

## Determinación de la huella de carbono en el cultivo del arroz *Oryza sativa* en el distrito de riego el Juncal, Huila, Colombia

### Determination of carbon footprint of rice *Oryza sativa* on the irrigation district Juncal, Huila, Colombia

Hanny Vanessa González Meneses<sup>1</sup>, Victoria Eugenia Méndez Velásquez<sup>2</sup>,  
Jaime Izquierdo Bautista<sup>3</sup>

---

#### Resumen

La huella de carbono mide las emisiones de los gases del efecto invernadero (GEI) expresadas en kilogramo de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq) producidas por muchas actividades humanas entre ellas las del sector agrícola por medio de la producción, uso de maquinaria, prácticas de riego y protección de cultivos a través de químicos como herbicidas, insecticidas, plaguicidas y fertilizantes.

Este estudio consistió en realizar la evaluación de la huella de carbono en el cultivo del arroz en 10 predios del distrito de riego El Juncal incluyendo la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, considerando solo las emisiones producidas hasta la cosecha, con los objetivos de analizar las prácticas agrícolas que se utilizan en cada predio para la producción de 1 ha de arroz, determinar las emisiones de carbono, y proponer un programa que permita la reducción de la huella de carbono en la producción de arroz.

El proceso se llevó a cabo teniendo en cuenta los factores de conversión del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) y aspectos del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute); La etapa inicial consistió en la recopilación de datos de las actividades emisoras de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por medio de encuestas efectuadas a agricultores voluntarios e identificación de alcances, que se clasificaron según las fuentes de emisión en alcance 1 y 2; posteriormente, se realizó el cálculo de la Huella de Carbono obteniendo 1.091,57 kg CO<sub>2</sub> eq/ha para actividades con consumo de combustible, 55,109 kg CO<sub>2</sub> eq/ha para aplicación de pesticidas, 3.244,78kg CO<sub>2</sub> eq/ha por aplicación de fertilizantes y 599,66kg CO<sub>2</sub> eq/ha en uso eléctrico; siendo el alcance 1 el mayor emisor con el 87,99% de las emisiones totales.

**Palabras Claves:** Arroz; Factores de Emisión; Gases de Efecto Invernadero; emisiones de carbono.

#### Abstract

The carbon footprint measures the emission of greenhouse gases (GHG) expressed in kilograms of carbon dioxide equivalent (kg CO<sub>2</sub> eq) produced by many human activities including the agri-

---

1 Ingeniera Agrícola. Universidad Surcolombiana- Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. hanny.vagome@hotmail.com

2 Ingeniera Agrícola. Universidad Surcolombiana- Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. vicmen1910@hotmail.com

3 Docente de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana- Neiva. Av. Pastrana – Carrera 1. jaimelizquierdo@usco.edu.co

cultural sector through the production, use of machinery, irrigation practices and crop protection through chemical such as herbicides, insecticides, pesticides and fertilizers.

This study consisted in evaluating the carbon footprint in the rice farms in 10 pieces of land at the irrigation district El Juncal including the experimental farm of the University Surcolombiana, considering only emissions until harvest, with the objective of analyze the agricultural practices used on each farm for the production of 1 ha of rice, to determine carbon emissions, and to propose parameters that will be the basis for the creation of programs to reduce the carbon footprint in the production of rice.

The process is carried out taking into account the conversion factors from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) and aspects of the Protocol Greenhouse Gases (World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute); the initial stage consisted of data collection activities that produce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) through surveys applied to voluntary farmers and identification of outcomes, which were classified according to emission sources in scope 1 and 2; then calculate the carbon footprint, obtaining 1.091,57 kg CO<sub>2</sub> eq/ha for fuel activity, 55,10 kg CO<sub>2</sub> -eq / ha for pesticide application, 3244,78 kg CO<sub>2</sub> eq / ha per application of fertilizers and 607,26 kg CO<sub>2</sub> eq/ha in electrical use; been the scope 1 the largest emitter with 87,85 % of the total emissions.

**Key words:** Rice; Emission Factors; Greenhouse Gases; emissions of carbon.

---

## 1. Introducción

En el diario vivir las actividades del hombre asociadas a su bienestar se relacionan en adquirir productos y servicios los cuales ayudan en la actividad cotidiana simplificándola, es por ello que en esta adquisición, origen, almacenamiento, transferencia y uso se producen impactos sobre el clima ocasionando GEI. Estos gases se emiten de forma directa o indirecta es por ello que la HdC surgido como una medida de la cuantificación del efecto de estos GEI. (Valderrama, et al., 2011); La HdC es la suma total de todas las emisiones directas e indirectas de GEI asociadas a las actividades humanas y expresadas en CO<sub>2</sub> (REED. K., et al., 2007).

Debido al interés de mitigar los cambios climáticos ha surgido la necesidad de crear organizaciones capaces de calcular la HdC implementando metodologías que revelen los impactos producidos de las emisiones de GEI con el fin de reducirlas en pro del medio ambiente o de dar información de ámbito ambiental, sin embargo en Colombia, muchas empresas aún no consideran en su plan de manejo la medición de la Huella

de Carbono (HdC) como herramienta para demostrar su compromiso ambiental, viéndose principalmente abordada a través de iniciativas voluntarias.

Una metodología existente en la cuantificación de la HdC es la herramienta de protocolo GEI, asociación entre el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) y la Norma ISO 14064, que trabajan con gobiernos, empresas y ecologistas a nivel mundial cuantificando las emisiones de GEI, por tal razón cuenta con una alta gama de datos de GEI proporcionada por empresas y normas relacionadas con el tema. Esta herramienta es consistente con las que ha propuesto el IPCC para la recopilación de emisiones, (GHG Protocol 2001). Por otro lado se encuentra la metodología propuesta por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), ofrece una metodología internacional para que los países lo empleen y por ende poder formar un inventario e informes sobre las emisiones producidas. La metodología propuesta es un método denominado factores de emisión (FE).

Dentro de las actividades económicas del departamento del Huila se encuentra la producción del arroz con reconocimiento nacional, es por ello que se debe tener una actitud responsable para lograr mitigar y reducir las acciones involucradas a la emisión de GEI; aunque a la fecha no existe una ley formal que exija dicha reducción de emisiones, existe un consenso global que se enfoca en la necesidad de mejorar hábitos con el fin de poner en acción la mejora ambiental. En ASOJUNCAL se cuenta con usuarios productores de arroz que por sus actividades agrarias poseen una dinámica de emisiones de GEI, sin embargo, no se conoce la magnitud de sus emisiones; por ello el fin de esta investigación es determinar cada una de las actividades contaminantes y la cantidad de  $\text{kg CO}_2\text{eq}$  por hectárea según la actividad y alcance.

El presente proyecto se inició con una consulta literaria por medio del artículo Carbon emission from farm operations de R. Lal (2004) del cual surgió la idea de calcular la HdC en predios sembrados con arroz. Con la información adquirida se decidió realizar los cálculos tomando como referencia los aspectos del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero 2001, las directrices de la IPCC 2006, y valores obtenidos de estudios y/o publicaciones. El primero es una guía que muestra un esquema para la medición y reporte de las emisiones y por ende la generación de un programa de mitigación, en general el protocolo GHG ayuda a realizar un inventario de los GEI identificando límites organizacionales, es decir seleccionar una guía para poder definir que componentes de la empresa u actividades operacionales se deben incluir en la contabilidad y reporte de GEI, es decir limitar las aéreas involucradas para recolectar la información y cálculos (), y operacionales identificando las fuentes de emisión y sus alcances los cuales son alcances 1 emisiones directas controladas por la empresa u organización (gas natural, diesel, gasolina, fertilización de suelos. Etc.)(Callae. Benavidez.Carmen. Carolina., et al., 2001), Alcance 2, emisiones indirectas asociadas a electricidad adquirida y alcance 3 emisiones indirectas consecuencia de las actividades de la empresa,

pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa las cuales no se tuvieron presentes en este proyecto, a estas emisiones ya categorizadas por medio de alcances se les hace un seguimiento a través del tiempo para posteriormente realizar la cuantificación.

Por su parte la metodología de las directrices de la IPPC 2006 consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad humana contaminante (AC) con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria, los cuales son denominados *factores de emisión (FE)*, (IPCC, 2006). Por consiguiente, la ecuación básica es:

$$EMISIONES = AC * FE$$

El siguiente paso fue la recopilación de datos por medio de una encuesta dirigida a agricultores arroceros voluntarios del distrito de riego ASOJUNCAL, incluyendo la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, permitiendo analizar las prácticas agrícolas que se utilizan en cada predio para la producción de arroz, se obtuvieron valores como quema de combustibles fósiles (móviles y estacionarios), consumo de electricidad, consumo de agroquímicos (fertilizantes nitrogenados, urea, pesticidas), incluyendo en el proyecto las emisiones del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), y compuestos orgánicos volátiles (VOCs).

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas que se produce naturalmente, como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa; su importancia en el calentamiento global está en que es el principal GEI que afecta al equilibrio de radiación del planeta, además por ser el gas de referencia que mide otros gases de efecto invernadero, por este motivo es que se utiliza el concepto de kilogramos de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{Kg CO}_2\text{eq}$ ) como unidad de medida común de las emisiones, pues es la medida que indica el potencial de calentamiento global (PCG), siendo el PCG el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad de un determina-

do GEI en relación a una unidad de CO<sub>2</sub> (Brito. Contreras. Olivia. Alejandra., 2011); las principales emisiones producidas por el CH<sub>4</sub> provienen de fuentes relacionadas con la descomposición orgánica en los diferentes sistemas biológicos. El óxido nitroso, cuyas fuentes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6% del forzamiento del efecto invernadero. Sus fuentes incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles y biomasa y la agricultura; dentro de las emisiones generadas por la agricultura se encuentran las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes (Oswaldo., et al., 2007). Los compuestos orgánicos volátiles (VOC's), cuando se liberan a la atmósfera contribuyen a la formación de ozono y del smog. (ESCOBAR, 2009), estos componentes normalmente derivan de depósitos de petróleo y gasolina, procesos industriales y combustión de fuel, uso de pinturas y detergentes, o actividades de agricultura (pesticidas).

Durante el tiempo de realización del proyecto se presentaron ciertas limitaciones entre ellas el manejo directo con agricultores en el momento de ejecutar las encuestas, pues estas contenían preguntas no dominadas por los agricultores a pesar de la experiencia adquirida en el campo, también fue necesario realizar además de las visitas, llamadas, convirtiéndose éstas en un medio esencial para la recopilación de datos. Finalmente se logró obtener la información necesaria para por medio del cálculo determinar la huella de carbono evaluar las contribuciones de los gases de efecto invernadero producido a causa de las fuentes de emisión y dar el paso inicial en la necesidad de fomentar la creación de programas que permitan la reducción de la huella de carbono en la producción de arroz en el Distrito de Riego El Juncal.

## 2. Materiales y métodos

La metodología empleada para la realización del presente proyecto, consistió de 5 pasos generales:

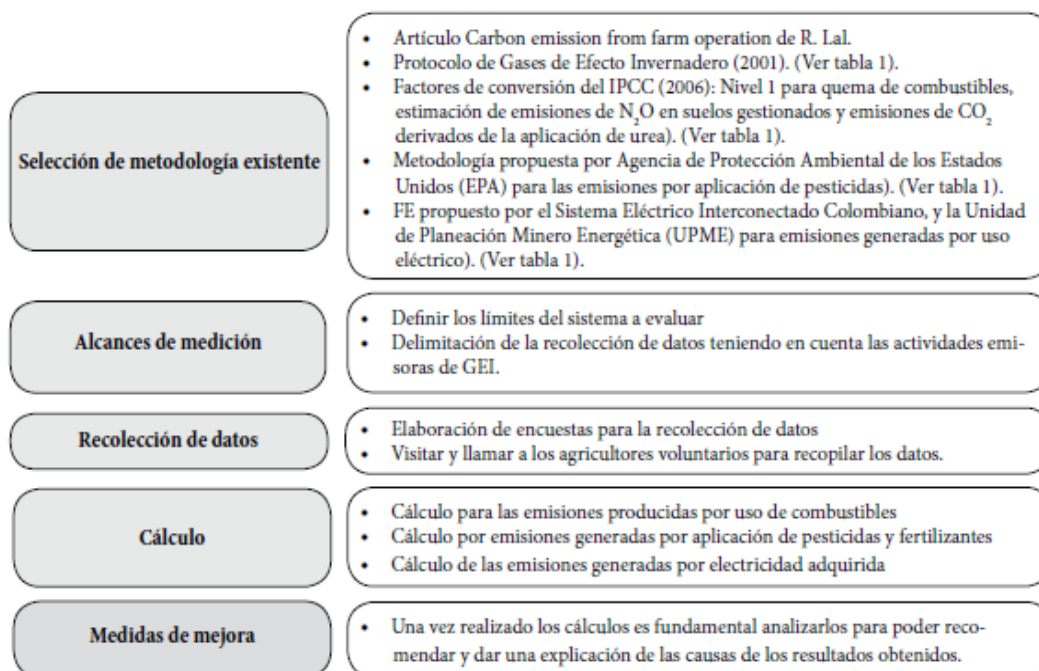


Figura 1. Metodología.

Tabla 1. Metodologías Utilizadas para el Cálculo de Emisiones

Actividad	Metodología	NIVEL	Comentario	Ecuación
Emisiones por Consumo de combustible (A.C.PM y Gasolina).	Actividad x Factor de Emisión	Nivel 1	Herramienta de cálculo basada en la metodología de Nivel 1 para la estimación de emisiones por Combustión estacionaria y móvil de la IPCC.	$Nivel1 = emisión_n = \sum [C_{combustible} X EF_n]$
Emisiones de VOCs por aplicación de pesticidas.	Actividad x Factor de Emisión	Nivel 1	Modelo propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), incorporando los ingredientes activos e inertes de los pesticidas.	$MI = (CpMA) - CP$ $E_{VOC} (inerte)_{total} = \% prom\ vocs \cdot MI$ $E_{VOC} (pesticida)_{total} = (FE \cdot (CpMA)) + E_{VOC} (inerte)_{total}$
Emisión de N <sub>2</sub> O por uso y aplicación de Fertilizantes.	Actividad x Factor de Emisión	Nivel 1	Herramienta de cálculo basada en la metodología de Nivel 1 para la estimación de emisiones de N <sub>2</sub> O en suelos gestionados del IPCC.	$N_2O_{Directas} = N - N\beta - N_{gportres}$ $N_2O - N_{gportres} = N - [(F_p X EF_{p,soil}) + (F_p X EF_{p,soil})]$ $N_2O(ATD) = N_2O(ATD) - N - 44,28$
Consumo de energía Eléctrica.	Actividad x Factor de Emisión	Nivel 1	Factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado, 2849 kg CO <sub>2</sub> eq/ KWh.	$emisión = \sum [ConsumoENERGÉTICO X EF]$
Emisiones totales				$emisión_{total} = emisión_{estacionaria} + emisión_{móvil} + emisión_{inerte} + emisión_{N_2O}$
				$N_2O(ATT) - N = [(F_p X EF_{p,soil}) X EF]$ $N_2O(ATT) = N_2O(ATT) - N - 44,28$ $N_2O(L) - N = [(F_p X EF_{p,soil}) X EF]$ $N_2O(L) = N_2O(L) - N - 44,28$ $CO_2 - C_{total} = M X EF$ $CO_2 = CO_2 - C_{total} \cdot 44/12$

selección de metodología existente, alcances de medición, recolección de datos, cálculos y medidas de mejora, los cuales se resumen por medio de la figura 1 y se especifican después en la tabla 1.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Cuantificación de las emisiones

##### 3.1.2 Identificación de las fuentes de emisión de GEI

En la tabla 3 se muestra las actividades del cultivo del arroz en el distrito de riego El Juncal, Palermo, Huila, Colombia, identificadas durante el trabajo de campo como fuentes de emisiones con su correspondiente alcance. (Ver tabla 3).

##### 3.1.2.1 Emisiones según la fuente

##### 3.1.2.1.1 Determinación de las emisiones por combustión móvil (transporte todo terreno) y estacionaria

Las emisiones por consumo de combustibles se dan por consumo de diesel en tractores para labores como preparación de terreno, siembra, riego y cosecha, y por uso de gasolina en el manejo de motores para la aplicación de fertilizantes. Obteniendo 327,7 Lt/ha de diesel y 5,2 lt/ha de gasolina.

En la figura 2 se puede observar que la actividad con mayor emisión de CO<sub>2</sub> es la cosecha con 771,99 Kg CO<sub>2</sub>-eq/ha, seguida de la preparación de terreno con 250,36 KgCO<sub>2</sub>-eq/ha, por su parte la menor emisión se dio en la aplicación de químicos consumiendo 7,02 Kg CO<sub>2</sub>-eq/ha, esto debido a que se utiliza poco combustible para realizar aplicación de estos. Las emisiones totales por uso de combustibles fueron de 1091,57 Kg CO<sub>2</sub>-eq/ha representado el 21,96% de las emisiones totales (figura 6).

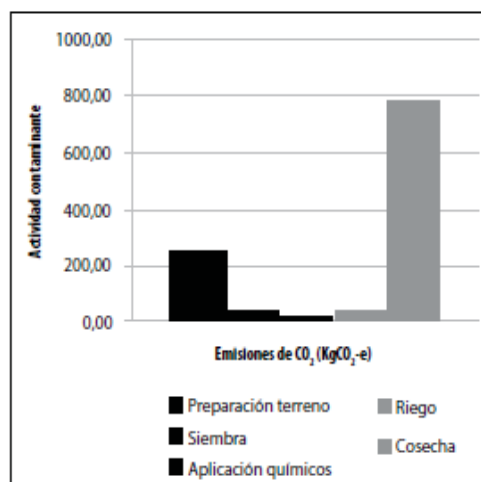


Figura 2. Emisiones por uso de combustibles (Kg CO<sub>2</sub>-eq/ha)

##### 3.1.2.1.2 Determinación de emisiones por aplicación de pesticidas

Las emisiones producidas por los compuestos orgánicos volátiles que producen los herbicidas se analiza que el producto de mayor emisión es el Propanil, esto debido a que es el herbicida aplicado en mayor cantidad por hectárea, en comparación con el producto Géminis de menor emisión debido a su poca aplicación, encontrando un valor total de emisión para los herbicidas de 23,76 Kg de VOCs/ha. (Ver tabla 3).

En los productos fitosanitarios aplicados para el control de plagas y enfermedades (ver figura 3), las emisiones producidas en mayor parte son menores a 1 kg de VOCs/ha; por otro lado el producto con mayor emisión es el Azimut con 8,29 Kg de VOCs/ha, seguido por el Aspen 500 SC con una emisión de 2,63 Kg de VOCs/ha, obteniendo un valor final de emisiones de 31,41 Kg de VOCs/ha. (tabla 3).

El cálculo de las emisiones producidas por el uso de pesticidas es de 55,10 Kg de VOCs/ha siendo este valor el 1,10% de las emisiones totales calculadas para la producción de arroz (figura 6).

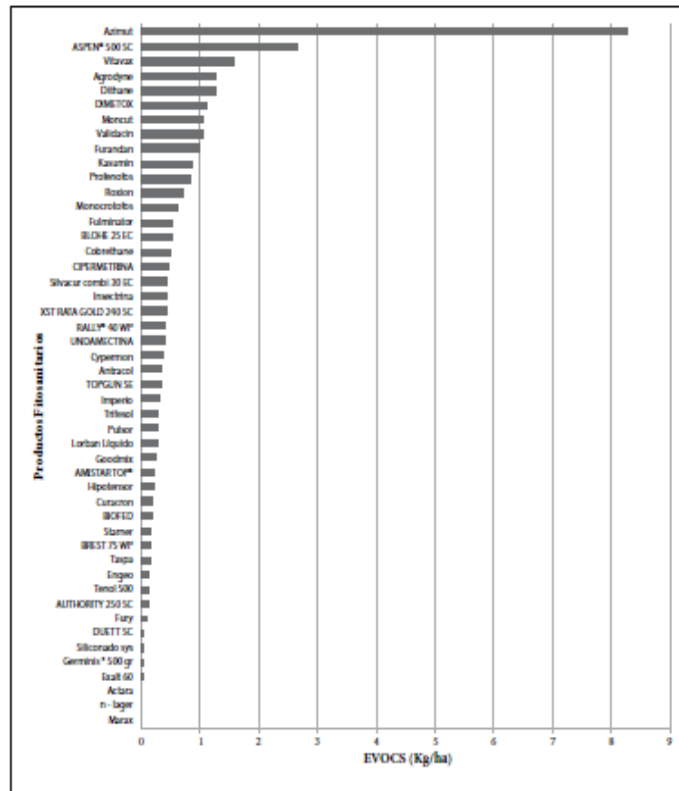


Figura 3. Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (EVOCs) de producto fitosanitario aplicados.

### 3.1.2.1.3 Determinación de emisiones por aplicación de fertilizantes

Para las emisiones procedentes por el uso de fertilizantes se calcularon las emisiones de los fertilizantes compuestos por nitrógeno teniendo en cuenta emisiones directas e indirectas, pues en los métodos existentes para la cuantificación de la HdC no hay estudios con factores de emisión para cada uno de los fertilizantes existentes. En la figura se analiza que el fertilizante Abotain presentó la mayor emisión con 500,69 kg CO<sub>2</sub>-eq/h, seguida por la Amida con 365,35 kg CO<sub>2</sub>-eq/h, mientras que el Biocel New 250 fue el de menor emisión, emitiendo 0,01 kg CO<sub>2</sub>-eq/h, analizando de esta manera que entre mayor sea la cantidad de fertilizante aplicado y mayor sea su contenido

de Nitrógeno(N) mayor será la emisión producida. Las emisiones totales para el uso de fertilizantes es de 3.244,78 kg CO<sub>2</sub>-eq/h con un 65,27% de las emisiones totales calculadas (figura 6).

### 3.1.2.1.4 Determinación de las emisiones generadas por el uso eléctrico

El distrito de riego cuenta con sistema de bombeo eléctrico compuesto por una estación principal de 600 kwhr capas de bombear 4680 m<sup>3</sup>/hr, y una estación secundaria de 53 kwhr que bombea 1008 m<sup>3</sup>/hr, además de esto por medio de las encuestas realizadas se pudo analizar que dos (2) usuarios incluyendo granja experimental de la Universidad Surcolombiana (P0168) y el señor Iván Arias propietario del lote Nápoles Bombeo

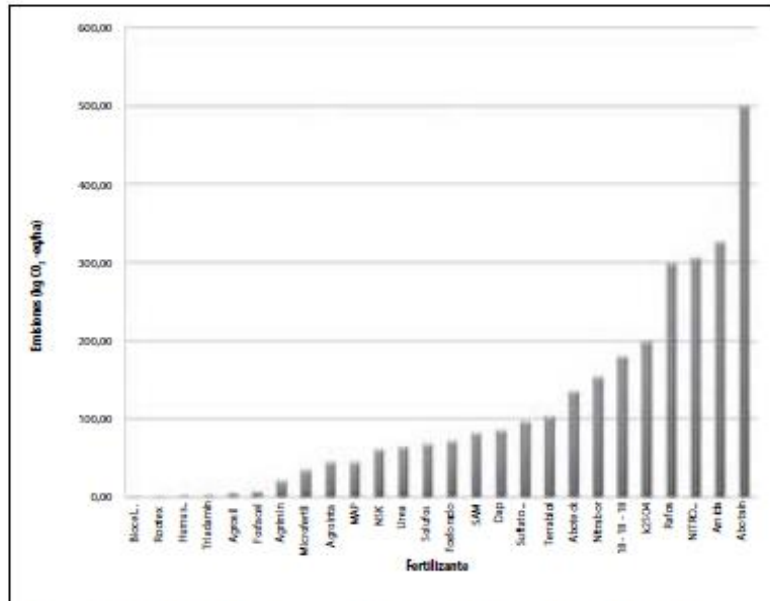


Figura 4. Emisiones de (Kg CO<sub>2</sub>- eq/ha) por aplicación de fertilizantes.

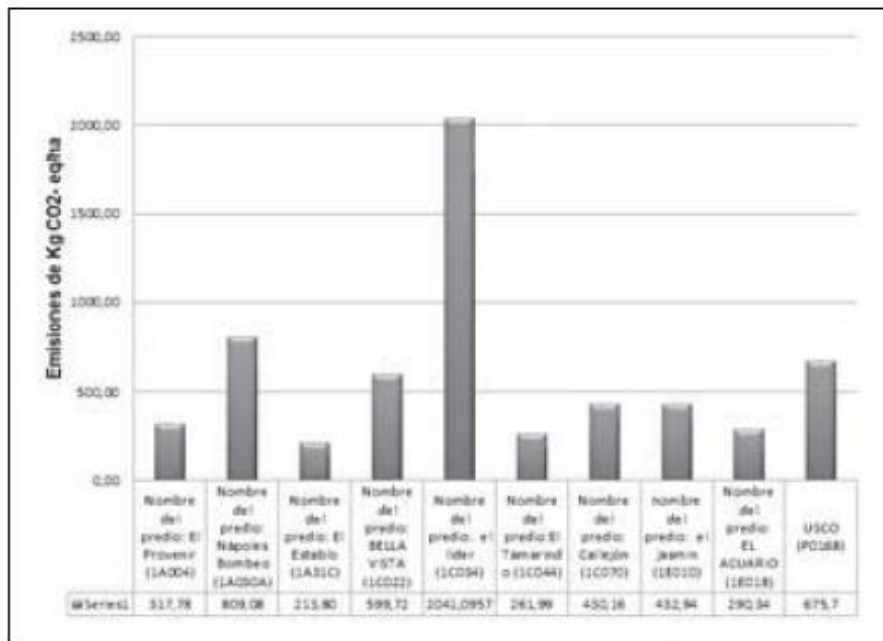


Figura 5. Emisiones de Kg CO<sub>2</sub>- eq/ha según el uso de electricidad utilizada en bombeo por predio



(1A030A), cuentan con un rebombeo eléctrico con una bomba de 9 kw/hr para 72 m<sup>3</sup>/hr.

Para poder efectuar el cálculo se tuvo en cuenta que no todos los usuarios recibían la dotación de agua de ambos bombeos pues esto dependía de la ubicación dentro del distrito. En la figura 5 se observan las emisiones producidas por los predios estudiados obteniendo una emisión total de 607,26 Kg CO<sub>2</sub>-eq / ha representando el 12,15% de las emisiones totales (figura 6 y tabla 3).

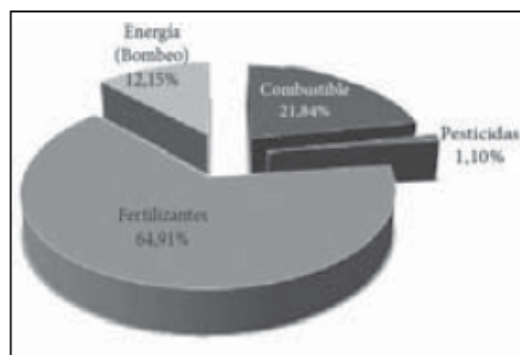


Figura 6. Porcentaje de emisiones de GEI según la fuente de emisión.

Tabla 3. Total de emisiones de GEI

Alcance	Fuente de emisión	Total de GEI		
ALCANCE 1	USO DE COMBUSTIBLES	Arado	132,73	
		Rastra	48,06	
		Preparación terreno	Rastrillo	18,62
			La Caimana	8,77
			Desbrozadora	37,57
		Guadaña	4,62	
	Siembra	Caballoneador	16,94	
		S. Mecanizada	17,40	
	Aplicación químicos	Fertilizantes	7,06	
	Riego	Bombeo	27,83	
	Cosecha	Granel	771,99	
	TOTAL GEI POR EL USO DE COMBUSTIBLES		1.091,57	
	APLICACIÓN DE QUÍMICOS	Pesticidas	Herbicidas	23,69
Plaguicidas			31,41	
TOTAL GEI POR PESTICIDAS		55,10		
Fertilizantes		Urea	63,48	
		Nitrogenados	3.181,30	
TOTAL GEI POR FERTILIZANTES		3.244,78		
TOTAL GEI ALCANCE 1		4.391,44		
ALCANCE 2	USO DE ELECTRICIDAD		430,16	
			599,72	
			317,78	
			809,08	
		Riego	Bombeo	2.041,10
			290,34	
			261,99	
	213,80			
TOTAL GEI ALCANCE 2		432,94		
TOTAL GEI (Kg CO <sub>2</sub> -eq/ha)		599,66		
		4.991,10		

### 3.1.2.2 Emisiones según alcances

#### 3.1.2.2.1 Alcance 1

Las emisiones totales para el alcance 1 son de 4.391,44 Kg CO<sub>2</sub>-eq/ha con un porcentaje de emisión de 87,99%, siendo este el alcance con mayor porcentaje de emisión (ver gráfica 7 y tabla 3), en este alcance las emisiones más representativas fueron las producidas por los fertilizantes, comprobando que los fertilizantes son insumos que requieren mayor gasto energético para producirlos debido a la gran cantidad de combustibles fósiles empleados para su fabricación, lo cual indica que se deben aplicar mejoras en la aplicación para reducir las emisiones.

Por otra parte la menor emisión obtenida se dio en los pesticidas aplicados, esto probablemente debido a la frecuencia de las aplicaciones o la cantidad aplicada, además por el uso de tratamientos de agua en post-fumigación que en este caso incluye la inundación permanente en el cultivo del arroz, o las diluciones en agua realizadas para poder aplicar los pesticidas.

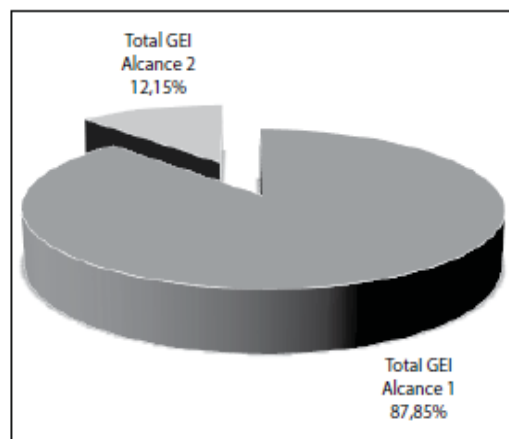


Figura 7. Emisiones totales de GEI según alcances

#### 3.1.2.2.2 Alcance 2

Las emisiones calculadas por uso de electricidad fueron de 599,66 Kg CO<sub>2</sub>-eq/ha con un porcen-

taje de emisión de 12,06% siendo el alcance de menor emisión en el presente proyecto (gráfica 7 y tabla 3).

### 3.2 Medidas de mejora

Con la determinación de la huella de carbono se identificaron las actividades contaminantes con mayor emisión de GEI siendo estas la aplicación de fertilizantes nitrogenados y uso de combustibles, lo cual permitió proponer parámetros que puedan ser bases para la creación de programas futuros que contribuyan a evitar y/o disminuir la generación de emisiones de los GEI a la atmósfera por medio de la producción del cultivo del arroz en El Distrito De Riego El Juncal.

Las medidas de mejoras para la reducción de emisiones hace referencia a la implementación de actividades dentro de las acciones necesarias para poder producir arroz, plasmándolas como una necesidad para trabajar de la mano con el ambiente, para lograr la reducción de emisiones dentro del Distrito de Riego El Juncal. Lo anterior involucra las acciones voluntarias de cada uno de los agricultores y el mismo distrito, ejemplo de estas es la reducción en el consumo de combustibles, insumos, electricidad, mejoramiento de prácticas operacionales, cambio de combustibles, recambio de tecnologías a más eficientes, entre otras, en si, reducir las emisiones es generar estrategias encaminadas a optimizar las operaciones y mitigar gastos operacionales. A continuación se mencionan algunas de las iniciativas recomendadas.

#### 3.2.1 Propuesta para la mejora del cálculo de la huella de carbono en futuros proyectos

Es importante convencer a los agricultores de implementar un sistema de registro y documentación pues es necesario para calcular la huella de carbono considerando las fuentes de emisiones involucradas en la actividad. Esta recomendación está fundamentada en esencial por las dificultades presentes en la realización del presente

proyecto además la obtención de información es fundamental para estudios futuros.

Para poder manejar el tiempo de forma más eficiente se recomienda que la recopilación de datos se haga de forma unitaria para todas las fuentes emisoras, permitiendo de esta forma trabajar ordenadamente y evitando tiempos muertos en la investigación. Por tal motivo idear el cuestionario es fundamental incluyendo en él todos los datos necesarios para los cálculos requeridos en la actividad estudiada.

Obtener información de forma anticipada, como los factores de emisión de electricidad, combustibles, e insumos empleados para el cuidado del arroz, permite el rendimiento del proyecto, estos son datos cambiantes a través del tiempo debido a las actualizaciones.

Se considera la opción de gestionar en un futuro un proyecto de la cuantificación de la HdC del arroz no solo en el manejo productivo del cultivo es decir hasta cosecha (cuna puerta), sino también involucrar emisiones durante el ciclo de vida de un producto (cuna a tumba).

### 3.2.2 Capacitación

Se propone que se efectúen capacitaciones a los agricultores sobre los conceptos relacionados con el calentamiento global y huella de carbono, incluyendo en estas los siguientes temas (tabla 2).

Además es importante que en estas capacitaciones se resalten las actividades agrícolas con mayor emisión de CO<sub>2</sub> y sus respectivas soluciones, como el manejo y mantenimiento de equipos y vehículos, el uso de productos orgánicos en el desarrollo del cultivo o la combinación de estos con productos sintéticos; incluir jornadas complementarias en donde se practiquen talleres simples del cálculo de la huella de carbono para crear conciencia de los GEI que se emiten en sus predios y así por medio de diversos cambios teórico - prácticos influir en el total de las emisiones generadas.

Igualmente, es importante adicionar el registro de datos en la capacitación pues es trascendental disponer de datos puntuales para el cálculo de huella de carbono; esta base de datos debe disponer valores de consumo de combustibles o

Tabla 2. Temas recomendados para capacitaciones.

Calentamiento global	Huella de carbono
- Explicar en qué consiste el calentamiento global.	- Explicar qué es la huella de carbono y sus aspectos.
- Enumerar las causas del calentamiento global	- Definir que son los gases de efecto invernadero.
- Explicar las consecuencias del calentamiento global.	- Ciclo de carbono.
- Describir los efectos del calentamiento global como: altas temperaturas, olas de calor, subida del nivel del mar, sequías, tormentas, Inundaciones y otros.	- Huella ecológica.
- Juzgar las consecuencias del cambio climático.	- Capacitar a los asistentes en una visión general de las metodologías de acuerdo con los protocolos existentes sobre el cálculo de la huella de carbono.
- Exponer prácticas que coadyuven a controlar los efectos sobre el medio ambiente.	- Mostrar los alcances y enfoques para el cálculo de la huella de carbono.
- Evaluar el alcance del cambio climático en las prácticas agrícolas.	- Enseñar los principios básicos y la manera de hacer un inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- Incentivar compromiso de lucha a través de la aplicación de eventos que ayuden a minimizar los efectos del calentamiento global.	- Capacitar por medio de prácticas a calcular la Huella de Carbono de sus predios.
	- Explicar la forma de mitigación y compensación de la huella de carbono.

distancias recorridas, insumos adquiridos y aplicados entre otros.

### 3.2.3 Consumo de combustible

El uso de combustibles se presenta para las operaciones de preparación de terreno, cosecha, aplicación de fertilizantes y en algunos casos bombeo. Se recomienda en las prácticas de adecuación de tierras emplear la técnica como mínima labor o si es posible aplicar labranza cero. En cuanto a las aplicaciones de fertilizantes y pesticidas se recomienda disminuir aplicaciones teniendo en cuenta las indicaciones del agrónomo, de este modo se disminuye la cantidad de gasolina consumida.

En lo relacionado al manejo de tractores y maquinaria es importante el aumento de conciencia en cuanto al uso de técnicas para el bajo consumo de combustible, lo cual involucra el cuidado de estos de forma adecuada, lo que significa operarlos de una manera correcta y realizar las tareas de mantenimiento que se establecen en los manuales para prolongar su vida útil, algunas de estas técnicas son:

- Estar pendientes del cuidado del sistema de los equipos debido a que si no funcionan adecuadamente pueden causar pérdidas de potencia y por tal más consumo de combustible, se recomienda medir diariamente el nivel del aceite del carter, hacer los cambios de aceite al motor, llevar registro de los cambios y mantener el tractor limpio para identificar las eventuales pérdidas de aceite.
- Evitar la contaminación del diésel después de haberlo recibido, debido a que las impurezas en los combustibles no colaboran en el buen funcionamiento de la maquinaria, para evitar estas contaminaciones por agua o polvo, se recomienda dejar reposar el combustible una vez recibido, purgar los tanques de combustibles antes de volverlos a llenar, no dejar los tambores por varias horas al sol y realizar un

correcto mantenimiento de los circuitos de combustibles del motor (revisión de rampas de agua y cambios de filtro).

- Cambiar filtros conforme a las recomendaciones técnicas debido a que estos son los encargados de evitar que lleguen impurezas a la bomba e inyectores, protegiendo la vida de estos elementos que son vitales para el motor.
- Cambiar las bujías de acuerdo a las especificaciones técnicas es crucial para el buen desarrollo del proceso de combustión.
- Lubricar todos los puntos de lubricación.
- Verificar, ajustar y limpiar los inyectores de combustibles.
- Revisar y ajustar la presión de los neumáticos delanteros y traseros, ajustando la presión de estos según las especificaciones de los fabricantes.
- Trabajar con la composición y compensación óptima de las cargas.
- Conducir con la velocidad del motor y las marchas de menor consumo de combustible de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Revisar periódicamente los consumos de combustible con lo cual se verifica alzas de consumo injustificados.
- Antes de almacenar los tractores se recomienda realizar una limpieza, vaciar el aceite del motor y transmisión, vaciar el depósito de combustibles y adicionar combustible especial de calibración, aplicar grasa lubricante en todos los puntos de lubricaciones, y demás especificaciones establecidas por los fabricantes en manuales de empleo y cuidado.
- Emplear buenas prácticas de conducción como no acelerar ni frenar bruscamente (no acelere a fondo ni muy rápido si no es necesario).

- Si es necesario, modernizar por tecnologías de mayor eficiencia.
- De igual forma se recomienda planificar de forma óptima cada una de las operaciones planeando las rutas y evitando en la cosecha los viajes de retorno sin carga.

### 3.2.4 Fertilizantes

Al emplear fertilizantes de nitrógeno se crean emisiones de GEI debido al alto gasto energético causado por empleo de combustibles fósiles en la fabricación industrial de fertilizantes minerales, y además emisiones de  $N_2O$  procedentes de suelos agrícolas gestionados por aplicación tanto de fertilizantes nitrógeno inorgánicos y sintéticos; es por ello que cuando se habla de incremento directo del N en el suelo esto se debe por la adición de fertilizantes ya sean sintéticos u orgánicos (estiércol animal, compost, desechos, etc.) e indirectamente por la volatilización, lixiviación y escurrimiento.

Las emisiones por el uso de fertilizante predomina en el cálculo de la HdC por que el PCG del  $N_2O$  es 309 veces superior al del  $CO_2$ , además por las grandes cantidades de fertilizantes aplicados en suelos agrícolas por lo tanto es importante tener en cuenta en el momento de la adiciones de estos contar con las cantidades exactas formuladas por el profesional acompañadas con el análisis de suelos y los requerimientos del cultivo, de este modo se proporciona la nutrición exacta evitando sobre aplicaciones; por otro lado se recomienda mantener registros sobre el uso real de los fertilizantes de nitrógenos empleados para futuras investigaciones de la HdC.

Las emisiones procedentes de la fabricación industrial de fertilizantes se pueden reducir con la mejora de la eficiencia energética o la utilización de energías renovables, por otro lado las emisiones por el manejo de fertilizantes en la producción de cultivos en este caso el arroz pueden disminuir si se reducen o eliminan las aplicaciones excesivas, además es importante realizar las aplicaciones en los tiempos establecidos por el agró-

no evitando retrasos entre las aplicaciones y la absorción de este por la planta.

## 4. Conclusiones

La fuente de emisión con mayor porcentaje de emisión fue la aplicación de fertilizantes, emitiendo 3.244,78 kg  $CO_2$ -eq/ha mostrando que las emisiones generadas por el uso de fertilizantes son las más representativas para el sector agrícola.

La fuente de emisión con menor porcentaje de contaminación correspondió a la aplicación de pesticidas, generando 1,10% de las emisiones totales es decir 55,10 kg  $CO_2$ -eq/ha.

Las actividades con consumo de combustibles generaron una emisión de 1.091,57 kg  $CO_2$ -eq/ha siendo esta la segunda actividad con mayor emisión de GEI, seguida por el consumo de electricidad utilizado para el riego con una emisión de 607,26 kg  $CO_2$ -eq/ha.

El alcance con mayor emisión correspondió al alcance 1 emitiendo 4.391,44 kg  $CO_2$ -eq/ha siendo este el 87,85% de las emisiones totales calculadas, mostrando que las emisiones directas controladas por la empresa u organización producen más GEI.

Las emisiones que se derivan del consumo de electricidad, en este caso para la aplicación del riego correspondiente al alcance 2 emitiendo 607,26 kg  $CO_2$ -eq/ha siendo este el 12,15% de las emisiones totales calculadas.

Las emisiones totales calculadas fueron 4.998,70 kg  $CO_2$ -eq, en el presente proyecto son las sumatoria de las emisiones por uso de combustibles, electricidad y aplicación de agroquímico, prácticas agrícolas que se utilizan en cada predio estudiado para la producción de 1 ha de arroz.

Para el cálculo de la huella de carbono se identificaron las actividades principales en la producción de arroz en el distrito de riego El Juncal (preparación de terreno, siembra, control de malezas,

plagas y enfermedades, aplicación de fertilizante, riego y cosecha), las cuales varían dependiendo de factores como el clima, suelo necesidades del cultivo y técnicas u opciones de manejo que usan los productores agrícolas para lograr sus objetivos de producción.

Los resultados presentados en este proyecto pueden ser complementados por trabajos futuros que calculen las emisiones generadas en las fases subsiguientes, incluyendo emisiones generadas por residuos agrícolas, cambios en el uso de la tierra, entre otros.

Las metodologías empleadas para este estudio fueron el protocolo de GEI 2001 esta se utilizó debido a que proporciona una guía detallada para cuantificar y reportar las emisiones de GEI; las directrices del IPCC de 2006 pues su estructura está orientada de forma tal que cualquier investigador, independientemente de su experiencia o recursos, pueda producir estimaciones fiables con la identificación de las fuentes de emisión y relacionarla con su respectivo FE proporcionados por este método; y la metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para las emisiones por aplicación de pesticidas ya que la cuantificación de las emisiones se relaciona con la forma de aplicación del producto, formulación y porcentaje de ingrediente activo e inerte.

Para obtener resultados más puntuales, es importante generar investigación para poder tener acceso a información sobre factores de emisión de cada una de las fuentes contaminantes, pues la información es escasa a nivel local, por lo tanto se presentan inconvenientes al comparar resultados de huella de carbono con distintas fuentes de consulta.

La huella de carbono es una herramienta utilizada a nivel mundial, sin embargo es un indicador limitado en el desempeño ambiental de una empresa o actividad pues no involucra la gama de impactos ambientales que están relacionados con

el cultivo, pues se deben considerar factores adicionales que no son reflejados en los resultados de la huella de carbono como impactos sobre la calidad de agua, biodiversidad, calidad de aire, entre otros.

## 5. Bibliografía

1. AP-42, Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42) - Volume I: Stationary Point and Area Sources, Fourth Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. January.
2. Asojuncal. [en línea] Página Web. [citado 18 de enero de 2014]. Disponible en Internet: <<http://asojuncal.blogspot.com/>>.
3. Brito. Contreras. Olivia. Alejandra. "Diagnóstico De Implementación De Metodología De Cálculo De La Huella De Agua Y Huella De Carbono En Empresa Dsm" [Online]. -2011- diciembre 7, 2014.
4. Callae. Benavidez. Carmen. Carolina., and Guzman. Bejar. Romina., Cálculo De La Huella De Carbono Del Ecolodge Ulcumano Ubicado En El Sector De La Suiza, Distrito De Chontabamba, Provincia De Oxapampa, Región Pasco [Report] : Tesis. - 2001.
5. Consorcio Energético Corpoema, Formulación De Un Plan De Desarrollo Para Las Fuentes No Convencionales De Energía En Colombia (Pdfnce), Bogotá, Septiembre 06 de 2010.
6. Escobar, David Cárdenas. Evaluación de calidad de aire orgánico volátiles – VOC's en zona aledaña del Instituto Colombiano del Petróleo (IPC) – ECO-PETROL S.A., (2009).
7. Valderrama, José O. César Espindola, Rafael Quezada, Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar [artículo de revista]. - marzo 14, 2011. - 3 : Vol. 4.
8. Oswaldo. Benavides. Ballesteros. Henry. and Esperanza. León. Aristizabal. Gloria. Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático [Online] / prod. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. - 2007.
9. Panel Intergubernamental De Expertos Sobre Cambio Climático (IPCC), 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

10. Protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol) Disponible en Internet:[citado 7 de noviembre de 2013].[http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo\\_de\\_gei.pdf](http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo_de_gei.pdf)
11. R. Lal Carbon emission from farm operations. Elsevier. [Artículo de revista ]. - 2004.
12. REED. K. and C. EHRHART.Guía para responsabilizarnos de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero de CARE. Taller CARE y El Carbono [Report]. - 2007. - pp. 5-8.