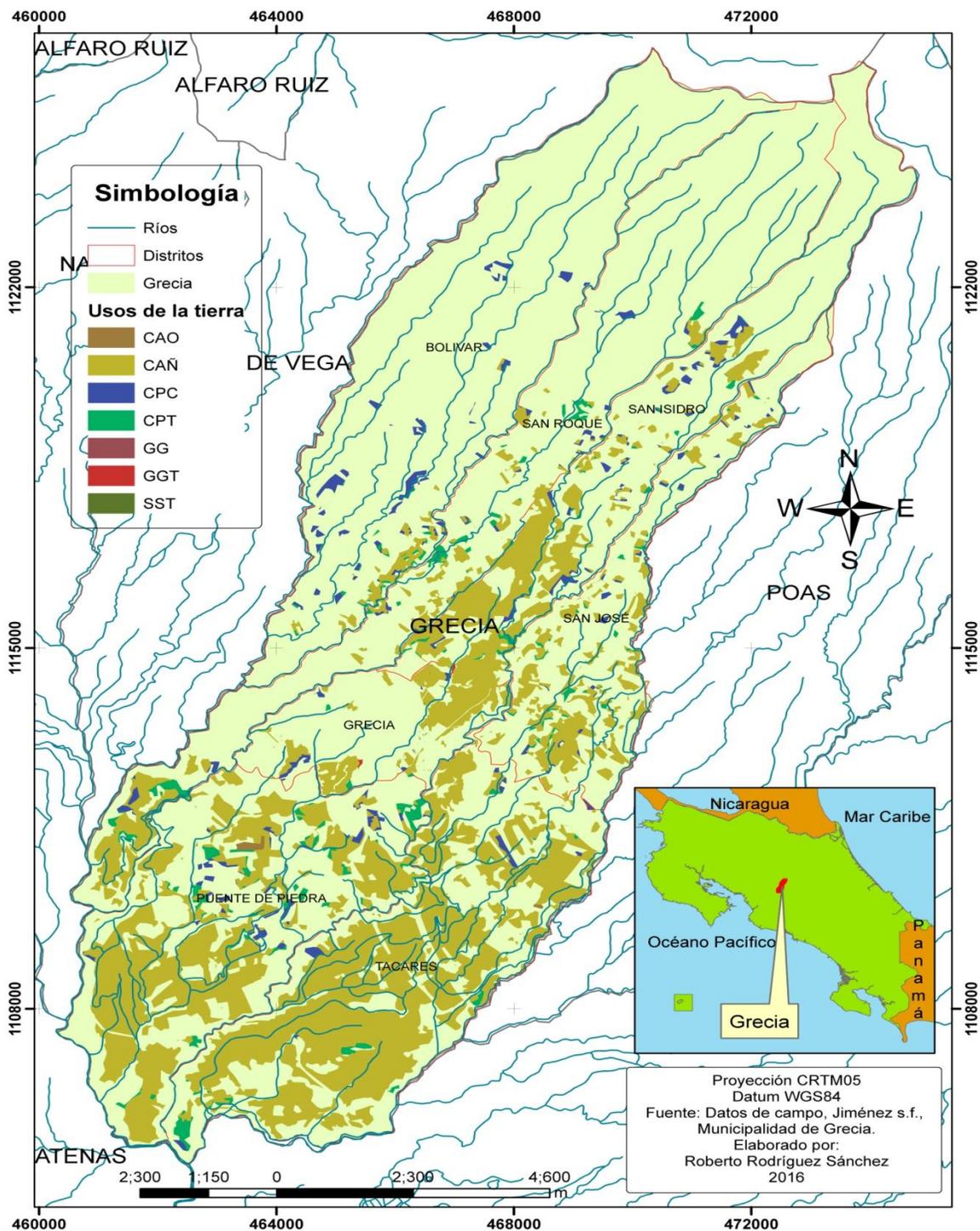
Agradezco el tiempo su colaboración en la elaboración de este cuestionario, desea agregar algo más.

**Anexo 5.** Distribución de la conversión de usos de la tierra a asentamiento y asentamientos que permanecieron como tales en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.



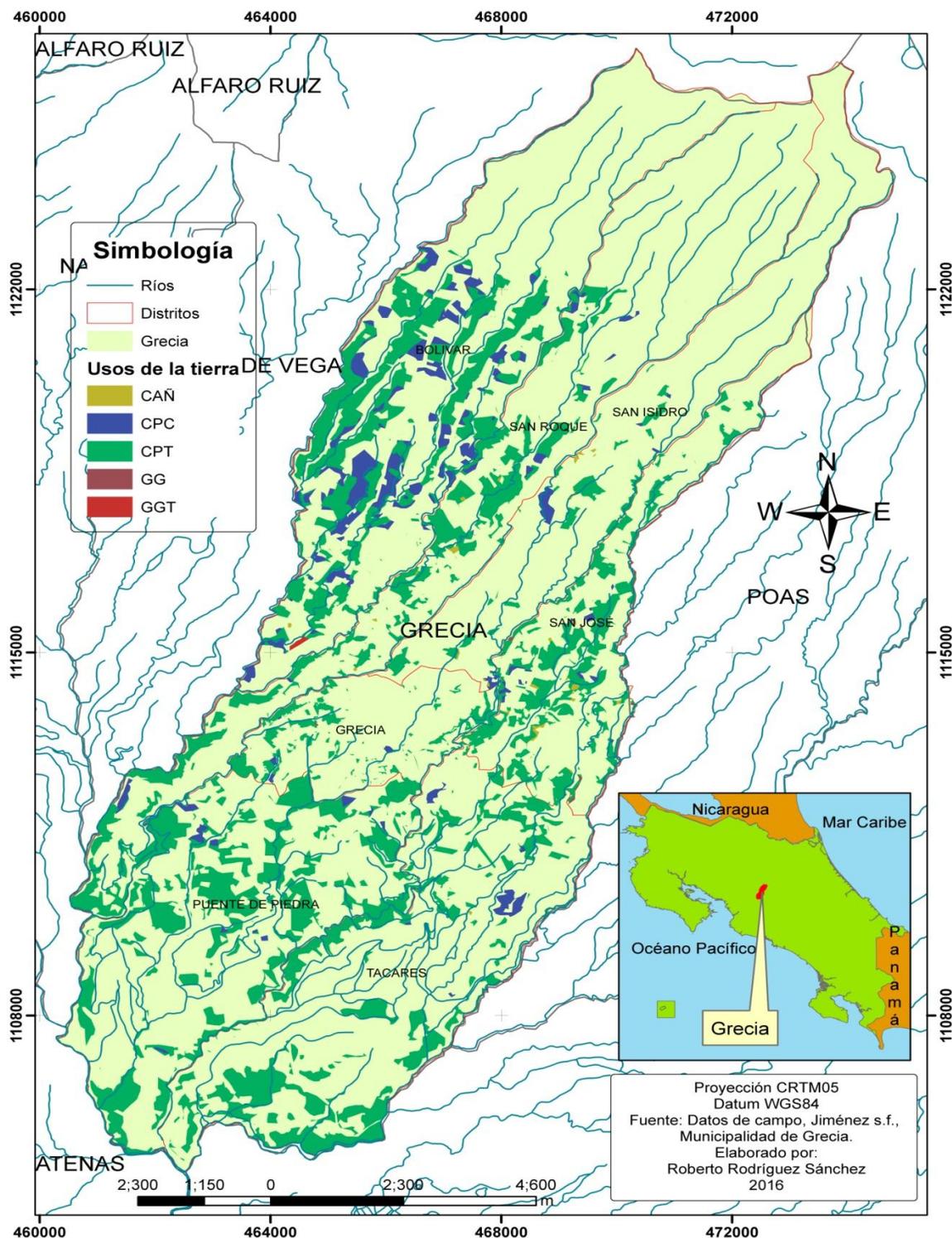
CAO: otros cultivos anuales, CAÑ: caña, CPC: café sin sombra, CPT: café con sombra, GG: pastos, GGT: pastos arbolados, SSI: infraestructura, SSL: lotes.

**Anexo 6.** Distribución de la conversión de usos de la tierra a cañales y cañales que permanecieron como tales en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.



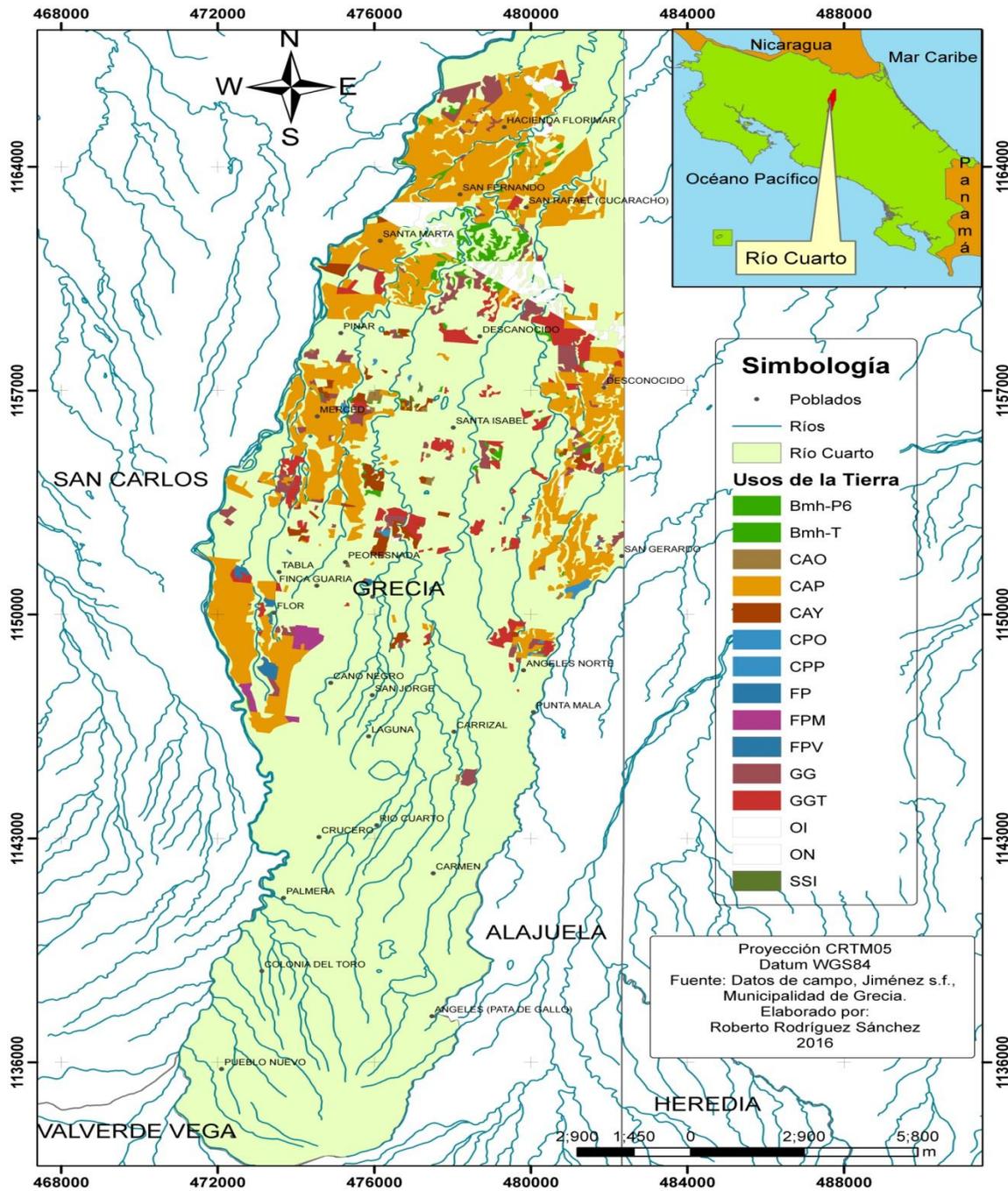
CAO: otros cultivos anuales, CAÑ: caña, CPC: café sin sombra, CPT: café con sombra, GG: pastos, GGT: pastos arbolados, SSI: infraestructura.

**Anexo 7.** Distribución de la conversión de usos de la tierra a café con sombra y cultivos de café con sombra que permanecieron como tales en el cantón de Grecia durante el período 2005-2012.



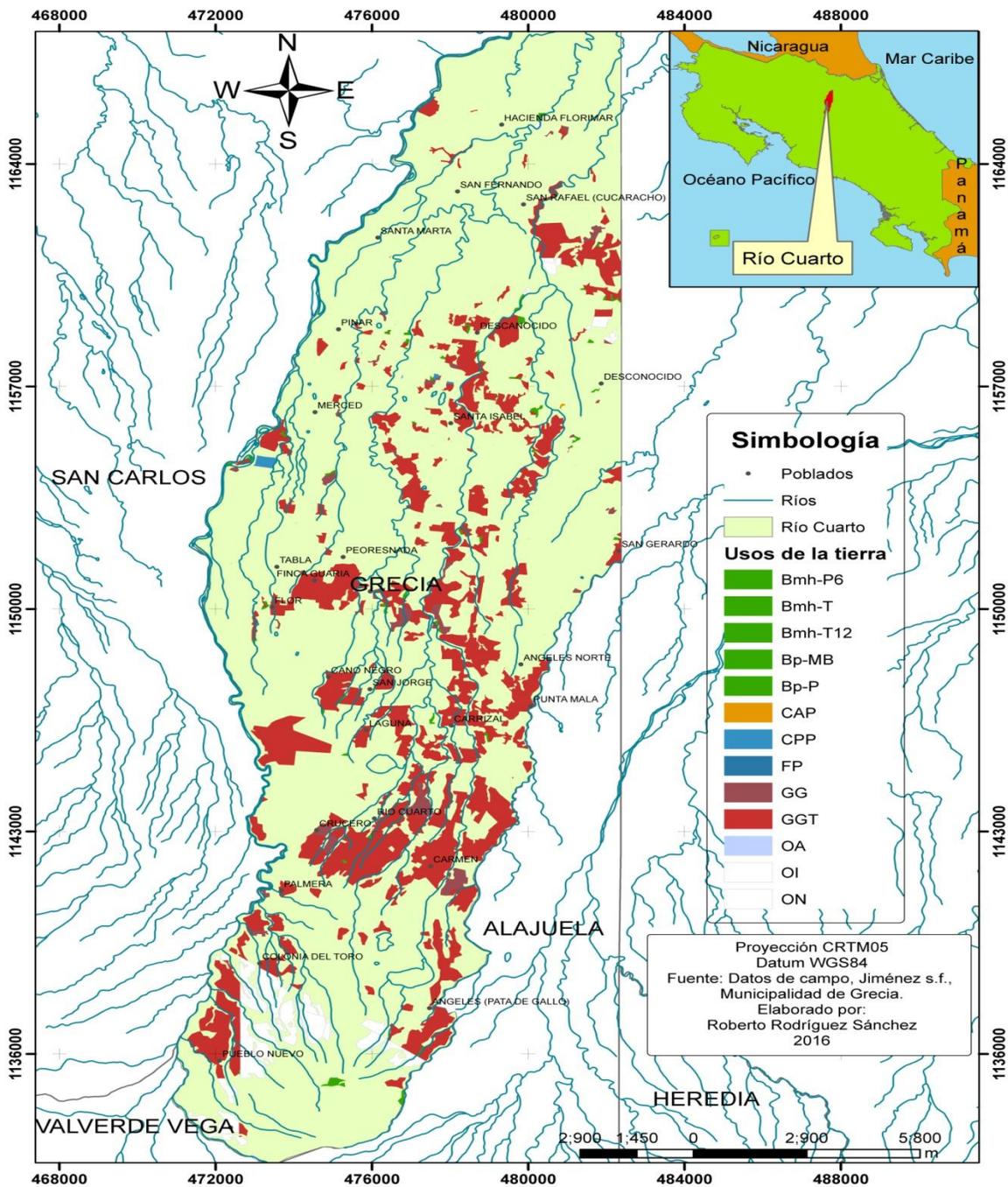
CAÑ: caña, CPC: café sin sombra, CPT: café con sombra, GG: pastos, GGT: pastos arbolados.

**Anexo 8.** Distribución de las conversiones de usos de la tierra a piña y cultivos de piña que permanecieron como tales en el cantón de Río Cuarto durante el período 2005-2012.



Bmh-P6: bosque muy húmedo premontano transición a basal, Bmh-T: Bosque muy húmedo tropical, CAO: otros cultivos anuales, CAP: cultivo de piña, CAY: cultivo de yuca, CPO: otros cultivos perennes, CPP: cultivo de pimienta, FP: otras plantaciones forestales, FPM: plantaciones forestal de teca, FPV: plantaciones forestales de melina, GG: pastos, GGT: pastos arbolados, OI: áreas sin información, ON: nubes, SSI: infraestructura.

**Anexo 9.** Distribución de las conversiones de usos de la tierra a pastos arbolados y pastos arbolados que permanecieron como tales en el cantón de Río Cuarto durante el período 2005-2012.



Bmh-P6: bosque muy húmedo premontano transición a basal, Bmh-T: bosque muy húmedo tropical, Bmh-T12: bosque muy húmedo tropical transición a premontano, Bp-MB: bosque pluvial montano bajo, Bp-P: bosque pluvial premontano, CAP: cultivo de piña, CPP: cultivo de pimienta, FP: otras plantaciones forestales, GG: pastos, GGT: pastos arbolados, OA: cuerpos de agua, OI: áreas sin información, ON: nubes.

**Anexo 10.** Incertidumbre total para el inventario del cantón de Grecia y contribución a la varianza por uso de la tierra.

Uso de la tierra (A)	Gas (B)	Emsiones del 2013 (D)	Incertidumbre de los datos de la actividad (E)	Incertidumbre del factor de emisión de estimación (F)	Incertidumbre combinada (G)	Contribución a la varianza por la categoría en el año 2013 (H)
		Equivalente de Mg de CO <sub>2</sub>	%	%	$\sqrt{E^2+F^2}$	$(G*D)^2*(\sum D)^{-2}$
Bh-P	CO <sub>2</sub>	-379,05	41,46	5,64	41,84	0,07
Bh-P6	CO <sub>2</sub>	0,00	41,46	5,64	41,84	0,00
Bh-T12	CO <sub>2</sub>	-909,92	41,46	5,64	41,84	0,39
Bmh-MB	CO <sub>2</sub>	-2 275,54	41,46	0	41,46	2,41
Bmh-P	CO <sub>2</sub>	-527,14	41,46	97,07	105,55	0,84
Bp-M	CO <sub>2</sub>	-95,40	41,46	59,23	72,30	0,01
Bp-M6	CO <sub>2</sub>	-2 212,87	41,46	102,46	110,53	16,22
Bp-MB	CO <sub>2</sub>	-2 642,37	41,46	102,46	110,53	23,12
CAÑ	CO <sub>2</sub>	12 842,91	41,46	0,00	41,46	76,84
CAO	CO <sub>2</sub>	1 559,17	41,46	0,00	41,46	1,13
CPC	CO <sub>2</sub>	17 360,18	41,46	5,67	41,84	143,04
CPO	CO <sub>2</sub>	387,48	41,46	0,00	41,46	0,07
CPT	CO <sub>2</sub>	-23 183,43	41,46	2,78	41,55	251,53
FPC	CO <sub>2</sub>	-1,01	41,46	0,00	41,46	0,00
GG	CO <sub>2</sub>	8 494,89	41,46	75,00	85,70	143,65
GGT	CO <sub>2</sub>	-7 108,24	41,46	34,28	53,79	39,63
OD	CO <sub>2</sub>	1 276,72	41,46	0,00	41,46	0,76
SSI	CO <sub>2</sub>	51 730,13	41,46	181	185,69	25 011,57
SSL	CO <sub>2</sub>	6 420,68	10,00	0,00	10,00	1,12
	$\sum D$	60737,17			$\sum H$	25 712,41
					Incertidumbre total	<b>160,35</b>

**Anexo 11.** Incertidumbre total para el inventario del cantón de Río Cuarto y contribución a la varianza por uso de la tierra.

Uso de la tierra (A)	Gas (B)	Emsiones del 2013 (D)	Incertidumbre de los datos de la actividad (E)	Incertidumbre del factor de emisión de estimación (F)	Incertidumbre combinada (G)	Contribución a la varianza por la categoría en el año 2013 (H)
		Equivalente de Mg de CO <sub>2</sub>	%	%	$\sqrt{E^2+F^2}$	$(G*D)^2*(\sum D)^{-2}$
Bmh-P6	CO <sub>2</sub>	-2962,96	46,37	27,87	54,10	1,94
Bmh-T	CO <sub>2</sub>	-2077,37	46,37	11,91	47,88	0,75
Bmh-T12	CO <sub>2</sub>	-114,83	46,37	11,91	47,88	0,00
Bp-MB	CO <sub>2</sub>	0,00	46,37	0,00	46,37	0,00
Bp-P	CO <sub>2</sub>	-61,71	46,37	16,15	49,10	0,00
CAÑ	CO <sub>2</sub>	0,00	46,37	0,00	46,37	0,00
CAO	CO <sub>2</sub>	5333,16	46,37	0,00	46,37	4,61
CAP	CO <sub>2</sub>	78192,87	46,37	0,00	46,37	990,18
CAY	CO <sub>2</sub>	15431,60	46,37	0,00	46,37	38,57
CPO	CO <sub>2</sub>	-1,90	46,37	75,00	88,18	0,00
CPP	CO <sub>2</sub>	951,57	46,37	75,00	88,18	0,53
CPS	CO <sub>2</sub>	-311,88	46,37	75,00	88,18	0,06
FP	CO <sub>2</sub>	-1216,85	46,37	0,00	46,37	0,24
FPM	CO <sub>2</sub>	-55,97	46,37	0,00	46,37	0,00
FPV	CO <sub>2</sub>	-310,99	46,37	0,00	46,37	0,02
GG	CO <sub>2</sub>	39994,14	46,37	75,00	88,18	936,63
GGT	CO <sub>2</sub>	-17964,93	46,37	34,28	57,67	80,82
SSI	CO <sub>2</sub>	408,73	46,37	0,00	46,37	0,03
	$\sum D$	115232,69			$\sum H$	2054,36
					Incertidumbre total	<b>45,33</b>

**Anexo 12.** Medidas de mitigación para reducir las emisiones de GEI por cambio de uso de la tierra mencionadas por los actores clave consultados del cantón de Grecia.

<b>Sector</b>	<b>Alternativas</b>	<b>Barreras</b>	<b>Superación de barreras</b>
<b>Caña</b>	Mejores precios que sostengan la actividad.	N/A	N/A
<b>Café</b>	Mejores precios que sostengan la actividad.	N/A	N/A
<b>Piña</b>	Mayor control del MINAE para evitar la deforestación. Desarrollo responsable de la producción de piña.	Disminuye producción de los sistemas productivo.	N/A
<b>Inmobiliario</b>	Planes de sostenibilidad ambiental. Realizar movimientos de tierra ajustados a la topografía del sitio. Eliminar la menor cantidad de árboles posibles.	En época seca no es conveniente realizar movimiento de tierra. Compromisos con los clientes para realizarlas. Aceptación por parte de los clientes.	Esperar que llueva para realizar las labores. Educación a clientes.
<b>Ganadería</b>	Bosque bajo manejo forestal. No existe alternativa para evitar las emisiones por cambios de pasto a piña.	Aprovechar madera es muy caro. Impuestos altos.	N/A
		La ganadería posee menor tecnologías comparada con otras actividades como la piña, lo cual le resta rentabilidad.	N/A
<b>Institucional</b>	No existe alternativa para evitar las emisiones por cambios de uso de la tierra.	N/A	N/A

**Anexo 13.** Medidas de mitigación para aumentar la cobertura arbórea mencionadas por los actores clave consultados del cantón de Grecia.

<b>Sector</b>	<b>Alternativas</b>	<b>Barreras</b>	<b>Superación de barreras</b>
<b>Caña</b>	Plantación de árboles en linderos.	Disposición de las personas a hacerlo.	Plantación de especies maderables con mercado. Productor reciba mejores precios.
<b>Café</b>	Cultivo de árboles en cafetales.	Tradicionalismos y disposición del productor. Las nuevas generaciones no quieren seguir con el cultivo del café. Costos por mantenimiento.	Capacitación. Plantación de especies maderables con mercado. Productor reciba mejores precios. PSA a través del NAMA café.
<b>Piña</b>	Reforestación de áreas improductivas Aumento de cobertura en accesos que antes no tenían.	Costos elevados de actividades importantes.	Donación de árboles por parte del ICE. Manejo de los propios viveros partiendo de los árboles existentes. Ofrecimientos que no involucren costos a los productores.
<b>Inmobiliario</b>	Reposición de vegetación.	Compromiso con los clientes. Climática.	Realizar consultas a clientes. Riego en horas de la tarde.
<b>Ganadería</b>	Proyectos silvopastoriles (bancos forrajeros, cercas vivas). Pastoreo rotacional intensivo con nuevas variedades de pastos. Siembra de árboles frutales (castaña, fruta de pan, nance, pejibayes, guaba).	Tradicionalismo. Uso de la madera es caro. Disposición de las personas a hacerlo.	Capacitación. Asesoría. Existencia de viveros con especies disponibles.
<b>Institucional</b>	Arborización urbana.	Política. Respeto a la normativa (Código Municipal, Ley 7600).	Aumento en la cobertura arbórea urbana en función de las normas establecidas.

**Anexo 14.** Barreras existentes para proteger las áreas de protección de ríos, nacientes, y plan regulador, y alternativas para superarlas según los actores clave consultados del cantón de Grecia.

Área	Sector	Barreras	Superación de barreras
<b>Zonas de protección de ríos y nacientes</b>	Institucional	<p>Pérdida de terreno.                      Disminuye producción.                      No hay capacidad operativa para supervisar obras constructivas.                      Supervisión de los entes encargados no es estricta.                      Proceso jurídico engorroso y lento para realizar las expropiaciones.                      Estudios hidrogeológicos que demuestran que no hay afectaciones a nacientes                      Criterios técnicos de las instituciones encargadas ambiguos para definir qué es o no naciente.</p>	<p>Concientización a los que limitan con las cuencas, por lo menos que dejen 5 m.</p>
	Agua	<p>Tarifas no permiten adquisición de terrenos.                      No hay capital económico.                      Altos precios de la tierra.                      Terrenos son privados.                      No hay interés de los diferentes actores sociales.</p>	<p>Ajuste del modelo tarifario.                      Realización de asamblea con los abonados para tomar la decisión de incluir el rubro de adquisición de terrenos.                      Negociación con propietarios                      Reubicaciones y expropiaciones.                      Compra de terrenos.                      Concientización, y educación ambiental.                      Apoyo entre acueductos.</p>
	Piña	<p>Falta de supervisión de las áreas de protección.                      Disminuye el terreno disponible para la producción (pequeños y medianos productores).</p>	<p>Auditorías socioambientales de la CANAPEP                      Aplicación del manual de buenas prácticas en el cultivo de piña.</p>
	Ganadero	<p>Falta de iniciativa de los productores.</p>	<p>Vivero cercano con árboles nativos.                      Pago al productor por hacerlo.</p>

Continuación Anexo 14. Barreras existentes para proteger las áreas de protección de ríos, nacientes, y plan regulador, y alternativas para superarlas según los actores clave consultados del cantón de Grecia.

Área	Sector	Barreras	Superación de barreras
<b>Plan Regulador</b>	Institucional	Reservas de propiedad privada Pérdida de valor de la propiedad	Compra de tierras por parte del Estado (IDA, Municipalidad, MINAE)

**Anexo 15.** Medidas de mitigación priorizadas por productores cafetaleros en el taller realizado.

Medida de mitigación	Beneficio que obtendría	¿Cómo puede ser implementada?	¿Qué limitaciones posee para implementarla?	¿Cómo se puede superar cada una de las limitaciones descritas?	¿Con quién se podrían crear alianzas para llevar a cabo los mecanismos?
Reducción y uso más eficiente de fertilizantes nitrogenados.	Diminución de gases. Reducción de los costos.	Cobertura del suelo y árboles fijadores de nitrógeno.	Medir necesidades de la planta. Falta de conocimiento. Implica un costo.	Análisis foliares y de suelo. Compra de árboles.	COOPEVICTORIA, ICE, ICAFE, MINAE.
Plantación de árboles de sombra para captura y retención de carbono y reducir los requerimientos de fertilizantes sintéticos.	Aumento de materia orgánica. Menos evaporación. Mejora en la flora y fauna del suelo. Venta de subproductos.	Sembrando los árboles entre calle y calle. Cada 4 matas que no quede muy pegada.	Tiempo de trabajo. Implica más costos.	Mejora del precio del café. Negocio con empresa directa.	FONAFIFO, COOPEVICTORIA.

Continuación Anexo 15. Medidas de mitigación priorizadas por productores cafetaleros en el taller realizado.

Medida de mitigación	Beneficio que obtendría	¿Cómo puede ser implementada?	¿Qué limitaciones posee para implementarla?	¿Cómo se puede superar cada una de las limitaciones descritas?	¿Con quién se podrían crear alianzas para llevar a cabo los mecanismos?
Variedades resistentes al ataque de plagas y enfermedades	Reducción de los costos. Aumento de precios. Mejora de la calidad.	Renovando cafetales, siembre que hay disponibilidad.	Los productores no las producen. Incertidumbre porque los ingenieros a veces venden solo por vender y no dan calidad. Costo de la planta mejorada.	Comprarle a gente certificada. Mejorar los precios del café. Producir café de calidad.	ICAFE, Viveros certificados.
Uso de fertilizantes orgánicos.	Mejora del suelo. Protección del ambiente. Plantas lo aprovechan un período más largo.	Siembra de árboles. Producción dentro de la finca. Recoger el que da la Cooperativa.	Lleva mucho tiempo producirlos. Biofer no es muy bueno para el café.	Mejorar los precios del café para tener recursos disponibles e invertir.	COOPEVICTORIA
Aumentar la cobertura del suelo para evitar una evaporación directa del agua durante la época seca.	Protección de plantas. Evita erosión. Mejora el suelo y la humedad.	Árboles y cobertura entre calles.	Recursos, tiempo y dinero.	Producir café de calidad. Mejorar los precios.	COOPEVICTORIA