

**CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE COSECHA DE  
CAÑA DE AZÚCAR**

**CARLOS ALFREDO RIOS**

**JULIAN FERNANDO RINCON VILLAMIZAR**

**UNIVERSIDAD ICESI**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**SANTIAGO DE CALI**

**2014**

**CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE COSECHA DE  
CAÑA DE AZÚCAR**

**CARLOS ALFREDO RIOS**

**JULIAN FERNANDO RINCON VILLAMIZAR**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERIA  
INDUSTRIAL**

**Director de Proyecto**

**M.Sc. CLAUDIA MARCELA LUBO CETINA**

**UNIVERSIDAD ICESI**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**SANTIAGO DE CALI**

**2014**

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
GLOSARIO.....	8
RESUMEN.....	12
INTRODUCCION.....	13
1. DEFINICION DEL PROBLEMA .....	15
1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1.1 UBICACIÓN.....	15
1.1.2 ALCANCES .....	15
1.1.3 CONTEXTUALIZACIÓN .....	16
1.2 ANALISIS Y JUSTIFICACION .....	18
1.3 PROBLEMA A TRATAR. ....	19
1.3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.3.3 ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	20
2. OBJETIVOS .....	23
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	23
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	23
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. MARCO DE REFERENCIA .....	23
3.1 ANTECEDENTES.....	23
3.2 MARCO TEORICO .....	26
3.2.1 EFECTO INVERNADERO.....	26
3.2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	27
3.2.3 EMISIONES Y ABSORCIONES ANTROPOGENICAS .....	28
3.2.4 SECTORES Y CATEGORÍAS .....	29
3.2.5 FACTOR DE EMISIÓN .....	30
3.2.6 CAÑA DE AZÚCAR.....	30
3.2.7 CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA (SECTOR AZUCARERO).....	31
3.2.8 IMPACTO SOCIOECONÓMICO .....	32

4. METODOLOGIA.....	34
4.1 GESTION DEL PROYECTO DE INVESTIGACION .....	34
4.1.1 RECURSOS HUMANOS.....	34
4.1.2 RECURSOS ECONÓMICOS.....	34
4.1.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS .....	35
4.1.4 EQUIPO .....	35
4.1.5 MATRIZ DEL MARCO LOGICO.....	36
4.1.6 ETAPAS DEL TRABAJO.....	39
4.2 METODOLOGIA DE ANALISIS .....	40
4.2.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	40
4.2.1 METODOLOGIA PARA MEDICIÓN DE CO <sub>2</sub> EN EL PROCESO DE COSECHA DE CAÑA EN UNA HECTÁREA DE CADA HACIENDA.....	41
4.2.2 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO PRODUCIDA POR LA COSECHA DE CAÑA DE LAS HACIENDAS.....	42
5. RESULTADOS .....	44
5.1 PROCESOS DE COSECHA - CORTE, ALZA Y TRANSPORTE.....	44
5.1.1 COSECHA MECANICA .....	49
5.1.2 COSECHA MANUAL.....	56
5.2 MEDICIONES DE CO <sub>2</sub> .....	62
5.2.1 MEDICIÓN, PARA COSECHA MANUAL.....	62
5.2.2 MEDICIÓN, PARA COSECHA MECANICA .....	65
5.3 DATOS Y CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO TEÓRICO.....	67
5.3.1 CALCULO DE EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> EN LA COSECHA MANUAL.....	76
5.3.2 CALCULO DE EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> EN LA COSECHA MECANICA .....	80
5.4 ANALISIS DE RESULTADOS.....	82
5.4.1 ANÁLISIS DE MEDICIONES EN COSECHA MANUAL.....	82
5.4.2 ANÁLISIS DE MEDICIONES EN COSECHA MECÁNICA.....	84
5.4.3 ANÁLISIS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EN COSECHA MANUAL..	85
5.4.4 ANÁLISIS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EN COSECHA MECÁNICA .....	88
5.4.5 ANÁLISIS Y COMPARACIONES GENERALES DE EMISIONES.....	89

6. CONCLUSIONES .....	93
7. RECOMENDACIONES .....	95
BIBLIOGRAFÍA .....	97
ANEXOS .....	99
ANEXO 1 .....	99
ANEXO 2 .....	100
ANEXO 3 .....	101
.....	101
ANEXO 4 .....	102
.....	102
ANEXO 5 .....	103
.....	103
ANEXO 6 .....	104

## Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Total anual de emisiones antropogénicas de gases de efectos invernadero (1970-2010).....	29
Ilustración 2 Caña de Azúcar.....	31
Ilustración 3 Diagrama de Procesos en la cosecha de caña de azúcar.....	44
Ilustración 4 Organigrama de un Departamento de Cosecha en un Ingenio azucarero.....	46
Ilustración 5 Diagrama de una cosechadora de caña, con sus diferentes sistemas.....	52
Ilustración 6 Diagrama cosecha mecánica en una suerte.....	54
Ilustración 7 Descripción de maquinaria de un frente de cosecha mecánica.....	54
Ilustración 8 Factores determinantes de la cosecha mecanizada .....	55
Ilustración 9 Diagrama cosecha manual en una suerte.....	59
Ilustración 10 Logística de Corte.....	60
Ilustración 11 Factores determinantes de la cosecha.....	61
Ilustración 12 Descripción de maquinaria de un frente de cosecha manual .....	61
Ilustración 13 comparativo emisiones de CO <sub>2</sub> vs Velocidad del viento antes de la quema. .....	63
Ilustración 14 comparativo emisiones de CO <sub>2</sub> vs temperatura antes de la quema. ....	63
Ilustración 15 comparativo emisiones de CO <sub>2</sub> vs velocidad del viento después de quema .....	64
Ilustración 16 comparativo emisiones de CO <sub>2</sub> vs temperatura después de quema .....	65
Ilustración 17 comparativo emisiones de CO <sub>2</sub> vs distancia durante la cosecha mecánica	66
Ilustración 18 comparativo, emisiones de CO <sub>2</sub> vs la velocidad del viento durante la cosecha mecánica.....	66
Ilustración 19 comparativo, emisiones de CO <sub>2</sub> vs temperatura durante la cosecha mecánica.....	67
Ilustración 20 Pantalla principal para combustibles líquidos.....	68
Ilustración 21 Proporción de kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> emitida por actividad cosecha manual sin quema. ....	85
Ilustración 22 Proporción de kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> emitida por actividad cosecha manual con quema. ....	86
Ilustración 23 comparación de emisiones generadas por la cosecha manual con quema vs cosecha manual sin quema .....	87
Ilustración 24 Proporción de kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> emitida por actividad cosecha mecánica. ....	88
Ilustración 25 comparativo de los diferentes tipos de cosecha. ....	90
Ilustración 26 comparativo de total de huella de carbono generado por cada hacienda dependiendo el tipo de cosecha usado.....	92

## Tabla de Tablas

Tabla 1 Recursos Económicos.....	35
Tabla 2 matriz de marco lógico .....	38
Tabla 3 Etapas del trabajo .....	39
Tabla 4 Características de las maquinas actualmente utilizadas en la industria.....	50
Tabla 5 promedios y rangos de la medición del proceso de cosecha manual previo a la quema. ....	64
Tabla 6 promedios y rangos de la medición del proceso de cosecha manual después de la quema. ....	65
Tabla 7 promedios y rangos de la medición del proceso de cosecha mecánico, mientras la cosechadora hacia su labor. ....	67
Tabla 8 factores necesarios para la conversión y cálculo de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	76
Tabla 9 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en el traslado del frente de cosecha manual. ....	77
Tabla 10 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha manual sin quema en las labores de alce de una hectárea.....	77
Tabla 11 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha manual con quema en las labores de alce de una hectárea. ....	78
Tabla 12 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha manual en las labores de transporte de una hectárea. ....	79
Tabla 13 Matriz de estimación de kgCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> eq producidas por la quema en cosecha manual.....	79
Tabla 14 estimación de kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> generados por el consumo de combustible de un incinerador manual.....	80
Tabla 15 Matriz de cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en el traslado del frente de cosecha mecanizada.....	80
Tabla 16 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha mecanizada en labores de corte de una hectárea. ....	81
Tabla 17 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha mecanizada en labores de alce de una hectárea.....	81
Tabla 18 Matriz de Cálculo de emisión de CO <sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha mecanizada en labores de transporte de una hectárea. ....	82
Tabla 19 Cuadro comparativo de las emisiones en kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> realizadas por el CAT (corte, alce, transporte) de cada cosecha.....	90

## GLOSARIO

**Cambio climático:** Fenómeno en el cual se da una variación del clima, que persiste durante largos períodos de tiempo. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define el cambio climático como “Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. (Unidas, 1992, pág. 3) La CMNUCC hace énfasis en que el cambio climático es atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática a causas naturales.

**Peligro:** Acontecimiento potencial de un suceso físico de origen natural o humano, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños en infraestructuras, medios de subsistencia, ecosistemas y recursos ambientales. (Field, 2014).

**Exposición:** La presencia de personas especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente (Field, 2014).

**Vulnerabilidad:** Predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (Field, 2014).

### **Impactos:**

Efectos en los sistemas naturales y humanos. En el documento, el término *impactos* se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos, del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las personas, salud, ecosistemas,



economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a los fenómenos climáticos peligrosos en un lapso de tiempo. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados (Field, 2014, pág. 5).

- **Impactos potenciales:** Todo impacto que pudiera sobrevenir en relación con un cambio proyectado del clima, sin tener en cuenta la adaptación.
- **Impactos residuales:** Impactos netos del cambio climático después de la adaptación.

**Riesgo:** Potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro. Probabilidad de sucesos peligrosos multiplicado por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos. El término riesgo se utiliza en referencia a los riesgos de impactos del cambio climático (Field, 2014).

**Adaptación:** Proceso de ajuste al clima real y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. (Field, 2014).

**Inventario de gases efecto invernadero:** Un inventario de gases de efecto invernadero es una rendición de cuentas de la cantidad de gases de efecto invernadero emitido hacia la atmósfera durante un período de tiempo específico.

Un inventario de gases de efecto invernadero también proporciona información sobre las actividades que causan las emisiones y absorciones, así como de antecedentes sobre los métodos utilizados para hacer los cálculos (Rypdal, 2006).

**Territorio nacional:** Los inventarios nacionales abarcan todas las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero que se producen dentro del territorio nacional y en otras extraterritoriales sobre las cuales el país tiene jurisdicción (Rypdal, 2006).

**Buenas Practicas:** Para fomentar la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de alta calidad, El panel intergubernamental de expertos en cambio climático definió un conjunto de principios metodológicos,

acciones y procedimientos en las directrices. Las buenas prácticas son aquellos que no contienen estimaciones excesivas ni insuficientes, en la medida en la que pueda juzgarse, y en los que las incertidumbres se reducen lo máximo posible (Stocker, 2013).

**Fedesarrollo:** La Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (Fedesarrollo) es una entidad privada sin ánimo de lucro. Establecida en 1970, se dedica a la investigación en temas de política económica y social. Su propósito es contribuir al diseño, seguimiento y mejoramiento de las políticas públicas.

**Asocaña:** La Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña, es una entidad gremial sin ánimo de lucro, fundada el 12 de febrero de 1959, cuya misión es representar al sector azucarero colombiano y promover su evolución y desarrollo sostenible (Sector Azucarero Colombiano, Asocaña, 2012).

**Cenicaña:** El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia es una corporación privada sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña) en representación de la agroindustria azucarera localizada en el valle del río Cauca.

**Sistema climático:** es la que comprende la totalidad de la atmosfera, la hidrosfera, la biosfera y la geosfera, y sus interacciones (Unidas, 1992).

**Fuente:** es cualquier proceso o actividad que libera un gas de invernadero, un aerosol o algún gas de efecto invernadero en la atmosfera (Unidas, 1992).

**Antropogénico:** hace referencia a todos los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.

**IPCC:** El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal organismo internacional para la evaluación del cambio climático. Fue establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

(PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988 para proveer al mundo con una visión científica clara sobre el estado actual del conocimiento en el cambio climático y sus posibles impactos ambientales y socio- económicos. En el mismo año, la Asamblea General de la ONU aprobó la acción por la OMM y el PNUMA para establecer conjuntamente el IPCC.

**Chorras:** termino que se le da a las pilas de caña cortada ubicadas de forma horizontal facilitando el proceso de alce realizado por la alzadora.

## RESUMEN

El presente proyecto intenta contribuir en la mejora de procesos agro-industriales de caña de azúcar en la haciendas Florinda y San Diego ubicada en el Valle del Cauca, por medio de una identificación detallada de las labores del proceso de cosecha y una evaluación de huella de carbono en dicho proceso.

Se evaluó la huella de carbono en los procesos agro-industriales de cosecha (corte, alce, y transporte) de caña de azúcar, identificando y delimitando las labores del proceso de COSECHA de caña de azúcar, cuantificando la huella de carbono en el proceso de cosecha de una hectárea de caña y comparando las emisiones generadas por la cosecha mecanizada y manual en una hectárea de caña de azúcar.

Para el desarrollo se tuvo en cuenta los Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos de la Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales (ACCEFYN), las pautas y metodologías propuestas por el IPCC (Panel Intergubernamental Del Cambio Climático). La etapa inicial consistió en identificar todas las labores de cosecha emisoras de dióxido de carbono. Se realizaron mediciones de CO<sub>2</sub> mientras se realizaba la cosecha tanto manual como mecanizada. Posteriormente se efectuaron los cálculos de huella de carbono para las actividades con consumo de combustible, obteniendo para la cosecha Mecanizada 2772 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, la cosecha Manual sin quema arrojó un valor de 3554 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> y para la cosecha manual con la quema 28336 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>. Por último se plantea un análisis comparando los dos tipos de cosecha.

**Palabras Clave:** Gases de Efecto Invernadero, Caña de Azúcar, Factores de Emisión, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Cambio Climático, Huella de Carbono.

## **INTRODUCCION**

El ser humano está en la constante búsqueda de un bienestar por lo que desea adquirir productos y servicios que están enfocados en simplificar las actividades cotidianas, estos productos al ser manufacturados, almacenados, usados y desechados aportan directa o indirectamente en el cambio climático. Por lo que la huella de carbono ha surgido como medida cuantitativa del efecto de dichos procesos a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Dado el interés que existe por mitigar los cambios climáticos, ha surgido la motivación de desarrollar este trabajo de grado el cual tiene como objetivo contribuir en la documentación sobre el impacto medio ambiental que genera la producción de caña de azúcar, especialmente en los procesos agro-industriales de Cosecha. Este presenta información del sector azucarero y las nuevas tendencias con las que la ingeniería industrial cuenta para tener un mejor entendimiento de los procesos y como estos logran influenciar el ambiente. Los sectores económicos nacionales impactan directa o indirectamente al cambio climático por prácticas industrializadas, y al contar con una representación del 54% del PIB agrícola y con un área cultivada que representa el 66% de toda la extensión agrícola nacional, el sector azucarero se convierte en un sector importante para la industria en la económica Colombiana; por lo que sus procesos agro-industriales afectan el cambio climático de manera proporcional a su actividad.

Colombia es uno de los principales países productores de caña de azúcar y uno de los mejores ya que su ubicación geográfica permite tener cosechas durante toda el año; Colombia posee el liderazgo mundial en cuanto al rendimiento en toneladas de caña de azúcar por hectárea (TCH), estos valores están entre 120 y 130 TCH; produciendo más de 14 toneladas de azúcar por hectárea, situándolo como el primero en productividad a nivel mundial. (Madriñan, 2002)

Por ser el sector azucarero tan importante, los productores se preocupan por el impacto medio ambiental que generan estos procesos agro-industriales, por lo que

el proyecto dejara una recopilación de información y datos útiles para que los interesados puedan identificar las labores de cosecha que emiten CO<sub>2</sub> al medio ambiente y posteriormente hacer algunas mejoras en cuanto a emisiones orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El proyecto presenta una amplia y detallada documentación de los procesos agro-industriales de cosecha tanto mecanizada como manual. De esta información se determinaron los procesos emisores de dióxido de carbono los cuales serán usados para medir y calcular la huella de carbono.

Las mediciones se realizaron siguiendo un protocolo para medir (Anexo 1) con el dispositivo (CO<sub>2</sub> METER Lutron GCH 2018) proporcionado por la universidad Icesi el cual mide la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire y la temperatura. En la hacienda San Diego se hizo el muestreo para la cosecha Manual en dos ocasiones la primera fue antes de que se realizara la quema y la segunda después de la quema mientras se realizaba la labor de corte. La hacienda Florinda fue objeto de estudio para medir la cosecha mecánica.

Para los cálculos de huella de carbono fue de vital importancia conocer la calidad de los combustibles así mismo sus correspondientes factores de emisión; estos varían dependiendo la localidad, el IPCC sugiere que los inventarios nacionales sean hechos utilizando factores de emisión locales. Por lo tanto, este proyecto tuvo en cuenta los factores de emisión de los combustibles colombianos presentados por Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales (ACCEFYN).

La huella de carbono es una medida de emisiones de gases de efecto invernadero expresadas en kilogramo de dióxido de carbono equivalente (kgCO<sub>2</sub>eq) generados por las actividades del hombre, incluyendo el sector agrícola con sus procesos agro-industriales como el uso de maquinarias para producción.

## **1. DEIFINICION DEL PROBLEMA**

### **1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1 UBICACIÓN**

La ubicación de la hacienda La Florinda es en el corregimiento de Rozo, perteneciente al municipio de Palmira, Valle del Cauca. Este corregimiento está ubicado en la zona sur del departamento del Valle, cercano a la capital y al aeropuerto de este mismo. Su zona aledaña es de gran impacto agroindustrial, el 90% de la tierra representa propiedad privada tipo latifundista dedicada en su gran mayoría a la producción azucarera. Dado que este tipo de agricultura demanda grandes volúmenes de recurso hídrico que en su totalidad no pueden ser abastecidos por los diferentes afluentes, en esta hacienda disponen del recurso a partir del zanjón agua clara, un pozo profundo que esta interconectado con cada suerte por medio de un sistema de tubería enterrada.

La ubicación de la hacienda San Diego es continua al ingenio San Carlos continuo a la ciudad de Tuluá, Valle del Cauca. Esta hacienda se encuentra en la zona norte del departamento del Valle. Su zona aledaña es de gran impacto agroindustrial, la mayor parte de la tierra en esta zona representa propiedad privada tipo latifundista dedicada en su gran mayoría a la producción azucarera. Y las poblaciones aledañas en mayor parte dependen de la actividad agrícola y relacionada. Dado que este tipo de agricultura demanda grandes volúmenes de recurso hídrico que en su totalidad es abastecido por los diferentes afluentes, en esta hacienda disponen del recurso a partir de acequias manejadas por el ingenio y un brazo del cauca denominado zanjón Burriga.

#### **1.1.2 ALCANCES**

El proyecto tiene un alcance propuesto para iniciar en el segundo semestre del año 2014 y finalizar en el primer semestre del año 2015.

El desarrollo del proyecto será un piloto para observar cómo se puede realizar el cálculo de huella de carbono, y ver el impacto ambiental generado por el proceso de cosecha de caña de azúcar. Además de dar una imagen a un posible proyecto más amplio que podría ser llevado a cabo por otros para implementar un control de emisiones y por ende reducir el impacto en la huella de carbono.

Este proyecto contribuye de diversas formas, tanto a los dueños de la hacienda como también al ingenio ya que se socializara la huella de carbono evaluada, de esta forma las haciendas y los ingenios muestran su compromiso con el cuidado y sostenibilidad del medio ambiente.

Por lo tanto, el desarrollo del proyecto se realizó en tres fases, una primera fase es el reconocimiento de los procesos agroindustriales en la caña de azúcar; Enfocado en la cosecha (corte, alce, y transporte) como carácter diferenciador ; la segunda fase está encaminada a la obtención de un marco teórico donde se documente que es el efecto invernadero, los gases que hacen parte de este, como estos gases son emitidos y absorbidos por el ambiente, aparte de un método de estimación de la huella de carbono; la última fase, incluye la recopilación de datos y cálculos de la huella de carbono en una hectárea de las suertes de la hacienda “Florinda” y de la hacienda “San Diego” análisis de las falencias y las oportunidades de mejoramiento en cada hacienda.

La hacienda “Florinda” es donde se realizó el estudio y las mediciones de cosecha mecanizada ya que allá solo se utiliza esta metodología para cosecha en los últimos años. Para el estudio y medición de emisiones de cosecha manual se trabajó en la hacienda “San Diego” la cual siempre ha utilizado esa técnica de cosecha.

### **1.1.3 CONTEXTUALIZACIÓN**

En el año 2011 en Colombia se produjeron 2,3 millones de TMVC (toneladas métricas en su equivalente a volumen de azúcar crudo) de azúcar, a partir de 22,7 millones de toneladas de caña. También se produjo alcohol carburante, 337



millones de litros, destinados a la mezcla con gasolina en una proporción *E8* (8% etanol, 92% gasolina), de acuerdo a la ley de oxigenación establecida por el gobierno desde noviembre de 2005. Hoy en día se da cubrimiento a prácticamente todo el territorio nacional (Sector Azucarero Colombiano, Asocaña).

Al ver las cifras anteriores, es muy importante conocer y determinar el impacto generado en el medio ambiente, por los procesos agroindustriales de la producción de caña de azúcar, teniendo en cuenta que la huella de carbono generada por estas actividades, contribuye en el cambio climático del planeta.

La huella de carbono, es un indicador capaz de sintetizar los impactos provocados por actividades en torno al hombre y es medido en términos de gases de efecto invernadero. Este se presenta como una útil herramienta para la gestión, así como un estímulo para adoptar medidas, en búsqueda de un modelo sostenible. La huella de carbono ha colaborado en diversos campos, como en el de la eficiencia energética, pues ha causado un impacto significativo en la reducción de los costos operacionales. De lo anterior se puede decir, que este indicador no sólo es bueno para el medio ambiente, al disminuir el impacto negativo de las empresas en el cambio climático; sino que también favorece el aumento de la rentabilidad económica. Todo esto, basado en uno de los principios de la ingeniería moderna, como es una cadena de producción sostenible (Espindola, 2011).

Una cadena de producción sostenible, se caracteriza porque a medida que pasa el tiempo, no genera un impacto negativo significativo en el medio ambiente. Lamentablemente, en algunos procesos agro-industriales y en la agricultura en general, no se ve la sostenibilidad como un aspecto relevante. Sin embargo, es de gran importancia, ya que estas actividades agrícolas influyen de forma variable en el medio ambiente y a su vez el medio ambiente influye en el correcto desarrollo de las mismas.

No se puede desconocer que la agricultura es un proceso controlado por el hombre, quien en última instancia, contribuye al cambio climático por la liberación de gases de efecto invernadero. Además de que las emisiones de estos gases han ido incrementando su liberación año a año por el crecimiento del sector industrial; que va en búsqueda del aumento de productividad, para mejorar la rentabilidad económica la cual no tiene en cuenta al medio ambiente (Ocampo, 2011).

Por la tanto el éxito del indicador huella de carbono se ve concentrado en el reconocimiento que tenga la sociedad de este; tanto por productores pero sobre todo para los consumidores los cuales son los que tienen la fuerza para presionar a las empresas a ejercer un cambio. Este cambio es el de reducir el impacto que se genera en el medio ambiente por las actividades que realiza el hombre.

## **1.2 ANALISIS Y JUSTIFICACION**

En el trascurso de la carrera de Ingeniería Industrial se ha presentado clases, conceptos y de más desarrollos en el campo de la industria, los cuales son de mucha utilidad para el ingeniero industrial, como se puede ver en este documento. Este proyecto se enfoca en los procesos agroindustriales de la caña de azúcar, su impacto medio ambiental y la comparación en proporción de huella de carbono de dos tipos de cosecha, el corte mecanizado y el corte manual. Llevado a la práctica en las haciendas Florinda y San Diego situadas en el valle del cauca en el corregimiento de Rozo.

En el marco de la ingeniería industrial es de suprema importancia que los procesos productivos sean óptimos, eficaces y eficientes, ya que de esta manera se podrán lograr mayores utilidades y menores costos de producción y comercialización. Pero como ingeniero industrial también es vital que si bien los procesos son óptimos y se está obteniendo la mayor ganancia, el ingeniero deba tener siempre en cuenta el medio ambiente ya que este es el máximo proveedor de materia prima de nuestra vida como la conocemos.

El cambio climático es un problema de proporciones mayores para la sociedad, por lo que este proyecto de grado está motivado en contribuir en la proporción que sea posible con la mitigación del cambio climático, por medio del cálculo de la huella de carbono y la clasificación de los procesos agroindustriales de la caña de azúcar, a los cuales se podrán aplicar muchos de los conceptos aprendidos en la universidad para su eventual mejoramiento, siempre teniendo en cuenta la reducción del impacto medio ambiental.

Otro estímulo que es motor para el proyecto es que Carlos Ríos es el dueño de la hacienda Florinda y San Diego las cuales serán objeto de estudio y donde se pondrá en práctica el proyecto. Se harán las mediciones, y se llevara a cabo el levantamiento de datos e información pertinente para poder hacer los estudios de huella de carbono dejando un marco de referencia útil para que alguien eventualmente pueda poner en marcha más proyectos de mejoramiento. El proyecto que se hará en la hacienda también dejara documentado muchos otros datos que son de gran interés a la hora de producir, así como tener todo mucho más organizado y esquematizado para hacer mejoras en los procedimientos productivos de caña de azúcar.

### **1.3 PROBLEMA A TRATAR.**

#### **1.3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El cambio climático es un fenómeno que afecta directamente a la agricultura, la cual es una de las fuentes de alimentos para los humanos, como también fuente de materia prima para otras industrias. Debido al aumento de la población humana la demanda de alimentos incrementa, generando retos para el sector agrícola de generar mayor producción con menos tierra. Estos retos a la agricultura se ven truncados por factores que son dados por el cambio climático; el aumento de la temporada de sequía como también el aumento de precipitaciones que pueden llegar a destruir cosechas enteras; e indirectamente la agricultura aporta su grano de arena al cambio climático. Además, hay que reconocer que el cambio climático

es una realidad y que sus causas son producto de las actividades humanas, que emiten gases de efecto invernadero (todas las actividades) (Maletta, 2009).

Como la producción de caña de azúcar pertenece al sector agrícola y para poder desarrollar esta actividad es necesario realizar diversas actividades en la tierra. Todas estas actividades generan gases de efecto invernadero los cuales contribuyen negativamente en el cambio climático. Por tanto, existe la oportunidad de observar que actividades son las que generan mayor cantidad de gases, para poder controlarlas y disminuirlas si es posible con mejoras en las practicas agro-industriales.

### **1.3.3 ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

En el Valle del Cauca región de carácter industrial, gran parte de su territorio privado se concentra en la producción agrícola; principalmente de la caña de azúcar. Esta actividad económica genera mucha confianza entre los particulares debido a diversos factores (seguridad, facilidad, confianza en los ingenios). Dado que el manejo de la mayor parte de las tierras está bajo dominio de los ingenios las labores de cultivo hay que considerarlas como procesos agro-industriales. Debido a la gran cantidad de labores que puede haber dentro del manejo de la tierra para el cultivo de caña de azúcar hay que ser selectivos y nombrar las principales actividades, porque hay actividades que se dan en terrenos que no están adecuados para el cultivo o terrenos que por dificultad del terreno requieran de tratamientos especiales.

Gutierrez (1995) enlista una serie de procesos agro-industriales que se realizan en la siembra y producción de la caña de azúcar, por practicidad del proyecto solo se mencionan los principales procesos los cuales son:

- Siembra
  - Destrucción de cepas: la destrucción de la cepa se hace en el caso de renovaciones, luego de haber retirado toda la caña.

- Nivelación del terreno: se realiza luego de dar tiempo de pudrición de la cepa y se hace con el objetivo de dar una pendiente adecuada para la evacuación eficiente del agua.
- Subsuelo: el terreno luego de estar nivelado y limpio pasa por un subsuelo para des compactar y mejorar las condiciones físicas y de aireación.
- Cincelada: se realiza luego del subsuelo como proceso complementario con el objetivo de arar, roturar y des compactar.
- Pulido: se realiza esta labor para reducir los diámetros de los terrones en el suelo que han quedado del cincel. Es realizado para dejar la tierra en estado óptimo para la conformación de los surcos.
- Surcada: con el terreno en condiciones óptimas se surca con el objetivo de realzar las camas donde irán los trozos de caña durante la siembra y se realizan con la distancia entre surcos y la profundidad especificadas para la variedad o el terreno a trabajar.
- Acequias: se realizan con el objetivo de conducir el agua hasta todos los surcos y poder regar como también recibir el agua en exceso y no perjudique la planta.
- Siembra: se siembra la variedad determinada para la zona, y dependiendo del manejo y variedad se da a determinada distancia, esta labor va seguida por un riego.
- Encalle: retirar todo los elementos orgánicos que quedan como residuos en la cosecha y lograr el desarrollo normal de la planta; los residuos quedan en la mitad de los surcos.
- Subsulado: es un proceso que permite la aireación, mejora la infiltración del agua y reduce la compactación del suelo; por lo tanto permite un mejor enraizamiento de la planta a mayor profundidad.
- Cultivo: es un proceso con implementos cortos que se introducen en la tierra a poca profundidad para romper las capas duras del suelo, reducir la invasión de maleza y favorecer la infiltración de agua y aire a las raíces.

- Aporque: se utiliza como proceso en zonas de alta precipitaciones; ya que genera un desnivel en los surcos, para los momentos de mucha humedad y empozamiento. Evita que la planta sea cubierta y evite el recorte, además que en el riego y demás labores evita el daño en las sepas.
- Mantenimiento de acequias: se realiza luego del cultivo y es fundamental para que las aguas corran y no se presenten desperdicios, empacamientos o no lleguen hasta donde se necesitan; debido a daños en las mismas.
- Riego: cada 25 días dependiendo de la humedad del suelo.
- Resiembra: consiste en plantar nuevamente cepas o tallos en los sitios donde el material no germinó o las plantas se hallan perdido por labores o corte.
- Fertilización: actividad manual o mecanizada que emplea micro elementos, nutrientes u otros para ayudar al desarrollo de la planta, se puede fertilizar de varias maneras y depende del tipo de suelo o su manejo, por tanto, pueden haber más de una en todo el desarrollo del cultivo (Gutierrez, 1995).
- Precosecha: son labores previas a la cosecha como la aplicación de madurantes, determinar el tipo de caña y la suerte a cortar.
- Cosecha: la cosecha comprende con ciertas labores, dependiendo de la determinación de corte manual (con quema) o mecanizada; la cual concluye con el alce y transporte, que se realizan bajo las legislaciones que la ley indica.

Debido a la gran cantidad de procesos que se dan en el cultivo de caña de azúcar como se ha mencionado anteriormente sin hacer extensión de cada uno de estos, se debe de delimitar que actividades son las que deben de cuantificarse, ya que debido a diferentes limitantes que posee el proyecto no es viable llegar a ser tan detallado como se quisiera.

Por lo que el punto de enfoque será la revisión de los procesos de cosecha de forma manual (con quema) o de forma mecánica. Estas dos metodologías con

llevan a diferentes formas de realizar el corte, alce y transporte de la caña. Por ende las emisiones generadas por los procesos pueden variar. Además los dos procesos son muy diferentes y tienen tiempos de realización diferentes uno demora más que el otro, aparte de que cada tipo posee diversos riesgos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir en la mejora de los procesos agroindustriales de caña de azúcar en la haciendas Florinda y San Diego ubicada en el Valle del Cauca

### **2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO**

Evaluar la huella de carbono en los procesos agro-industriales de cosecha (corte, alce, y transporte) de caña de azúcar en una suerte de la hacienda Florinda y una de la hacienda San Diego ubicada en el Valle del Cauca.

### **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar y delimitar las labores del proceso de COSECHA de caña de azúcar.
- Cuantificar la huella de carbono en el proceso de cosecha de una hectárea de la hacienda La Florinda y una de la hacienda San Diego.
- Comparar las emisiones generadas por la cosecha mecanizada y manual en una hectárea de caña de azúcar de cada una de las dos haciendas, observando el impacto generado al medio ambiente.

## **3. MARCO DE REFERENCIA**

### **3.1 ANTECEDENTES**

La agricultura ha sido vista por diversos sectores como una fracción de la economía que está en atraso y subdesarrollo lo cual no es totalmente cierto. En la actualidad es un sector que a nivel industrial es importante porque no solo alimenta si no que produce diversos insumos primarios para productos

primordiales, uno de estos se puede denotar en la cogeneración de energía como un subproducto del aprovechamiento de la agricultura.

Pero para esto hay que indicar que es un conjunto de técnicas y conocimiento para el cultivo de la tierra. Se engloba en diversas actividades humanas para el tratamiento del suelo y posterior cultivo, por lo que este conjunto de actividades comúnmente se le llama el sector agrícola. Todas estas actividades tienen un fin económico y su fundamento es la explotación de los recursos que la tierra origina por medio de la ayuda del hombre.

Esta actividad agrícola es de gran importancia estratégica ya que es base de desarrollo autosuficiente y riqueza de un país (ideal). Algunas de las actividades agrícolas no solo están encaminadas en alimentos sino también en las industrias textiles, energéticas entre otros.

Para el proyecto es importante conocer que documentos existen sobre mitigar el impacto climático, que fundamentos, normas y metodologías de muestreo de la huella de carbono en la caña de azúcar, para esto, se tuvo en cuenta:

El Proyecto final de posgrado: “Compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la re quema de caña de azúcar; en el Valle del cauca” realizado por: Carlos Eduardo Madriñan Palomino. Especialista en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia (Palmira, 2002) es de gran ayuda ya que se desarrolla en el mismo sector industrial, detalla muy bien los distintos procesos de cosecha tanto manual como mecánica y presenta un panorama general sobre la calidad del aire y el impacto ambiental causado con el proceso cosecha. El objetivo del proyecto desarrollado por Madriñan (2002) es la recopilación de información existente en Colombia sobre la quema de la caña de azúcar, analizar el impacto ambiental que causa, facilitando el análisis de los resultados que esperamos encontrar en este proyecto. Del proyecto de Madriñan es importante resaltar la metodología de recolección de dato, usa metodologías cuantitativas con cajas de captura para partículas mayores, para partículas en



suspensión uso el método gravimétrico, el SO<sub>2</sub> con método colorimétrico y también usaron un medidor instantáneo (Ecolyser 2000) similar al usado en el proyecto actual (CO<sub>2</sub> METER Lutron GCH 2018). También metodología cualitativa con encuestas y entrevistas a médicos generales y gente del sector, que basándonos en esa investigación tomamos algunas ideas las cuales sirvieron para la recopilación de datos experimentales.

El artículo “Research Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil” realizado por (Barretto, Panosso†, Romão†, & La Scala Jr†, 2010) el cual entrega el rendimiento de caña de azúcar producida por hectárea 90.76 ton/ha, metodológicamente se evidencia que no solo consideran la emisión de Carbono sino que también tienen en cuenta el metano(CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso(N<sub>2</sub>O) directos e indirectos a la hora de la quema, además miden en los procesos de aplicación de cal y por último registran las emisiones de combustión de equipos móviles que es lo que en el proyecto actual también se hizo en los equipos que usan combustible diésel focalizado en la cosecha.

En el momento de realizar los cálculos se tomó como referencia la metodología de las directrices de la IPCC 2006, y los “Factores de emisión de los combustibles Colombianos” de (ACCEFYN, 2003) los cuales contenían la información de los gases de efecto invernadero y de los combustibles usados en productos agrícolas, se extrajo los poderes caloríficos, el volumen de gas quemado, los factores de emisión y las características del combustible en estudio.

Para desarrollar las conclusiones y recomendaciones se tuvo en cuenta las normas voluntarias internacionales ISO 14064 e ISO 14067; la primera tiene como objeto verificar los informes de emisiones de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo con la creación de esquemas obligatorios relativos al seguimiento, notificación y verificación de Gases de Efecto Invernadero. La segunda norma se basa en gran medida en las normas ISO existentes para el análisis del ciclo de vida (ISO 14040/44) y declaraciones ambientales. También se usó como

referencia el proyecto “CaliDA Carbono Neutro 2012–2015” propuesto por la alcaldía de Cali en conjunto con el Dagma, que busca medir, reducir y compensar la huella de carbono generada por la dinámica de la ciudad. Las anteriores normas y proyectos generan y ayudan a transmitir que las organizaciones las cuales estén vinculadas y procedan con estas tendrán una mayor credibilidad, confianza demostrando compromiso en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

## **3.2 MARCO TEORICO**

### **3.2.1 EFECTO INVERNADERO**

Este es un fenómeno en el cual se presenta un sobrecalentamiento del planeta tierra, dado que algunos gases quedan retenidos en la atmosfera dejando pasar la luz pero sin dejar salir el calor. Se llama “efecto invernadero” por su similitud con un invernadero que retiene el calor y la humedad dentro de este con vidrios de cristal.

La luz solar da en la superficie terrestre donde ésta es absorbida, luego esta energía vuelve a la atmosfera en forma de calor. Los gases de efecto invernadero retienen gran parte de este calor, generando cada vez más altas temperaturas mundiales, y entre más gases existan en la atmosfera, mayor será el calor retenido.

Los niveles de los gases de efecto invernadero han presentado una fluctuación durante toda la historia, pero se han mantenido constantes y en alza en esta última época. Esto se debe a múltiples actividades humanas como la combustión de combustibles fósiles, el mal manejo de desechos y de más emisiones generadas por el hombre.

La tendencia de los científicos es referirse al calentamiento global como “cambio climático”, la razón es que a medida que la temperatura del planeta aumenta, los vientos, las mareas, y las corrientes oceánicas distribuyen el calor por todo el

globo, de modo que esto calienta algunas partes y otras las enfría, esto genera cambios de clima en diferentes áreas del mundo. (Nicklen, 2013)

### **3.2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO**

Por "gases de efecto invernadero" se entiende que son los componentes gaseosos dentro de toda la atmosfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y después emiten radiación infrarroja de nuevo a la atmosfera. (Unidas, 1992)

Los siguientes son los gases de efecto invernadero presentados en las *Directrices para inventarios nacionales de gases efecto invernadero de 2006*

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hidrofluorocarbonos(HFC)
- Perfluorocarbonos(PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)
- Trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>)
- Trifluorometil pentafluoruro de azufre (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>)
- Éteres halogenados (p ej., C<sub>4</sub>FOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OCHF<sub>2</sub>)

Los gases mencionados anteriormente tienen potencial de calentamiento atmosférico identificados por el *Intergubernamental Panel on Climate Change* (IPCC), de los cuales el proyecto se centrara en el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> ya que este es el principal contaminante que aporta a la huella de carbono.

#### **Otros gases:**

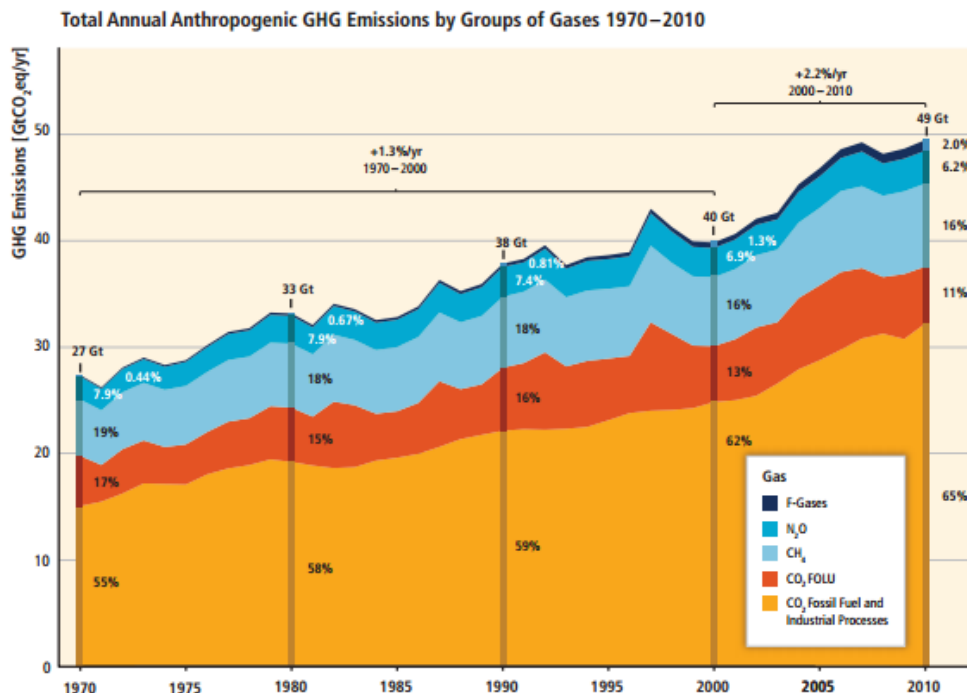
Así mismo, las *directrices del IPCC 2006* proporcionan información para declarar los siguientes precursores: óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), amoniaco (NH<sub>3</sub>), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), monóxido de

carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) aunque aquí no se presentan los métodos para estimar las emisiones de estos gases.

### **3.2.3 EMISIONES Y ABSORCIONES ANTROPOGENICAS**

Este concepto quiere decir que las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero de los inventarios nacionales son el resultado de actividades humanas. La diferencia entre emisiones y absorciones naturales con las antropogénicas son directamente los datos utilizados para cuantificar la actividad humana. En el sector de la agricultura, las emisiones y absorciones en tierra gestionada se toman como representación de las antropogénicas.

El aumento de estas emisiones se ha ido incrementando directamente proporcional al crecimiento exponencial de la población. Así mismo, las emisiones al ir aumentando contribuyen de manera negativa en el cambio climático. Como se puede observar, en la Ilustración 1 la tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero es ascendente, lo cual es muy preocupante para toda la población mundial ya que el ser humano al estar en un sistema donde lo más importante es la productividad y las utilidades, nunca se había percatado de que esas actividades productivas influían en el cambio climático. La ilustración 3 nos permite ver con claridad como las emisiones de gases de efecto invernadero como Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) han tenido un aumento sustancial en las últimas 4 décadas, y es altamente probable que la tendencia continúe.



**Ilustración 1 Total anual de emisiones antropogénicas de gases de efectos invernadero (1970-2010)**

*Fuente: Cambio Climático 2013 Bases físicas, Resumen para responsables de políticas*

### 3.2.4 SECTORES Y CATEGORÍAS

Las estimaciones de absorciones y emisiones de gases de efecto invernadero se dividen en los siguientes sectores y categorías que están relacionados con el cambio climático ejerciendo un impacto ya sea positivo o negativo en dicho fenómeno, estos son los procesos, fuentes y sumideros relacionados:

- Energía
- Procesos industriales y uso de productos
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
- Desechos
- Otros (emisiones indirectas)

Cada sector comprende categorías individuales y subcategorías. Este proyecto se enfoca en el sector de la agricultura, en los procesos agroindustriales del cultivo y producción de caña de azúcar en el sur occidente Colombiano, específicamente en las haciendas Florinda y San Diego, ubicadas en el Valle del Cauca.

### **3.2.5 FACTOR DE EMISIÓN**

Es un coeficiente que relaciona los datos de actividad (cosecha de caña de azúcar) con la cantidad del compuesto químico que constituye la fuente de las emisiones. Los factores de emisión se basan a menudo en una muestra de datos sobre mediciones, calculados como promedio para determinar una tasa representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto dado de condiciones de funcionamiento (Rypdal, 2006) (Directrices del IPCC, versión revisada en 1996 [9]\*).

Siguiendo las técnicas que sugiere el IPCC y los Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos de la Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales (ACCEFYN) se implementaron para estimar las emisiones producidas por varias fuentes de combustión se deben utilizar los factores de emisión, los cuales son herramientas que permiten precisar la cantidad de emisiones de un contaminante en especial, generado por alguna fuente. Se pueden ver en la ilustración 20.

### **3.2.6 CAÑA DE AZÚCAR**

*Saccharum officinarum* L, o caña de azúcar es el nombre común de esta especie de herbácea, de tallo leñoso de un género (*Saccharum*) de la familia de las gramíneas (*Gramineae*). La caña de azúcar se cultiva mucho en países tropicales y subtropicales de todo el mundo por el azúcar que contiene en los tallos, formados por numerosos nudos. Es un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz. La caña alcanza entre 3 y 6 m de altura y entre 2 y 5 cm de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en

el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis con hojas que llegan a alcanzar de dos a cuatro metros de longitud. (Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentacion, 2014, pág. 1)

La caña de azúcar se cultiva principalmente para la producción de azúcar, pero no es su único uso. También se convierte en materia prima para la fabricación de papel, cemento, abonos y alimento animal. Los jugos que se obtienen en el proceso de producción pueden emplearse en la producción de alcohol, lo que permite disponer de un combustible líquido de forma renovable.



**Ilustración 2 Caña de Azúcar**

*Fuente: Caña de azúcar, sector azucarero; Asocaña*

### **3.2.7 CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA (SECTOR AZUCARERO)**

Siendo Colombia uno de los principales productores y uno de los productores con mejores indicadores del sector debido a la posibilidad de tener cosecha durante todo el año; aunque ciertos meses del año se reduzca la productividad; Colombia logra sustentar la primera posición mundial en cuanto a rendimiento en tonelada en TCH (toneladas de caña por hectárea) estos rendimientos oscilan entre 120 y 130 TCH. (Madriñan, 2002, pág. 22)

El sector azucarero en Colombia está ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. En esa región hay 223.905 hectáreas sembradas en caña de azúcar, de las cuales, el 24% corresponde a tierras propias de los ingenios y el restante 76% a más de 2.000 cultivadores de caña. Dichos cultivadores abastecen a los 13 ingenios de la región (Cabaña, Carmelita, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Risaralda, Sancarlos, Tumaco, Ríopaila-Castilla, Incauca y Providencia). En el 2005, cinco de los trece ingenios empiezan a destilar caña para la producción de alcohol carburante (Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda).

Gracias al clima privilegiado de la región se puede sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año. Las condiciones agroclimáticas, junto al avance tecnológico impulsado por el Centro de Investigación de la Caña (Cenicaña), que funciona con el aporte de todos los cultivadores e ingenios, ha llevado a que la región se especialice en el cultivo y ostente el liderazgo en productividad a nivel mundial: más de 14 toneladas de azúcar por hectárea al año.

El consumo nacional de azúcar en Colombia fue de 1,6 millones de tmvc, destinado en un 52% al consumo directo en los hogares y un 48% a la fabricación de productos alimenticios, bebidas para consumo y otros productos industriales. (Sector Azucarero Colombiano, Asocaña, 2012)

### **3.2.8 IMPACTO SOCIOECONÓMICO**

La industria azucarera en Colombia, más específicamente en el suroccidente (Valle del Cauca) ha tomado un impulso importante frente a otros sectores industriales ya que la población al ir creciendo es necesario el consumo de endulzantes como la panela y la azúcar. También la industria está diversificando de manera que ya se hace papel y otros productos a base del bagazo de caña, pero la más importante en el momento para los ingenios es la producción de alcoholes carburantes para combinar con combustible, que está en auge y en términos económicos para los ingenios es muy favorable.



Las conclusiones principales del estudio sobre el Impacto socioeconómico del sector azucarero colombiano presentado por Fedesarrollo (Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo), revelan que por cada empleo generado por los ingenios azucareros en sus plantas de producción, se generan 28,4 empleos adicionales en diferentes sectores de la economía; en total debido a la actividad fabril de los ingenios, se generan 265 mil empleos a través de toda la cadena de valor.

En los municipios, veredas y pueblos cañicultores, es visible que la calidad de vida ha sido impulsada por el sector en relación a otras poblaciones o asentamientos los cuales no se han visto influenciados por el sector.

Las necesidades básicas están compensadas en su mayor parte, pese a que la inversión pública es baja, Una mejor calidad de vida se ve reflejada en una mayor tasa de escolaridad y una menor tasa de mortalidad. Las necesidades básicas insatisfechas de la población en los sectores cañicultores están por debajo de la media nacional.

Respecto al Producto Interno Bruto (PIB), por cada peso que los ingenios aportan, se genera en la economía un efecto 4 veces mayor, lo que indica que los ingenios son dinamizadores importantes de la economía colombiana. Así mismo, los ingenios son grandes generadores de recursos para la financiación de inversión pública.

Por lo que la presencia de los ingenios, hace que los municipios del área de influencia tengan mejores ingresos, sean más prósperos y que haya mejor calidad de vida para sus habitantes.

El sector azucarero, en los últimos años, ha invertido más de 488 millones de dólares en el área ambiental lo cual se refleja en menores niveles de contaminación por unidad de producción al año. (Sector Azucarero Colombiano, Asocaña, 2012, pág. 1)

De lo anterior, es importante resaltar que el sector azucarero se está desarrollando de forma favorable ya que tiene un auge impresionante en la zona del valle, también la cantidad y la calidad de empleos bien remunerados que genera es

superior a otros sectores productivos agrícolas; mejorando la calidad de vida de la gente y generando una alta dinámica económica. Igualmente los ingenios invierten fuertemente en tecnología no solo para mayores utilidades y mejoramiento continuo sino también en prácticas sostenibles y amigables al medio ambiente ya que este es su principal materia prima.

#### **4. METODOLOGIA**

##### **4.1 GESTION DEL PROYECTO DE INVESTIGACION**

###### **4.1.1 RECURSOS HUMANOS**

Los recursos humanos se limitaran a las dos personas del equipo, la ayuda del tutor para el análisis de datos obtenidos y orden de estos mismos. Aparte se tendrá como recurso externo personal del ingenio quienes se hacen cargo de la administración de la hacienda y por ende tienen el gran parte de los datos que se requerirán.

###### **4.1.2 RECURSOS ECONÓMICOS**

En el momento no es necesario gastos significativos, debido a la metodología y alcance del proyecto. Debido a que es un plan piloto para luego pensar en algo de mayor escala, los gastos corresponderían a los desplazamientos de Cali al corregimiento de Rozo y luego a la finca además su respectivo regreso; para lograr realizar un reconocimiento de la suerte 4 de la hacienda, que será sujeta al estudio. Además de esta visita habrá otras donde se realizaran alguna toma de mediciones de gases para su posterior análisis.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO
Visita 1	Visita a la suerte No 4 y reunión con el administrador de la finca para preguntas varias	Peaje: \$6.900 Combustible; \$ 20.000 Costo total: \$26.900

Visita 2	Visita a la suerte No 4 con joven investigadora para conocer el terreno.	Peaje: \$43.500 Combustible; \$ 50.000 Costo total: \$93.500
Visita 3	Mediciones a los procesos que se haya determinado	Peaje: \$43.500 Combustible; \$ 50.000 Costo total: \$93.500
Visita 4	Mediciones de otros procesos que se requieran o reunión con el administrador para datos que se requieran.	Peaje: \$6.900 Combustible; \$ 20.000 Costo total: \$26.900
Presupuesto	El valor de todas las visitas pensadas para el desarrollo del estudio.	Costo = \$240.800

**Tabla 1 Recursos Económicos**

#### **4.1.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS**

Debido al tipo de proyecto a desarrollar los recursos tecnológicos requeridos serán suministrados por el departamento de investigación de la facultad de ingeniería de la universidad. Estos instrumentos son para la toma de datos en diferentes momentos donde se esté realizando procesos agroindustriales (labores) en la suerte, riegos u otros donde se vea la necesidad de tener datos.

#### **4.1.4 EQUIPO**

- Julián Rincón, Estudiante de Octavo Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi.
- Carlos Alfredo Ríos, Estudiante de Octavo Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad de Icesi.

#### 4.1.5 MATRIZ DEL MARCO LOGICO

OBJETIVO	ENUNCIADO	INDICADOR/ MEDIDOR	COMPROBACION
Objetivo General	Contribuir en la mejora de los procesos agroindustriales de caña de azúcar en la haciendas Florinda y San Diego ubicada en el Valle del Cauca		
Objetivo del Proyecto	Evaluar la huella de carbono en los procesos agroindustriales de cosecha (corte, alce, y transporte) en la producción de caña de azúcar en una suerte de la hacienda Florinda y una en la hacienda San Diego ubicada en el Valle del Cauca.	Proceso evaluado/total procesos a evaluar. Completar el cálculo de huella de carbono en cada una de las etapas mencionadas.	Aprobación de los objetivos.

Objetivo Especifico 1	Identificar y delimitar cada proceso de cosecha de caña de azúcar.	Información relevante a los procesos de cosecha mecanizada y manual en sector azucarero. Diagramas de cada proceso >= 1.	Hojas de vida y el formato de obtención de los datos de procaña.
Actividad 1. Objetivo Especifico 1	Solicitar la hoja de vida de las suerte	Obtención de esta por el encargado (actualizada a la fecha)	Presentar hoja de vida de las suertes.
Actividad 2. Objetivo específico 1	Diagrama de procesos de las cosechas	Si/no.	Realización de los diagramas.
Objetivo específico 2	Cuantificar la huella de carbono en el proceso de cosecha de una hectárea de la suerte de la hacienda La Florinda y una de la hacienda San Diego.	Estimar un valor relevante y útil de huella de carbono.	Documento de investigación
Actividad 1. Objetivo específico 2	Toma de datos en las haciendas	Si/no	Visita presencial que se comprueba por medio de las

			actas de visita.
Objetivo específico 3	Comparar las emisiones generadas por la cosecha mecanizada y manual en una hectárea de caña de azúcar de cada una de las dos haciendas, observando el impacto generado al medio ambiente.	Emisiones calculadas/emisiones calculadas necesarias para comparar. Compara el porcentaje de impacto.	Análisis de datos que se presentara en el documento en el capítulo 5.
Actividad 1. Objetivo específico 3	Análisis de los datos comparar las formas de cosecha	Datos obtenidos- /datos requeridos para el análisis	Base de datos y resumen de estos
Actividad 2. Objetivo específico 3	Consultar sobre cosecha en los ingenios apreciaciones e impactos generados.	Se obtuvo información: Si/no	Informe de reunión. Datos obtenidos.
Actividad 3. Objetivo específico 3	Conclusiones obtenidos tras la investigación	Se desarrollaron: Si/no	Análisis y resumen de la huella

**Tabla 2 matriz de marco lógico**

#### 4.1.6 ETAPAS DEL TRABAJO

N°	ETAPAS DEL PROYECTO	ACTIVIDADES CRITICAS	METODOLOGÍA ESPECIFICAS
1	Determinar el problema puntual a trabajar en el proyecto	Reunión con el tutor y la joven investigadora, y estudio de los temas que se desarrollan.	Reunión, y lectura de bibliografía propuestos.
2	Delimitar el proyecto y alcances de este mismo	Análisis de la posibilidad de acción y alcances dentro del tiempo que se tiene.	Reunión con joven investigadora y determinar lo que se puede realizar.
3	Crear el marco de referencia	Antecedentes, marco teórico, glosario.	Consulta y análisis de la bibliografía y documentación disponible.
4	Obtener información de los procesos agro.- industriales	Información de los procesos agro-industriales ejecutados.	Reunión con el administrador de la finca y consulta de la metodología.
5	Depurar información teórica y determinar que metodología utilizar	Análisis de marco teórico y procesos que se pueden implementar.	Toma de decisión de que metodología implementar.
6	Tomar datos en la finca	Visita a la suerte de la hacienda, revisar planos, tamaños y demás.	Visita a la suerte con los instrumentos de medición.
7	Evaluar los resultados y generar críticas constructivas sobre los procesos.	Comparar datos obtenidos y lo encontrado a nivel internacional (si lo hay)	Diagramación de datos obtenidos y análisis de resultados.

**Tabla 3 Etapas del trabajo**

## **4.2 METODOLOGIA DE ANALISIS**

### **4.2.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

#### **Alcances de medición y Calculo:**

Se delimito el sistema a evaluar que fue el proceso de cosecha, se precisó la recolección de datos identificando los equipos de las actividades emisoras de gases de efecto invernadero en la cosecha. Para cálculos de emisiones de CO<sub>2</sub> en la cosecha manual se seleccionaron los buses, la alzadora y el tractor. Y para cálculos de emisiones de CO<sub>2</sub> en la cosecha mecanizada se seleccionaron los tractores de alce y de adecuación y la cosechadora.

#### **Métodos de recopilación de datos:**

El proyecto cuenta con dos fuentes de recopilación de datos, la primera es el muestreo de emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas en el campo el cual se hará en las haciendas, y la segunda fuente es la del cálculo de huella de carbono de manera teórica.

En la recolección de datos se extrajeron los tiempos de operación y en resumen los consumos para la maquinaria utilizada en los dos tipos de cosecha, los cuales realizan la labor en una hectárea de caña de azúcar, se determinó que maquinaria estaba involucrada directamente en el corte, alce y transporte de la caña. A partir de esto se hizo una depuración con lo que se observó en los días que se realizó las mediciones y así obtener en realidad que maquinaria fuera la que se tendría en cuenta.

#### **Calculo:**

Calculo para emisiones producidas por combustibles (Diésel) en las actividades específicas emisoras.

Ya sabiendo que maquinaria se utilizaría se realizó un supuesto de cuanto produce una hectárea de caña de azúcar para cosecha y poder tener un punto de



comparación entre los dos tipos de cosecha. Se investigó cuáles eran los consumos de diesel de cada máquina, por consiguiente los rendimientos en campo, usando tiempos y recorridos de la maquinaria. Los documentos consultados fueron de asocaña, procaña, los fabricantes de la maquinaria para poder depurar la información con la que se trabajó.

#### **4.2.1 METODOLOGIA PARA MEDICIÓN DE CO<sub>2</sub> EN EL PROCESO DE COSECHA DE CAÑA EN UNA HECTÁREA DE CADA HACIENDA.**

En esta fase del proyecto se hizo el levantamiento de datos, por medio de mediciones de CO<sub>2</sub> en las haciendas de cultivo de caña de azúcar. Las mediciones se hicieron con del dispositivo (CO<sub>2</sub> METER Lutron GCH 2018) que por medio de una sonda, mide la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire y la temperatura, este medidor toma datos cada 6 segundos. Para hacer los muestreos primero se definió qué se medirá, cosecha mecanizada y cosecha manual antes y después de la quema de caña. Con lo anterior definido se hizo la visita a las haciendas. Para los procesos de cosecha manual antes y después de quema se ubica un punto donde se van a registrar los datos y de ahí se toman unos datos de referencia por 20 minutos. En la cosecha mecánica se hace un protocolo de muestreo diseñado para contemplar la distancia, la temperatura, concentración de CO<sub>2</sub> y la velocidad del viento. (Ver protocolo de visita Anexo1)

Dichas mediciones se hicieron en la hacienda en el momento de la cosecha de caña de azúcar específicamente en el corte y alce, en una hectárea de las haciendas para de esta forma tener una referencia base de la cantidad de CO<sub>2</sub>/hectárea y así poder estandarizar de tal manera que se logre reproducir el método en toda la extensión de cada hacienda.

Durante la realización del proyecto esta metodología se vio limitada por precipitaciones ya que los tiempos de cosecha se fueron retrasando. Las precipitaciones restringen los procesos de cosecha ya que en el momento de la cosecha mecánica y manual la superficie del suelo está saturada imposibilitando el

ingreso de la maquinaria para preparar el zanjón, tampoco el frente de corte y la alzadora. Así mismo las lluvias impiden la quema de caña. Dado este escenario se planteó el cálculo teórico de la huella de carbono.

#### **4.2.2 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO PRODUCIDA POR LA COSECHA DE CAÑA DE LAS HACIENDAS.**

Esta metodología de levantamiento de datos es muy valiosa para el proyecto, debido que esta presenta unas referencias teóricas en las que se puede basar en el momento de analizar, clasificar, compara y concluir. El proyecto plantea las formas de calcular la huella de carbono de forma teórica, presentando las ecuaciones y la recopilación de datos con los cuales se trabajaran dichas ecuaciones, obteniendo un dato real pero teórico.

##### **Método de estimación**

El abordaje metodológico simple más común consiste en combinar la información sobre impacto generado por la actividad humana (denominado *datos de la actividad* o *AD*, del inglés *activity data*) con los valores que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria. Se los denomina *factores de emisión* (*EF*, del inglés, *emisión factors*). Por consiguiente, la ecuación básica es: (Rypdal, 2006)

$$*Emisiones = AD * EF*$$

##### **Método de estimación de gases de efecto invernadero a causa del fuego**

Debido a que se requiere estimar el efecto producido por la quema en la cosecha manual, cuando se realiza la quema de la caña para facilitar el corte por los corteros, utilizamos una metodología genérica para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero individuales para cualquier de los tipos de fuego. Por lo que además de esto se utilizan los factores específicos para la quema de la caña. Por lo que en fin la ecuación general es:

$$L_{\text{fuego}} = A * MB * Cf * Gef * 10^{-3}$$

*L<sub>Fuego</sub>* = cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocados por el fuego, ocasionada por cada gas analizado (CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

*A* = Superficie quemada en hectáreas

*MB* = Masa de combustible disponible para la combustión.

*C<sub>f</sub>* = Factor de combustión

*G<sub>ef</sub>* = Factor de emisión de biomasa quemada por cada gas analizado

*Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*

## 5. RESULTADOS

### 5.1 PROCESOS DE COSECHA - CORTE, ALZA Y TRANSPORTE

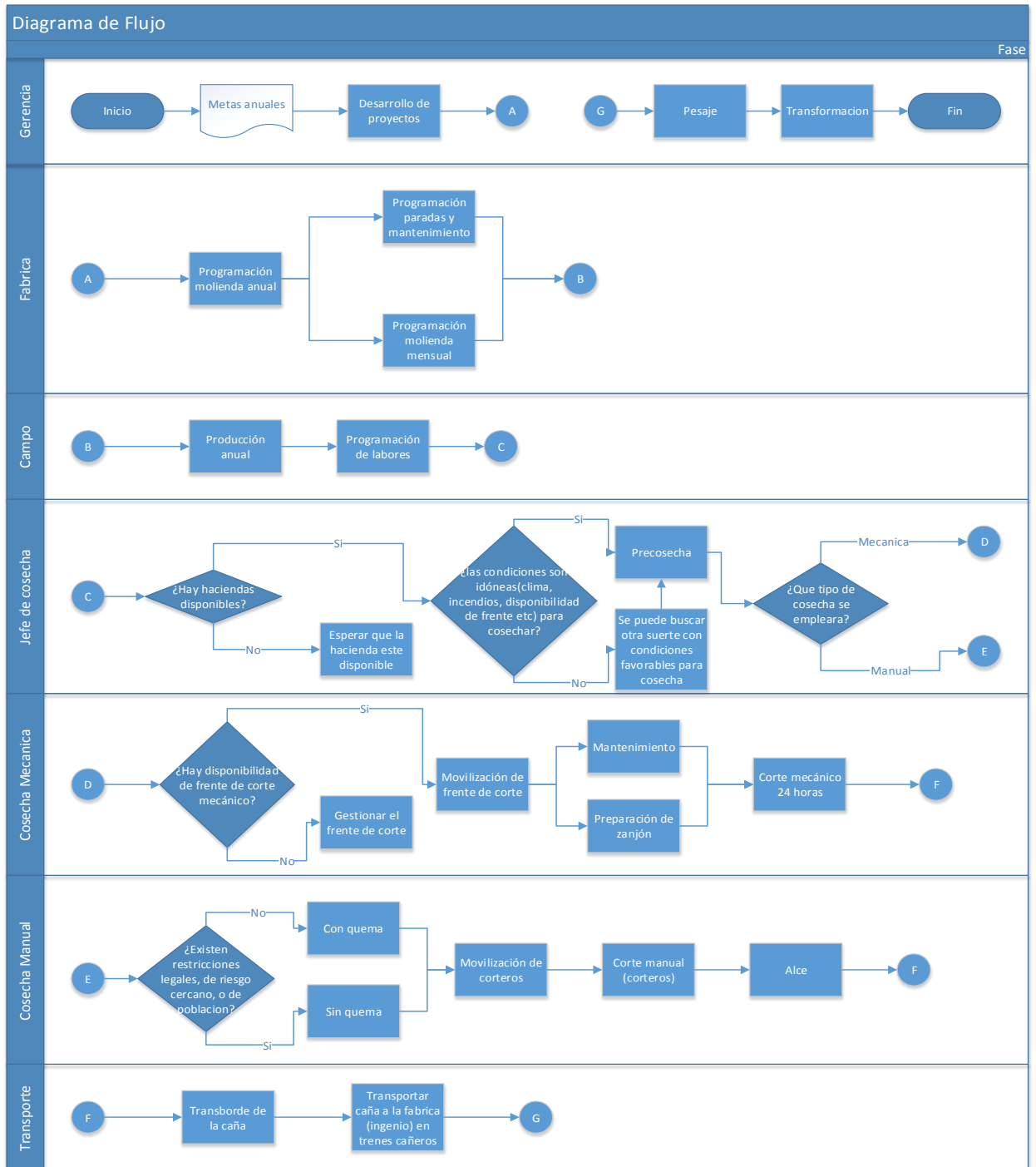
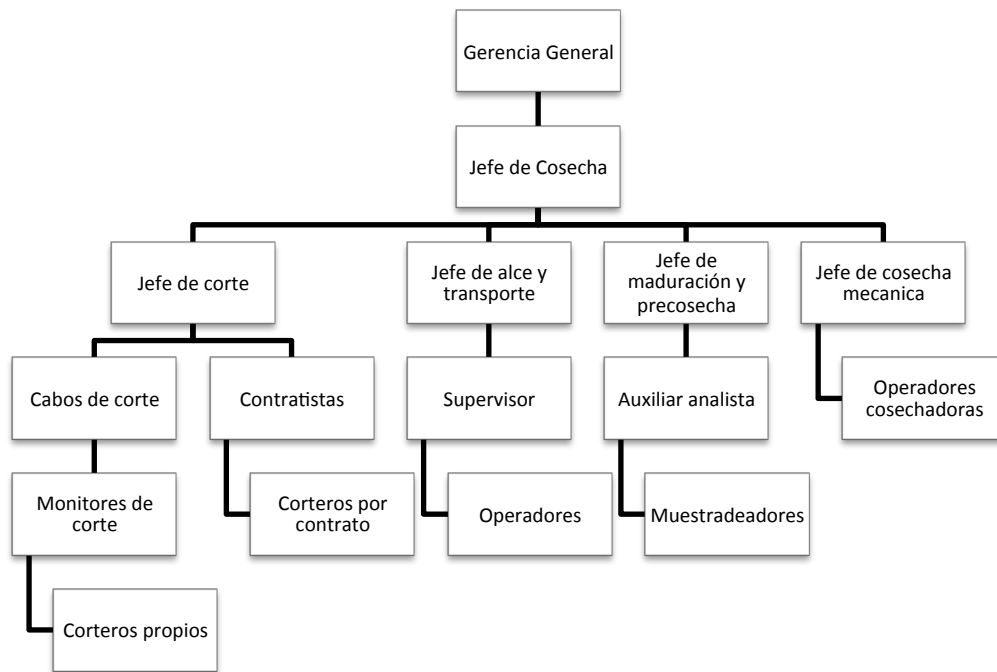


Ilustración 3 Diagrama de Procesos en la cosecha de caña de azúcar.

En la ilustración 3 se presenta el diagrama de procesos detallado de manera secuencial describiendo las actividades más relevantes de la cosecha de caña de azúcar, las cuales serán explicadas más adelante.

El proceso de cosecha tiene como principal misión el suministro oportuno de caña a el mejor costo, el momento indicado y con los estándares especificados por fabrica para poder llevar a cabo la transformación en esta. El departamento de cosecha se encarga de cumplir con los estándares requeridos por la fábrica. Para poder cumplir con estos requerimientos el departamento debe de pasar por una secuencia de procesos los cuales se inician con la maduración y determinación del tipo de corte; aquí dependiendo del escogido se derivan procesos internos, y culmina con el transporte hasta la fábrica. Los procesos realizados antes de elegir el tipo de cosecha también pueden ser denominados como pre cosecha. (Madriñan, 2002)

En su mayoría los procesos de corte alza y transporte están coordinados por los departamentos de cosecha de los ingenios o de unos pocos particulares. Aunque estas labores no las realicen los ingenios las decisiones de corte si están encargados de estos departamentos ya que estos buscan el consenso entre fábrica y área de producción agrícola. Estos departamentos son responsables del suministro adecuado de caña a la fábrica. (Madriñan, 2002, pág. 23)



**Ilustración 4 Organigrama de un Departamento de Cosecha en un Ingenio azucarero**

Fuente: (Giraldo, 1995)

El trabajo se enfoca en el proceso de cosecha, corte y alza. A continuación se describe el paso a paso de actividades y requerimientos para realizar una cosecha teniendo en cuenta consideraciones que se tienen para cortar la caña de azúcar. Por lo que uno de los primeros procesos para poder considerar el corete de la caña es la **pre cosecha** que influye la maduración anticipada de esta misma la cual se realiza generalmente con una aplicación aérea de un producto químico, el cual estimula el aumento de la concentración de sacarosa; estos productos varían entre uno y otro ingenio, la clase de caña que se fuese a madurar teniendo en cuenta las áreas alrededor, ya que se debe tener en cuenta población vecina y otras plantaciones. La aplicación de este sucede alrededor de 6 semanas previas al corte donde se considera que pasado este tiempo llega al máximo contenido de sacarosa. (Madriñan, 2002)

El siguiente paso o proceso a seguir es determinar la idoneidad del terreno para que el frente de cosecha sea dirigido a la hacienda o suerte la cual cumpla con todas las especificaciones entre las cuales están: tiempo óptimo de madurez, se encuentre en el itinerario, las condiciones de suelo sean óptimos; con estas y otras consideraciones se determina si se puede entrar a cortar. Luego se determina el tipo de cosecha será realizado, aquí hay que tener en cuenta que no todos los ingenios poseen la misma capacidad ni los tierras con las adecuaciones para una u otra forma de cosecha; se tiene en cuenta esto para proceder a determinar si se realiza una cosecha manual o una mecanizada. (Lucas Lizandro Diaz Montejo, 2002, pág. 110)

La **cosecha manual** puede realizarse de dos métodos: una realizando quema o con cosecha manual en verde; la primera se realiza una quema de la suerte elegida, con diferentes finalidades como evitar heridas a los corteros, mejorar la sanidad de la planta, reducir desechos, elimina demás plagas entre otras. Luego de la quema y cuando la plantación se encuentre a temperaturas ambiente, llegan los corteros quienes utilizan dos pases para cortar. Uno desde la base de la caña y un segundo para retirar el cogollo o partes las cuales no presentan valor para la fábrica; posteriormente el tallo es colocado en montones alineados para el siguiente paso el cual es el alza. La segunda opción manual es la llamada cosecha en verde la cual presenta una mayor dificultad y reduce el rendimiento de los corteros aunque estos son recompensados por este tipo de corte con mayor sueldos cuando lo realizan, este corte principalmente consiste en tres pases los dos antes mencionados y uno extra con el cual se quita algo de hojas y se arruma en montones para su posterior alza. (Lucas Lizandro Diaz Montejo, 2002, pág. 113)

La **cosecha mecánica** al igual que la manual puede realizarse de dos maneras con quema de la plantación previa al proceso o no. Dependiendo de si es quemada o no, los rendimientos del corte varían. Solo sucede cosecha mecanizada con quema cuando ha habido quemas intencionales por terceros o

accidentales se puede proceder a realizar corte con cosechadoras o de manera manual lo cual es más usual. Las cosechadoras son las herramientas utilizadas para poder determinar que es una cosecha mecánica; una cosechadora puede llegar a pesar 50 toneladas y dependiendo de factores logran cosechar aproximadamente 40 toneladas por hora. Para poder realizar este tipo de cosecha el terreno debe de contar con ciertas especificaciones en el momento de siembra; la preparación se encarga de realizarlo. Esta metodología de cosecha posee amplias ventajas como la reducción de mano de obra ya que pueden cosechar las 24 horas. (Lucas Lizandro Diaz Montejo, 2002)

El proceso de alce es el responsable de cargar los vagones de los equipos de transporte; aunque este proceso generalmente lo relacionamos a maquinas alzadoras las cuales mayormente pueden ser cuellos de botella en los procesos debido a que no se cuenta con muchas de estas, debido a que su costo son altos y se utilizan solo un tiempo moderado en todo el proceso. Este no es el único método actualmente la cosecha mecánica cuenta con una adaptación en la cosechadora la cual carga directamente los vagones de auto volteo que actualmente se usan en el campo para evitar alta compactación de este. Estos vagones de auto volteo son más livianos que los de transporte y son utilizados con las alzadoras o la cosechadora, estos vagones luego depositan la caña en los vagones de transporte. (Madriñan, 2002)

Por último parte de este proceso de corte se encuentra el sistema de transporte de caña que como en todos los procesos de este cultivo puede tener variaciones y debe de regirse a la legislación nacional. Sobre todo en los procesos de transporte debido a que si se utilizan vías públicas deben de tener ciertas restricciones de tamaños y pesos los cuales pueden transportar. Usualmente en vías privadas o internas de uso de los ingenios se ven cargas sobredimensionadas o tracto mulas transportando hasta 7 vagones hacia la fábrica lo cual en vías públicas solo llegamos a ver máximo 5 vagones los cual es poco común.



Finalmente para encerrar este ciclo podemos en global al personal y los recursos del alce corte y transporte en equipos funcionales que se denominan frentes de cosecha, debido a que su labor siempre va en caminata hacia un mismo objetivo y unos dependen de otros; según las dimensiones de un ingenio pueden manejar entre 2 y 7 frentes de cosecha. (Madriñan, 2002)

### 5.1.1 COSECHA MECANICA

La cosecha mecanizada presenta diferentes situaciones en el ambiente Colombiano y sobretodo el área del Valle del Cauca este tipo de cosecha se conoce desde la década de 1980; donde llegaron las primeras máquinas para la cosecha de caña de azúcar, estas primeras máquinas se les llamaba de tipo soldado, debido a que no eran maquinas integrales y solo se dedicaban a cortar la caña y dejarla en el suelo no como las que actualmente se utilizan que son integrales y realizan también la labor de alce. (tec\_no26\_2010)

A partir de esta época la mecanización tuvo su auge y paulatinamente ha venido aumentando la cosecha mecánica, la cual ha llegado a un grado de tecnificación donde las cosechadoras actuales denominadas integrales logran varias labores a la vez; pueden realizar el corte, picado de los tallos, limpieza de la caña (retiro de materia extraña) y cargue o el denominado alce de la caña. Todo esto teniendo en cuenta que la caña no ha sido quemada.

La cosechadora empleada en durante el muestreo fue la producida por John Deere, su descripción general se ve reflejada en el siguiente cuadro:

Modelos	John deere 3510 y 3520
Peso	17,5 – 18 toneladas
Potencia del motor	330 – 375 HP
Desplazamiento	Hidráulicos y sobre orugas metálicas de 18”

Consumo de combustible	9-11 galones de diesel por hora
Numero de cuchillas	10 cortadores de base 24 del descogollador 4 trozadoras
Ancho de trabajo	1 surco
Velocidad de trabajo	2-3 km/hora
Longitud de los trozos de caña	25 – 30 cm

**Tabla 4 Características de las maquinas actualmente utilizadas en la industria**

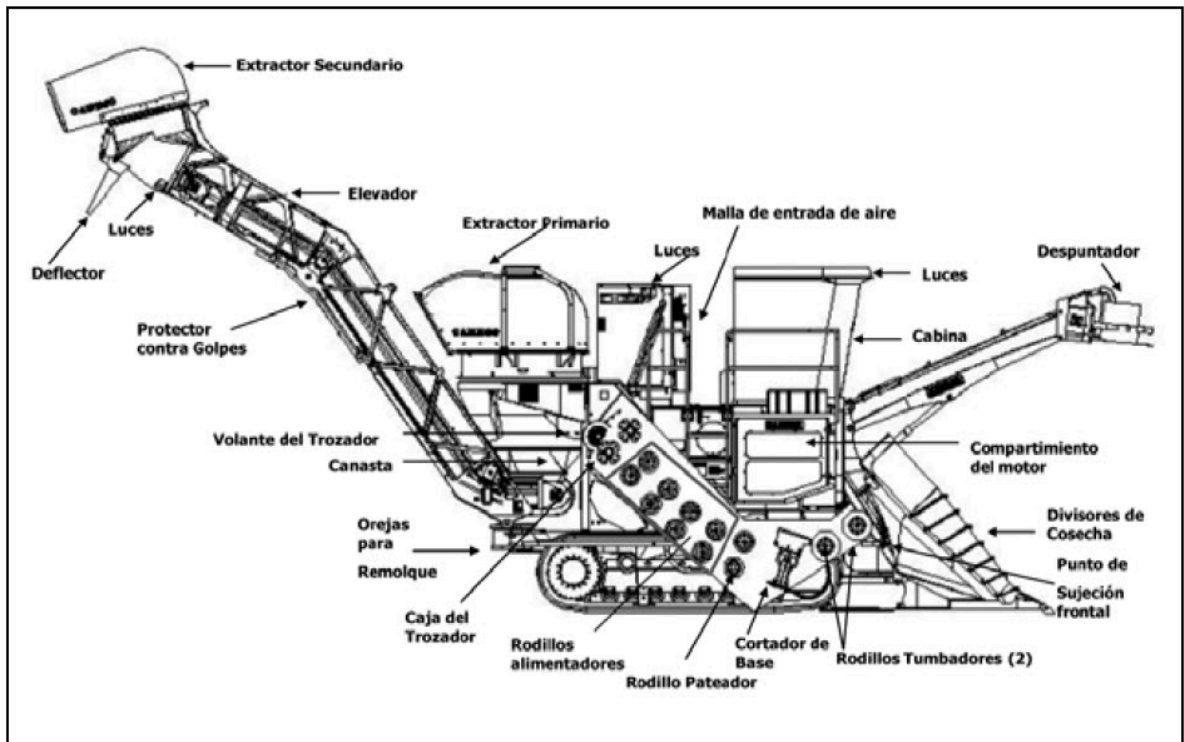
(Galvis, Sistema de cosecha mecanica en Colombia, 1990)

El corte mecánico involucra cosechadoras integrales las cuales poseen ciertas partes a las cuales se debe mencionar para lograr conocer como esta realiza su labor y el porqué de la importancia de su mantenimiento. En el diagrama se podrá corroborar los nombres y demás partes más específicos. Los principales partes de la cosechadora son:

- El sistema de descogollado: está ubicado en la parte frontal superior de la máquina, se compone por unos rodillos que giran en sentidos opuestos, además estos poseen unas cuchillas para eliminar el tallo inmaduro del cogollo y hojas.
- Sistema de inclinado o tumbado: este sistema inclina las matas de caña hacia delante para permitir que la base de la mata se exponga para lograr cortarlo; en términos simples lo canaliza en una vía y recoge todo en una guía.
- Sistema de corte base: este sistema se conforma por dos platos de corte y cuatro cuchillas bien afiladas para evitar daños a las cepas; este sistema se puede alterar el Angulo de corte, lo cual produce la calidad del corte y la incorporación de materia extraña compuesta por tierra, la cepa o raíces.
- Sistema de alimentación: se compone por rodillos que introducen la caña al interior de la máquina de forma ordenada para lograr llegar al troceado,

este punto de la maquina es importante ya que afecta directamente el rendimiento de esta misma.

- Sistema de troceado: está encargado de picar la caña en trozos de menor longitud ha ingresado, esto se da gracias a seis u ocho cuchillas que se encuentran en dos rodillos; el sistema se puede graduar para alterar las longitudes de los trozos. Este proceso es fundamental para el proceso de limpieza ya que se debe de elijar el material extraño. De este proceso los trozos son lanzados a una tolva para continuar el camino.
- Sistema de limpieza: consiste en una tolva con un extractor en la parte superior para retirar la materia extraña y se dispone en el campo nuevamente. La velocidad del extractor es regulado en R.P.M además de las aspas son regulables para aumentar o disminuir la materia extraña por retirar. Aunque en el sistema no se garantiza que se generan pérdidas de caña ya que se puede expulsar parte con la materia extraña.
- Sistema de cargue (alce): es el último punto por donde pasa la caña antes de ser dispuestos en los vagones de transporte o de paso; este sistema cosiste en lanzar la caña del elevador en los vagones. (Galvis, Sistema de corte de caña de azucar. Equipos de cosecha, 2010)



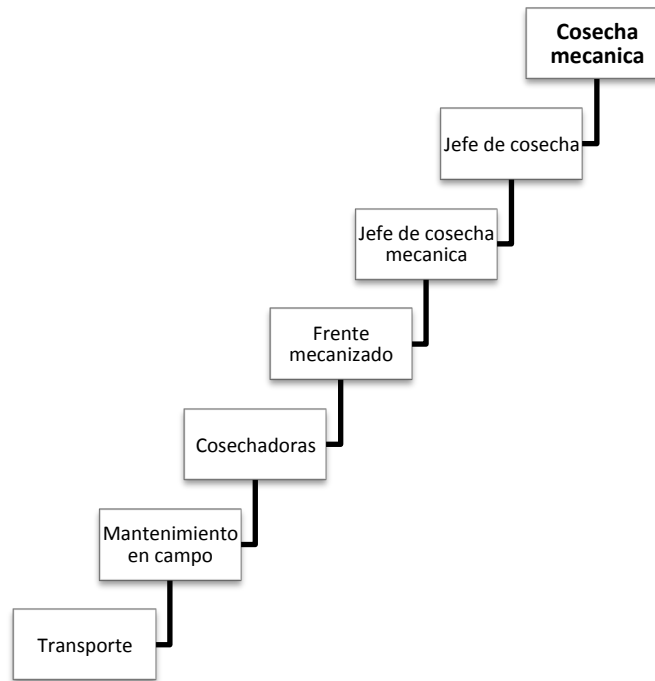
**Ilustración 5 Diagrama de una cosechadora de caña, con sus diferentes sistemas.**

Fuente: (Galvis, Sistema de corte de caña de azúcar. Equipos de cosecha, 2010)

Todo esto se ha visto reflejado en la búsqueda de nuevas tecnologías para la cosecha y ajuste realizados para lograr adaptar estas tecnologías a las condiciones del Valle del Cauca debido a la búsqueda en diversas formas de aumento de rendimientos, reducción de costos, aumento de competitividad, búsqueda de alternativas más limpias, mejora de manejo de residuos y la búsqueda de reutilización de los desechos como combustible en la cogeneración de energía en fábrica. De lo anterior se evidencia un cambio y aumento del porcentaje de la cosecha mecánica sobre todo la cosecha de la región como un cambio y una alternativa a la cual se debe llegar casi a su totalidad, debido a que esta industria mejora permanentemente para ser una industria viable y competitiva a la vez que dé garantías para la población de las zonas que posee influencia.

Estos altos desempeños no se pueden lograr teniendo en cuenta que se debe de realizar mayores inversiones y calidad en los procesos de adecuación y siembra de la caña de azúcar, debido a que los campos deben de presentar ciertas características para lograr realizar una cosecha mecanizada. Uno de los puntos más importantes para lograr una cosecha mecánica es la nivelación de las suertes debido a los requerimientos de tener un campo más uniforme para no obstaculizar las componentes de las cosechadoras. Estas condiciones repercuten directamente en una buena calidad de corte, logrando disminuir perdidas por aumento de limpieza y menor cantidad de mantenimiento por desgaste de piezas y cuchillas. Los diseños de campos deben de cumplir ciertos aspectos a los cuales podemos hacer referencia como es que la distancia entre surcos varían entre 1,65 y 1,75 m, el ancho de la cepa no supere los 60 cm, callejones terciarios de al menos 5 metros, drenajes paralelos a los surcos, acequias receptoras las cuales en cosecha se puedan suprimir o tapar para no intervenir en el corte y por último y muy importante surcos de entre 120 -150 cm con ángulos no más de 15 grados para lograr formar bloques de cosecha para darle continuidad en el momento de corte evitando sobre procesamiento o disminución de la productividad. (Glavis, 2006)

La ilustración 6 podremos ver la distribución jerárquica de responsabilidades y puntos de toma de decisiones, en el momento de movilizar un frente de cosecha mecánica a una suerte para su posterior cosecha. Cada persona o grupo de personas sabe su responsabilidad y su deber para cumplir con plazos y mantener un estándar de productividad.



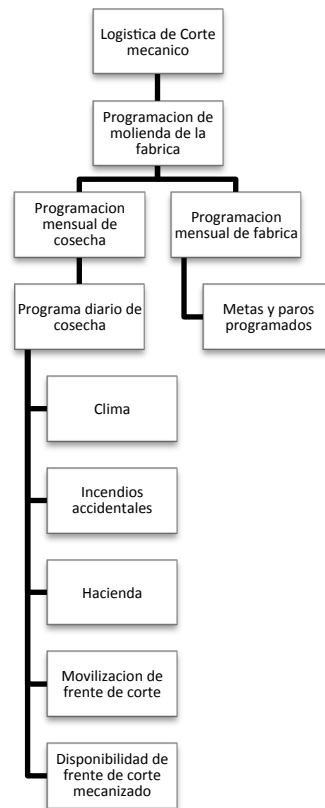
**Ilustración 6 Diagrama cosecha mecánica en una suerte**

Frente de cosecha mecanizada		
<b>Cosechadora</b> •3 por frente (jonh Deere 3510, 3520 y caseAustoft 7700)	<b>Equipo de apoyo</b> •Tanque de lavado •Equipo de soldadura •Vagon de repuesto •Tanque de combustible y aceites •Vagon oficina •Cama baja para transporte de cosechadoras	<b>Transporte</b> •Tractor con vagon de autovoltteo •Tractomulas con vagones para transporte hasta la fabrica

**Ilustración 7 Descripción de maquinaria de un frente de cosecha mecánica**

En la ilustración 7 se muestra como se divide un frente de cosecha mecanizado, el cual posee como principal instrumento las cosechadoras, las cuales por frente de

cosecha son 3 de estas; además como son máquinas que requieren constante mantenimiento requieren equipos de apoyo y transporte como son las camas bajas por cada una, un remolque de repuestos y oficina, tanques de combustible para reabastecer rápidamente y en el lugar de trabajo debido a que pueden trabajar 24 horas, aunque por estudios en los frentes siempre se encuentran dos máquinas laborando y una en stand by o mantenimiento, un equipo de soldadura para realizar reparaciones menores. Por último se encuentra el equipo de transporte que difieren entre movimientos por dimensiones del movimiento o las vías a utilizar para el desplazamiento, además de inferir la disponibilidad de equipo.



### **Ilustración 8 Factores determinantes de la cosecha mecanizada**

Para que un frente de corte se movilice o puede lograr realizar su labor debe de seguir unas órdenes del maestro de corte, lo cual viene desde la molienda diaria

de la fábrica y el plan general de cosecha; además de otros factores. Aparte de tener la viabilidad de molienda existen diversos factores tanto como ambientales y de disponibilidad de equipos, personal y recursos para poder llegar al sitio de destino y realizar todo el proceso de corte, alce, trasbordo y finalmente transporte a la fábrica; si algún de estos factores (ilustración 8) puede alterar y ser factor para que se movilice un frente a un determina hacienda u otra.

### **5.1.2 COSECHA MANUAL**

Para conocer un poco en una de la metodología de cosecha más utilizada por el sector azucarero en el valle de rio cauca el cual se centra en el corte manual de la caña de azúcar. Como actor principal y mano de obra primaria el cortero; el cual presenta unas características desarrollados especiales para lograr llevar a cabo su labor.

La cosecha manual en los ingenios ha sido de tradición desde la introducción de este sector productivo debido a la baja mecanización de este sector en sus principios. Esta baja tecnificación o mecanización fue debido a la gran dificultad de adquirir y trasladar las diversas maquinarias hasta los terrenos donde se desarrolla esta actividad agrícola. Esta dificultad actualmente es casi nula, aunque inclusive por la factibilidad de adquisición de maquinaria y automatización la presencia de corteros el principal motor de la cosecha mecánica sigue presente en todos los ingenios del área geográfica.

Para el periodo de 1970 a 1990 se implementó nuevas metodologías de corte y tecnologías por lo que la quema se dio paso para ser utilizado previo a la cosecha, este método de quema fue primeramente rechazado por los corteros pero al denotar la gran cantidad de beneficios que encontraron como mayor rendimiento de corte, reducción de fatiga y reducción de cortes con las hojas de la caña. Al ver el cambio los rendimientos por hombre aumentaron a 7- 8 toneladas/ hombre / día. Además ara la fábrica género una disminución de materias extrañas por lo que genero un aumento de capacidad de fábrica e incremento de molienda.



En ese momento, por el aumento de los rendimientos y las extensiones de terrenos plantados con caña de azúcar, se presentó escases en esta época de corteros por lo tanto se motivó a más personas a trasladarse a la zona azucarera para realizar esta actividad. Generando el asentamiento de centros poblados y asentamientos subnormales, metodologías de capacitación a personas sin experiencia, por último la contratación de corteros directamente por los ingenios.

Posteriormente a la industria le intereso en mejorar las condiciones de trabajo de las personas por lo que genero mejor asistencia de campo, suministro de agua potable, guantes canilleras, mejores instrumentos, transporte adecuado como son los calambucos (tráiler adaptados) y buses que los desplazan hasta el punto de corte. Todos estos cambios vinieron acompañados de exigencias y cambios para el mejoramiento de posición del personal y la calidad de corte.

En la actualidad esta actividad de cosecha manual está vigente y seguirá debido al convenio de producción limpia debido a que se puede realizar cosecha manual sin quema en áreas de difícil acceso para las maquinas o disposición de terrenos y aceras geográficas que solo se puede realizar cosecha manual.

El futuro está asegurado por los convenios de los ingenios con programas sociales que ayuden a estas comunidades a mejorar la calidad de vida. Además el incremento de la cosecha mecanizada se ha establecido que en corto a mediano plazo llegara al 30% de la cosecha total y solo con la posibilidad tope de llegar al 50 %.

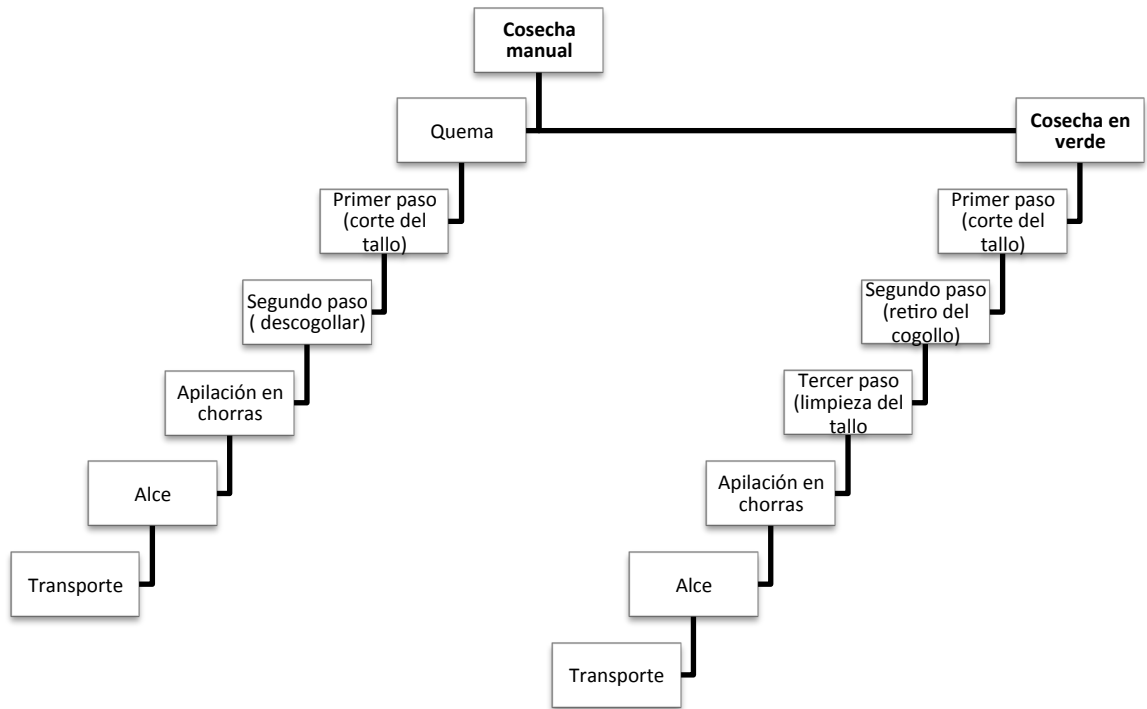
A continuación se ilustrara la metodología puesta en práctica en realidad actualmente para la cosecha manual; que principalmente en la región se habla de 3 metodologías, la primera es la cosecha manual con quema, una segunda es la cosecha manual sin quema o cosecha en verde y una tercera que cosecha llamada verde limpia la cual no conlleva a quemas.

La primer metodología de estas cosechas consiste en la quema de la plantación inclusive antes de que el frente de cosecha llegue para reducir las hojas y demás y lograr aumento del rendimiento de los corteros, quienes se les reduce el trabajo ya que solo requieren cortar el tallo y eliminar cogollos para posteriormente apilar en chorras y poder realizar el alce.

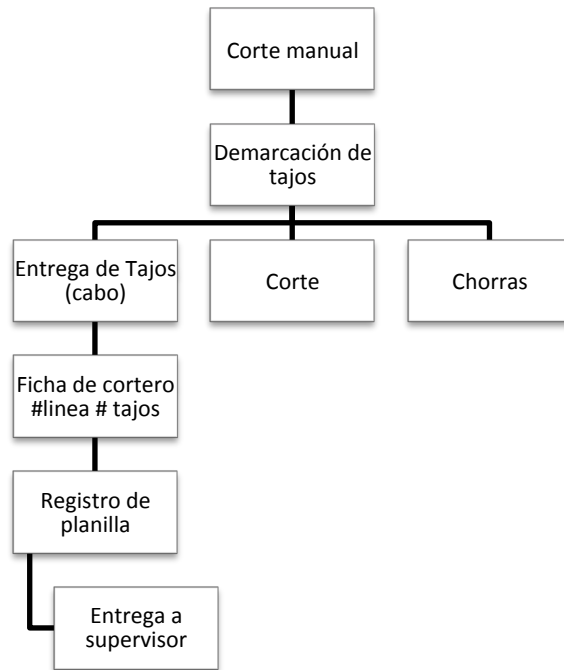
El segundo método de corte es aún más ecológico y no involucra la quema, los frentes de corte manual llegan a la suerte seleccionada se asignan las posiciones a los corteros e inicia el corte que deben de realizar más pases ya que deben de retirar parte de las hojas y demás partes que no le genera valor a la fábrica para trasportarlo hasta ella con esta metodología de cosecha. Los pases se definen a los medios y tipos de corte que deben de realizar con una sola mata de caña.

La ultima metodología que se denomina verde limpia es de la misma forma que se realiza en la segundo lo único es que aumenta los pases y el esfuerzo de los corteros, así reduciendo inclusive más el rendimiento ya que se debe de realizar más pases y ser más detallado con la limpieza y retiro de todo lo que consideran como no funcional o genere valor para la fábrica y logre dar rentabilidad.

En la ilustración 9 se presenta un esquema de la metodología de la cosecha en verde y la cosecha con quema, antes descritas.

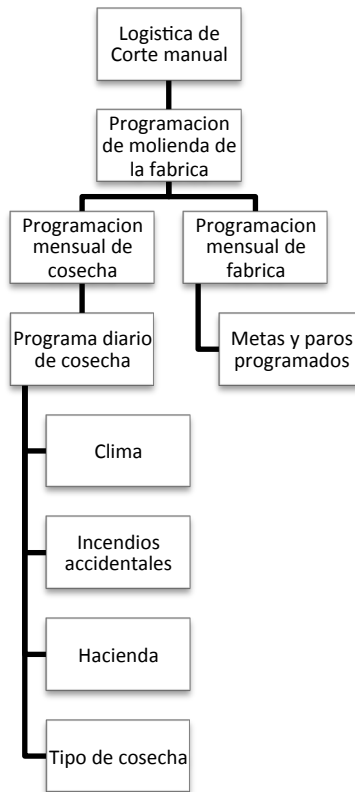


**Ilustración 9 Diagrama cosecha manual en una suerte**



### Ilustración 10 Logística de Corte

Para poder llegar a realizar una cosecha sea de cualquier forma hay diversos actos administrativos y de decisión que se hacen jerárquicamente con mandatos para que al final se realice la cosecha de una manera manual con corteros de una de las 3 diversas maneras.



### Ilustración 11 Factores determinantes de la cosecha

Aunque hay actos administrativos que determinan si se realizara una cosecha, hay otros factores variables no controlados que determinan si se puede llevar a cabo la labor de cosecha y se puede observar en la ilustración 11 que comparten factores con el mismo diagrama de la cosecha mecánica llegan a haber una u otra actividad que se ve involucrado solo para la cosecha manual.

Frente de cosecha manual con quema y sin quema			
<b>Quema</b> • tractor con un insenarador	<b>Corteros</b> • Buses de transporte • Habitaculos y bienestar (agua y sombra)	<b>Alce</b> • Alzadora mecanica • Tractor con remolque de autovolteo	<b>Transporte</b> • Tractomulas • vagones

### Ilustración 12 Descripción de maquinaria de un frente de cosecha manual

Se enfatiza en un frente de corte de cosecha manual, se necesita reconocer cuales son los factores que involucran este frente en la ilustración 12 se observan las diversas fases de la cosecha manual y las herramientas utilizadas aunque en dos de las metodologías se hace caso omiso a la primera parte de quema.

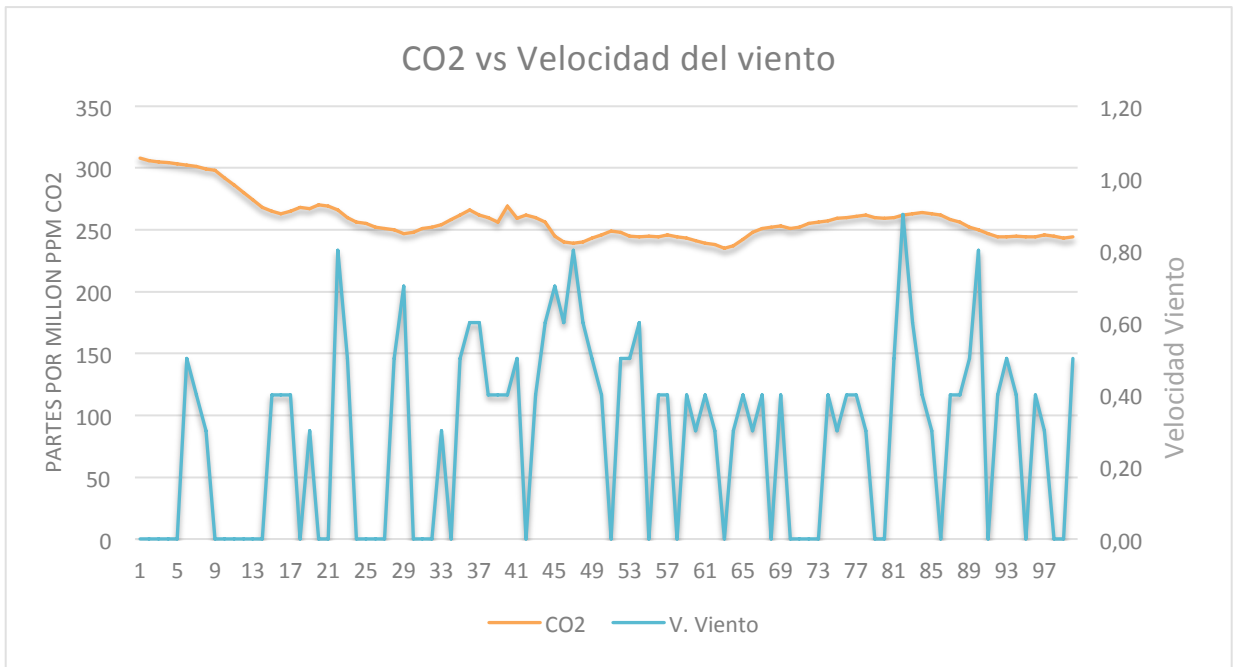
## **5.2 MEDICIONES DE CO<sub>2</sub>**

Las emisiones se dan por el consumo de diesel en los equipos (tractores, cosechadora, alzadora, etc.) empleados en las labores de cosecha, el muestreo se hizo durante 3 momentos diferentes de la cosecha tanto mecánica como manual. Se estandarizo en 100 datos para cada proceso medido.

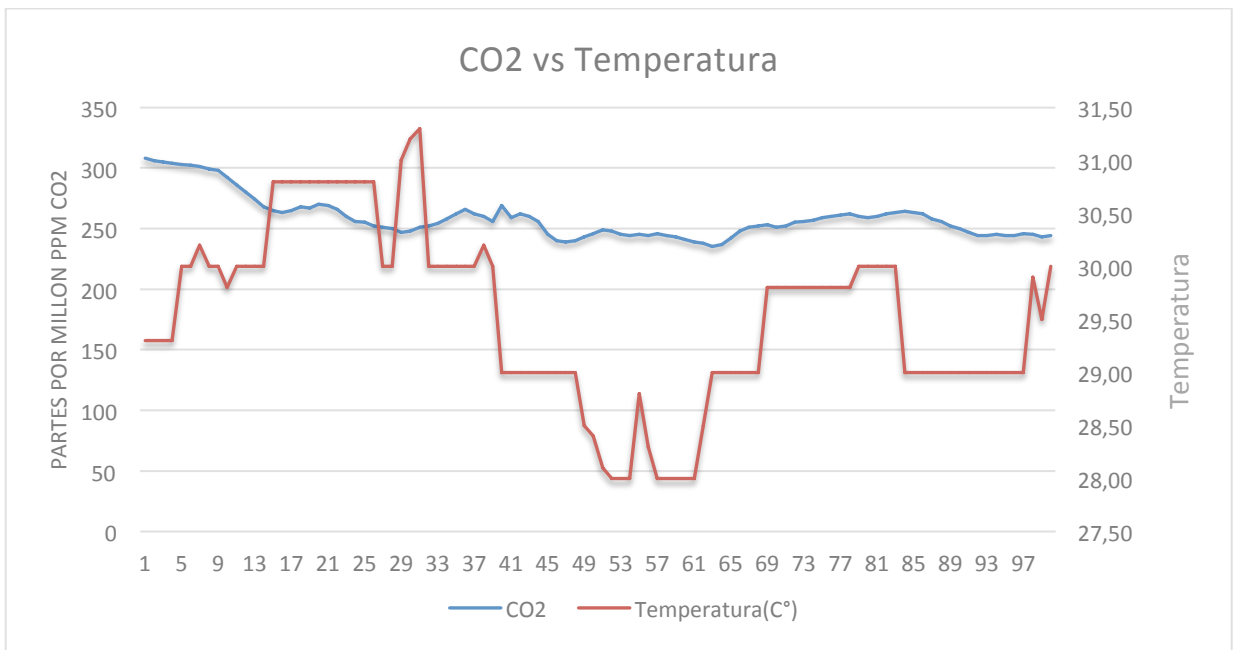
### **5.2.1 MEDICIÓN, PARA COSECHA MANUAL**

La toma de datos se realizó en la hacienda Codicias ubicada en el sector de Tuluá, las coordenadas que demarcan donde se hicieron las mediciones para el proyecto son N 4.03380, O 76.28427.

La ilustración 13 exhibe el comportamiento del viento contra la cantidad de CO<sub>2</sub> en el momento de la medición, en hectárea de caña de azúcar antes de la quema. Como se ve en la tabla 5 la velocidad del viento alcanzo un máximo de 0.9 m/s con un promedio de 0,28 lo cual indica que no hubo mucha corriente de aire. En la ilustración 14 se muestra la conducta de la temperatura comparada con la concentración de CO<sub>2</sub>, con una temperatura promedio de 29,54 C°, y en ambas ilustraciones el rango de concentración de CO<sub>2</sub> estuvo entre 235 y 308y 235 ppm.



**Ilustración 13 comparativo emisiones de CO2 vs Velocidad del viento antes de la quema.**



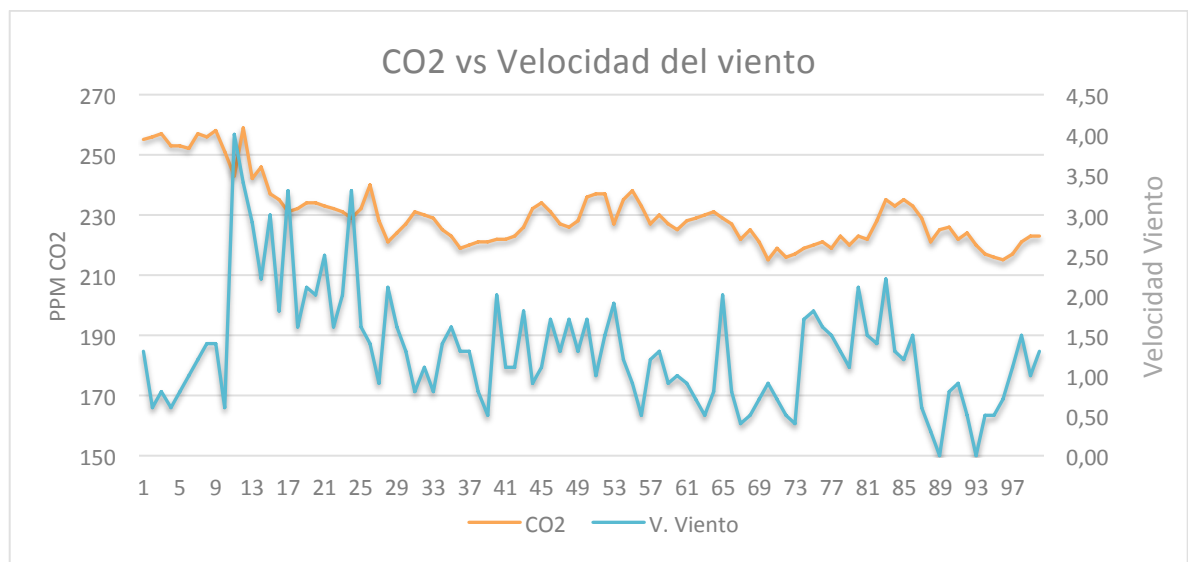
**Ilustración 14 comparativo emisiones de CO2 vs temperatura antes de la quema.**

La tabla 5 resume los datos representados en las ilustraciones anteriores con los rangos y promedios de las mediciones realizadas unos días antes de hacer la quema de caña de azúcar.

Antes de quema			
	promedio	máximo	mínimo
<b>CO2 (ppm)</b>	258,70	308,00	235,00
<b>Velocidad Viento (m/s)</b>	0,28	0,90	0,00
<b>Temperatura (C°)</b>	29,54	31,30	28,00

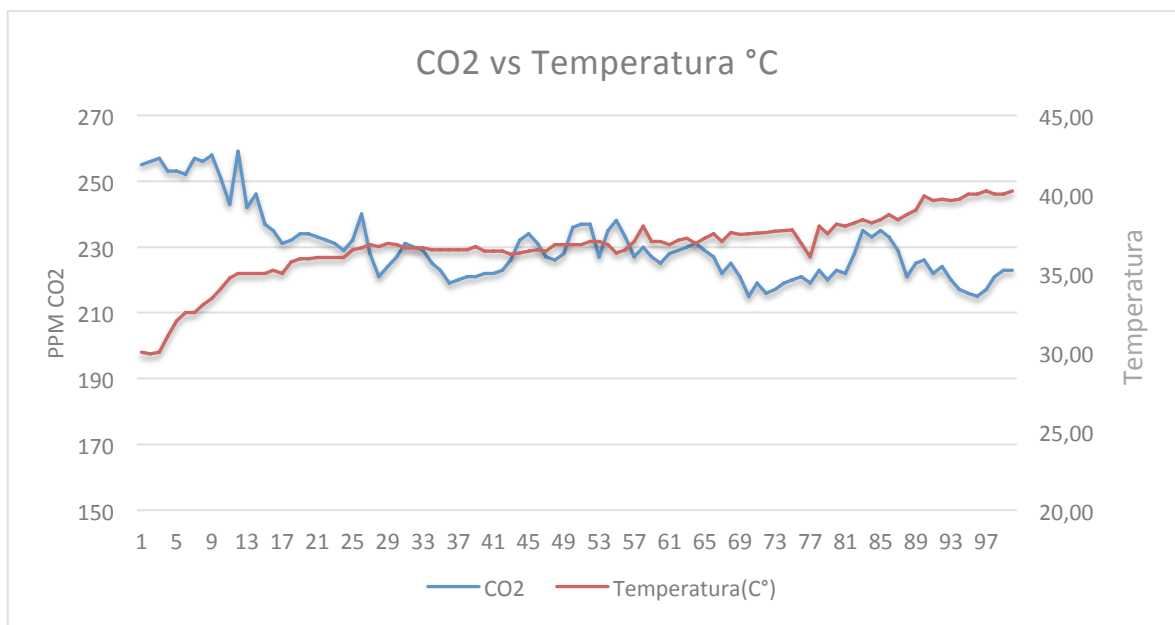
**Tabla 5 promedios y rangos de la medición del proceso de cosecha manual previo a la quema.**

En seguida están las ilustraciones que representan la segunda toma de datos, los cuales se obtuvieron de medir la cosecha manual, después de la quema en el momento que los corteros hacían la labor de corte. La ilustración 15 compara la concentración de CO<sub>2</sub> con la velocidad del viento, en esta toma de datos la concentración de CO<sub>2</sub> fluctuó entre 215 y 259 ppm, y la velocidad viento tuvo un promedio de 1,31 m/s y alcanzando un máximo de 4.00 m/s. La ilustración 16 contrasta la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura, en esta toma de datos la temperatura tuvo un promedio de 36,67 °C, alcanzando un máximo de 40,20 C°.



**Ilustración 15 comparativo emisiones de CO2 vs velocidad del viento después de quema**





**Ilustración 16 comparativo emisiones de CO2 vs temperatura después de quema**

La tabla 6 resume los datos representados en las ilustraciones anteriores con los rangos y promedios de las mediciones realizadas durante la cosecha manual, al momento de corte.

Despues de quema			
	Promedio	Máximo	Mínimo
CO2 (ppm)	230,19	259,00	215,00
Velocidad Viento (m/s)	1,31	4,00	0,00
Temperatura (C°)	36,67	40.20	29,90

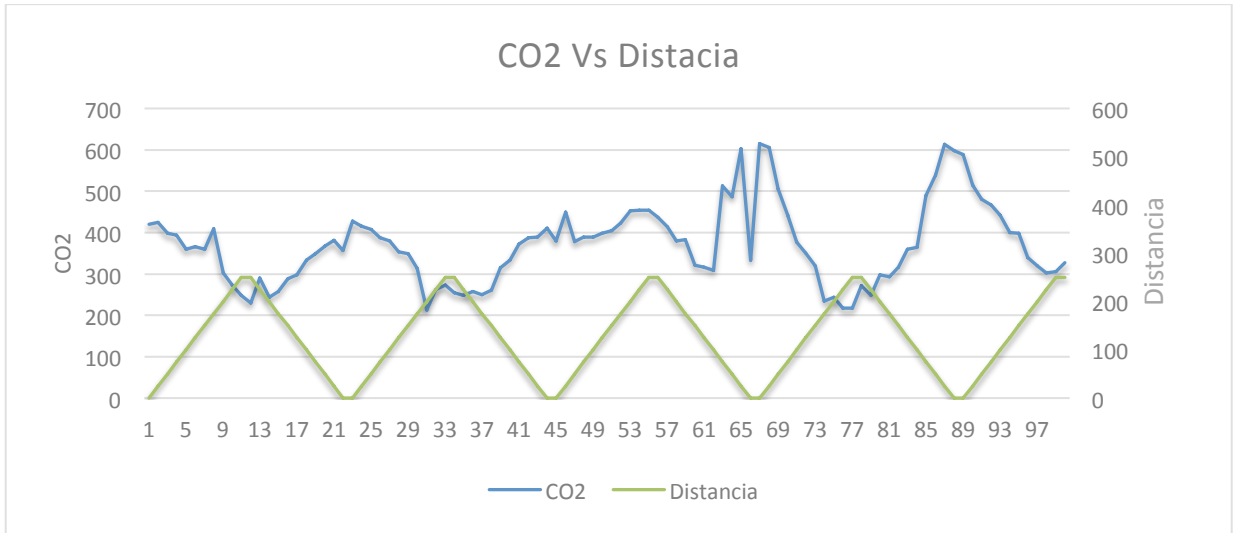
**Tabla 6 promedios y rangos de la medición del proceso de cosecha manual después de la quema.**

**5.2.2 MEDICIÓN, PARA COSECHA MECANICA**

Estos datos fueron tomados en la hacienda Florinda en el sector de Rozo, con las siguientes coordenadas N 3.59653 O 76.35105, durante el proceso de cosecha mecánica, mientras la cosechadora hacia su labor.

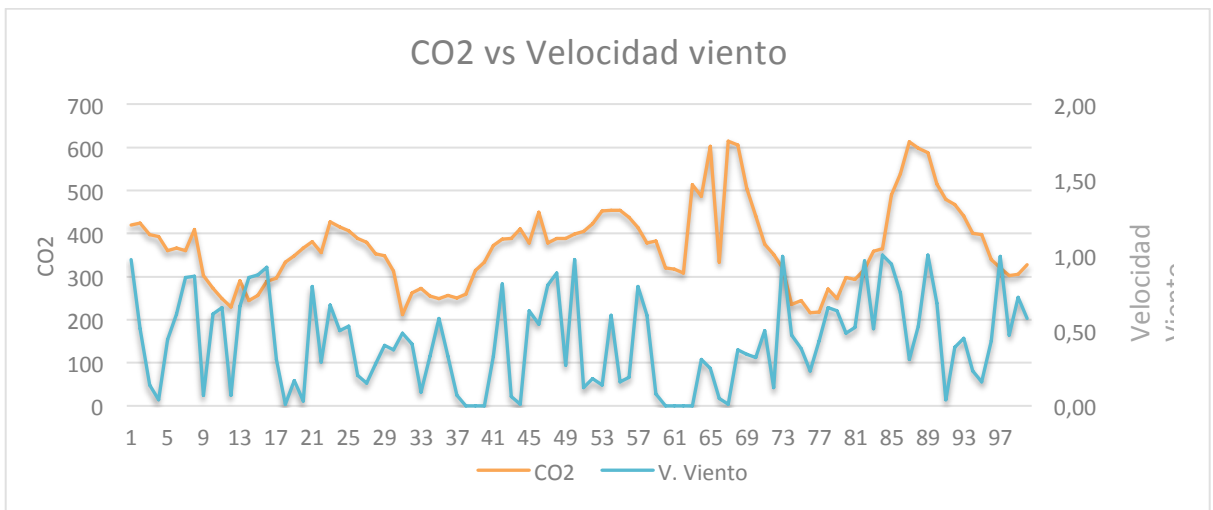
La hectárea medida tenía por ancho 40 m y 250 m de largo. Los datos registrados se tomaron cada 25m q se iba alejando la cosechadora. La ilustración 17 está

compuesta de la concentración de CO<sub>2</sub> comparada con la distancia en que se encontraba la cosechadora.



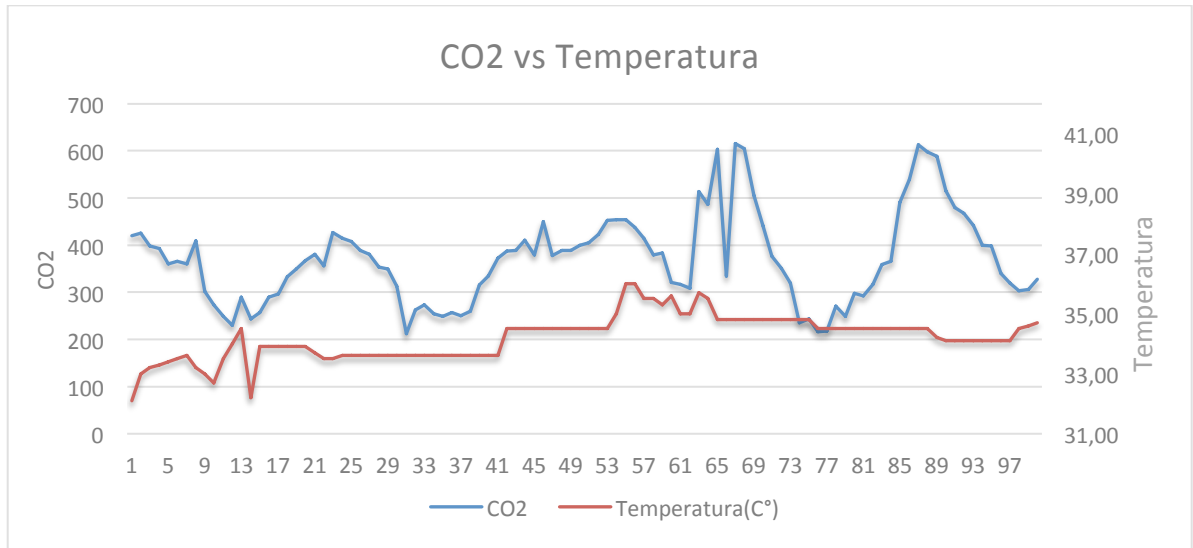
**Ilustración 17 comparativo emisiones de CO<sub>2</sub> vs distancia durante la cosecha mecánica**

La información registrada en la ilustración 18 confronta la concentración de CO<sub>2</sub> respecto a la velocidad del viento. El comportamiento de la velocidad del viento tuvo un promedio de 0,42 m/s alcanzando un máximo de 1,00 m/s.



**Ilustración 18 comparativo, emisiones de CO<sub>2</sub> vs la velocidad del viento durante la cosecha mecánica.**

La ilustración 19 contrasta los datos recogidos de temperatura con los de concentración de CO<sub>2</sub>. La temperatura tuvo un promedio 34,20 °C y los datos de CO<sub>2</sub> se movieron entre 212 ppm y 615 ppm.



**Ilustración 19 comparativo, emisiones de CO<sub>2</sub> vs temperatura durante la cosecha mecánica.**

La tabla 7 resume los datos representados en las ilustraciones 17 y 18 calculando los rangos y promedios de CO<sub>2</sub>, temperatura y velocidad del viento del muestreo ejecutado durante la cosecha mecánica.

Cosecha Mecánica			
	Promedio	Máximo	Mínimo
CO <sub>2</sub> (ppm)	370,80	615,00	212,00
Velocidad Viento (m/s)	0,42	1,00	0,00
Temperatura (C°)	34,20	36,00	32,10

**Tabla 7 promedios y rangos de la medición del proceso de cosecha mecánico, mientras la cosechadora hacia su labor.**

**5.3 DATOS Y CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO TEÓRICO**

Después de tener el diagrama de procesos y la explicación minuciosa de las fases de la cosecha, donde se logró identificar los procesos que más impactan al medio ambiente. A continuación se expondrá un resumen de maquinarias,

personal y equipos que usan dichos procesos. Igualmente están todos los datos necesarios para hacer la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la cosecha de caña de azúcar.

En la ilustración 20 se exhiben los combustibles líquidos de mayor uso, las características, el poder calorífico, volumen de quemado y factor de emisión de cada uno, los cuales serán utilizados en conjunto de los datos recopilados en las haciendas y la información investigada para el cálculo de la huella de carbono en el proceso de cosecha tanto manual como mecánica de caña de azúcar.

**COMBUSTIBLES LIQUIDOS**

Tipo de combustible

←

Diesel Generico

▼
←

**Poder Calorífico**

LHV input	42.67 MJ/kg
HHV input	45.71 MJ/kg

**Volumen de gas quemado**

Gas Quemado	10.49 m <sup>3</sup> /kg
Vreal	78.03 m <sup>3</sup> /kg
Consumo de aire	11.26 m <sup>3</sup> /kg
Lambda	1.55 ▼

**Factores de emisión de CO<sub>2</sub> del IPCC**

Tipo de Combustible	Factores de Emisión kg/TJ
Oil Crude	73333
Fuel Oil	77367
Diesel	74067
Gasoline	69300
Kerosene	71867

**Características del combustible**

(Composición porcentual en peso)

Tipo de combustible	Diesel Generico		
C	86.1000%	N	0.0200%
H	13.5000%	Cl	
S	0.4000%	F	
O		Cenizas	
H <sub>2</sub> O			

**Factores de Emisión**

Factores de Emisión de CO <sub>2</sub>	73920 kg/TJ
	40423 mg/m <sup>3</sup>
Factores de Emisión de SO <sub>2</sub>	187.5 kg/TJ
	102.5 mg/m <sup>3</sup>

**Ilustración 20 Pantalla principal para combustibles líquidos**

Fuente: “Factores de emisión de los combustibles colombianos”- Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (accefyn)

### **Preparación del zanjón:**

Equipo: Tractor máxima velocidad 48 km/hora, algunas veces se necesita de un bulldozer si la tierra está muy mojada.

Combustible: ACPM (Diesel)

### **Quema (Corte manual):**

Equipo: Incinerador Manual.

Combustible: Diesel y Gasolina corriente

### **Descripción de datos generales para cálculos**

Rendimientos por hectárea de caña promedio:

- 125 ton/ha

Capacidad efectiva de campo de una cosechadora actual:

- 25 a 30 ton /hora

Para efectos del trabajo se considerara que la capacidad mantenida en una hectárea de cosecha es de 30 toneladas por hora.

- Se consideran 6 horas de mantenimientos cada vez que una de las cosechadoras entra a mantenimiento.

En el mantenimiento una cosechadora pueden incurrir una amplia variedad de factores los cuales pueden ser revisados para su corrección. Los principales son el mantenimiento de las cuchillas y revisión generales del estado.

- Velocidad promedio : 2,3 km/hora
- Consumo; 9 – 11 gal/hora

#### Composición de un frente de cosecha mecánico

##### Personal:

- un supervisor (1)
- un operario por maquina (3)
- un operario por tractor (3)
- un mecánico (1)
- 16 repicadores (recogen lo que la maquina desecha y se puede utilizar en fabrica)

Turno del día 26 personas

Turno de la noche 10 personas

##### Maquinaria:

- Cosechadoras (3) (2 en trabajo y una en revisión o mantenimiento)
- Dos tractores 180 H.P. por cosechadora (5 por frente)
  - Consumo 35 litros/hora
  - Vagones para el transporte
    - Longitud máxima para transporte 56,9 m (5 vagones – vías públicas)
    - Auto volteo (2) Capacidad: 10 toneladas capacidad
    - Transporte a fabrica (5)(7) Capacidad: 10 toneladas capacidad
  - Camabajas para transporte (3)
  - Vagón (1)

- Carro taller o tráiler taller (1)
- Tanque de combustible (1)
- Tanque de agua con hidrolavadora (1)

### **Cálculos de cosecha mecánica**

Cantidad de viajes de un tractor para retirar la cosecha de una hectárea de caña de azúcar

- $125 \text{ (ton /ha)} / 10 \text{ ton ( vagón auto volteo)} = 12,5 \text{ viajes}$
- Cada viaje se demora  $\frac{1}{2}$  hora
- Tiempo de Cosecha:  $125(\text{ton /ha}) / 30 \text{ (ton /hora)} = 4,16 \text{ horas/ha}$
- Consumo cosechadora:
  - $4,16 \text{ (hora/ha)} * 10 \text{ (gal/hora)} = 41,66 \text{ galones para cosechar una hectárea de caña de azúcar}$
- Consumo tractor:
  - $4,16 \text{ hora / ha} + (12,5 \text{ viajes} * \frac{1}{2} \text{ hora}) = 10,42 \text{ horas}$
  - $10,42 \text{ hora} * (35 \text{ litros/hora}) = 364,7 \text{ litros para cosechar una hectárea de caña de azúcar}$
- Cantidad de vagones a utilizar para transporte a fabrica
  - $125 \text{ (ton /ha)} / 32 \text{ (ton /vagón)} = \text{Aproximadamente } 4 \text{ vagones para transportar una hectárea de producción.}$
  - 1 tren cañero para transportar lo producido en una hectárea. Para los cálculos no se tomaron los consumos debido a la variabilidad que puede tener, además no se está realizando control sobre las emisiones producidas.

### **Datos Cosecha Manual:**

- 6.0 ton / hombre / día
- 125 ton / ha

Personal:

- Jefe de corte (1)
- Cabos de corte (1)
- Monitores de cosecha (2)
- Corteros (120)

Maquinaria:

- 5 tractores de 180 H.P.
- 2 alzadoras
- 3 Buses para el transporte de personal

Cálculos de tiempos y consumos:

- $125 \text{ (ton /ha)} / 6 \text{ ton /hombre} \cdot \text{día} = 20,83 \approx 21 \text{ personas}$

Para cosechar una hectárea de caña en un día

- Alzadora Combustible:
  - 7L/ ton de caña (consumo alzadora por alce de una tonelada de caña cortada)
  - 2 horas / hectárea (alzadoras)

(Torres & Madriñan, 2006)

- $125 \text{ (ton /ha)} * 7 \text{ (litros / ton)} = 875 \text{ L /ha}$
- Cantidad de vagones a utilizar para transporte a fabrica
  - $125 \text{ (ton /ha)} / 32 \text{ (ton /vagón)} = \text{Aproximado } 4 \text{ vagones para transportar una hectárea de producción.}$

1 tren cañero para transportar los 4 vagones del producido en una hectárea.



- 3 horas de uso de tractores de 180 HP para calcular cosecha de la hectárea, debido a que se debe tener en cuenta el tiempo de demora de la cosechadora ya que este se encuentra al lado para recoger la caña cortada dentro de los vagones.

## **Datos y cálculos complementarios**

### **Consumos movimiento frente de cosecha mecánica (ida y regreso) (florinda)**

La distancia entre la fábrica XYZ que es donde se encuentra localizado el frente de cosecha y la hacienda es de aproximadamente 6,4 km, considerando que se utilizaran solamente vías internas (destapadas) por lo cual la velocidad promedio encontrada en los tractores es de 35 Km/hora y de los camiones (camabajas) es de 25 Km/H.

- 3 cama bajas para el transporte de la cosechadoras (camabaja con cabezote kentworth)
  - 7 Litros / km descargado
  - 11 Litros / km cargado
  - 12,8 KM es ida y regreso a la hacienda
  - $(12,8 \text{ KM} \times 11 \text{ litros/ KM}) \times 3 \text{ tractocaciones} = 422,4 \text{ litros}$
- 5 tractores que transportan equipo (vagones, tanque de combustible, tanque de agua, tráiler taller)

Para el movimiento de la fábrica o punto medio hasta las haciendas los tractores, realizan la labor de transportar remolques con todo lo necesario para el trabajo en campo.

- Cada tractor demora media hora en llegar a la hacienda desde la fábrica XYZ por lo que ida y regreso una hora.
- $(35 \text{ litros / hora} \times 1 \text{ hora}) \times 5 \text{ tractores} = 175 \text{ litros.}$

## Datos para estimación de emisiones de gases a causa de la quema (fuego)

- $LFuego = A \times MB \times Cf \times Gef \times 10^{-3}$
- $A = 1$  Ha (superficie quemada)
- $MB = 31,25$  Ton  $Ha^{-1}$  (Biomasa quemada)
- $125$  TON / Ha x 25% (% cogollo hojas y demás dejado en campo en cosecha en verde = biomasa quemada)
- $Cf = 6,5$  (valor absoluto)(factor de combustión)
- $CO_2 = Gef = 1515 \pm 177g$   $Kg^{-1}$  de biomasa quemada (factor de emisión)
- $CH_4 = Gef = 2,7$  g  $Kg^{-1}$  de biomasa quemada (factor de emisión)
- $N_2O = Gef = 0,0,7$  g  $Kg^{-1}$  de biomasa quemada (factor de emisión)

Mg biomasa quemada 25% de lo cosechado. (Valdes Delgado)

Consumo movimiento de caña hacia la fábrica (mecánica)

Se concluyó que para el movimiento de una hectárea de caña de azúcar solo se requiere un tren cañero con cuatro vagones, se toman en cuenta los consumos de ida del tren cañero a la hacienda desde fabrica vacío y el regreso cargado.

- Ida vagones vacíos (tracto camión)
  - Tracto camión descargado (consumo 7 litros x km y recorre 6,4 km)
  - 7 litros /km x 6,4 KM = 44,8 litros
- Regreso vagones cargados (tracto camión)
  - Tracto camión cargado (consumo 11 litros x km y recorre 6,4 km)
  - 11 litros /km x 6,4 KM = 70,4 litros

## Consumos movimiento frente de cosecha manual (ida y regreso) (San Diego)

La distancia entre la hacienda y la fábrica ZXY donde se encuentra la maquinaria (alzadoras, tractor, etc.) es de 5,4 KM. además se considera que los corteros

vienen de poblaciones cercanas en buses. Por otra parte el movimiento de la maquinaria se da por vías internas del ingenio que por disposiciones de campo se pueden transitar, los tractores pueden alcanzar una velocidad promedio de 30 Km/H y los tracto camiones de 20 Km/H.

Tractor

Consumo 35litros / hora

Velocidad:

- 5 tractores de 180 H.P.
  - $\frac{1}{2}$  hora por recorrido = 1 hora ida y regreso de cada tractor
  - (35 litros/hora x 1 hora) x 5 tractores = 175 litros
- 2 camas baja para el transporte de dos alzadoras (cama baja con cabezote kentworth)
  - 10,8 KM ida y regreso
  - (10,8 Km x 11 litros/km) x 2 cabezotes =237,6 litros
- 3 buses para el transporte de los corteros.  
1 bus consume 24 galones en 120 km aproximadamente que son la ida y regreso a la hacienda, varía dependiendo la distancia.
  - Por lo tanto el consumo de los buses en el frente de cosecha es de:  
72 galones de diesel. (272,54 litros)

Consumo movimiento de caña hacia la fábrica (manual)

Como se concluyó para el movimiento de una hectárea de caña de azúcar solo se requiere un tren cañero con cuatro vagones se estipula los consumos de ida del tren cañero a la hacienda desde fabrica vacío y el regreso de este ya cargado.

- Ida vagones vacíos (tractor por vías internas)
  - Ida se demora  $\frac{1}{2}$  hora
  - $\frac{1}{2}$  hora x 35 litros/hora = 17,5 litros
- Regreso vagones cargados (tractor por vías internas)

- De regreso se demora  $\frac{3}{4}$  de hora y cargado por lo que el consumo aumenta a 45 litros/hora
- $\frac{3}{4}$  hora x 45 litros/hora= 33,75 litros

Datos para cálculos de la quema de la caña en una hectárea de caña de azúcar

La tabla 8 nos presenta la información necesaria de factores utilizados para la conversión de la información de litros de combustible diesel corriente a kg CO<sub>2</sub> resultado del cálculo de emisiones, de la maquinaria usada para las actividades de cada labor seleccionada para calcular. Se presentan los datos de densidad y factores de emisión tanto del diesel corriente como el de la gasolina esto se debe a que el incinerador manual es el único que usa gasolina por lo cual se debió tener en cuenta en los cálculos.

Factor Poder calorífico combustibles líquidos (Mj/Kg)	Factor de emisión del diesel (Kg/Tj)	Densidad del diesel corriente (kg/L)	Factor conversión TeraJoules (Tj /Kg)	Factor de emisión de la gasolina (Kg/Tj)	Densidad de la corriente (Kg/L)
42,67	73920	0,8528	0,000001	69300	0,74

**Tabla 8 factores necesarios para la conversión y cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>**

Fuente: “Factores de emisión de los combustibles colombianos”- Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (accefyf)

### 5.3.1 CALCULO DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> EN LA COSECHA MANUAL

La tabla 9 presenta la matriz donde se calculó la emisión de dióxido de carbono de lo que implica el traslado de todos los equipos del frente de cosecha manual que consumen combustible diésel corriente, estos son: los 3 buses que transportan a los corteros hasta la suerte a cosechar (se consideró un trayecto de aproximadamente 120 km), los tractores de 180 HP y las camasbajas para llevar las alzadoras. El resultado del cálculo de emisión realizado a partir de los litros de

diésel corriente que consumen los equipos usados en el corte fue de 1842,025 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (Tj/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
3 Buses	272,2	232,13216	9905,07927	0,00990508	732,183459
5 tractores de 180 H.P.	175	149,24	6368,0708	0,00636807	470,727794
2 cama bajas transporte (alzadoras)(ida y regreso)	237,6	202,62528	8646,0207	0,00864602	639,11385
				<b>Total Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>1842,0251</b>

**Tabla 9 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en el traslado del frente de cosecha manual.**

En la tabla 10 encontramos el cálculo de las emisiones generadas por los equipos usados en la labor de alce del frente manual cuando no hay quema, este se compone de una maquina alzadora que recoge del suelo los bultos de caña cortada y un tractor de 180 H.P con un vagón de carga donde la alzadora deposita la caña. Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el momento de alce sin quema fueron de 3416 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (Tj/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
tractor 180 H.P con vagon de carga	105	89,544	3820,842	0,003820842	282,43667
Alzadora	1165	993,512	42393,15	0,042393157	3133,7021
				<b>Total Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>3416,1388</b>

**Tabla 10 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha manual sin quema en las labores de alce de una hectárea.**

La tabla 11 presenta la estimación de las emisiones generadas por los equipos usados en la labor de alce del frente manual con quema, está compuesto por una maquina alzadora que recoge del suelo los bultos de caña cortada y un tractor de 180 H.P con un vagón de carga donde la alzadora deposita la caña. Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el momento de alce con quema fueron de 2387 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (Tj/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
tractor 180 H.P con vagón de carga	105	89,544	3820,8424	0,00382084	282,43667
Alzadora	782,5	667,316	28474,373	0,0284743	2104,8257
				<b>Total Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>2387,2623</b>

**Tabla 11 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha manual con quema en las labores de alce de una hectárea.**

El cálculo de emisiones de dióxido de carbono por uso de combustible diesel corriente en el transporte de la caña de azúcar de la hacienda a la fábrica diferenciando cuando el tractor llega sin la carga y cuando sale con la carga se puede evidenciar en la tabla 12. El total de emisiones generadas por esta labor es de 137,855 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (Tj/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
Tren cañero hasta la finca (tractor 180 H.P.)	17,5	14,924	636,80708	0,00063681	47,0727794
Tren cañero retorno con carga (tractor H.P.)	33,75	28,782	1228,12794	0,00122813	90,7832173
				<b>Total Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>137,855997</b>

**Tabla 12 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha manual en las labores de transporte de una hectárea.**

Para tener el cálculo de la huella de carbono completo se debe incluir la estimación del proceso de quema de caña previo al corte y ver de qué manera impacta al medio ambiente con la liberación de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). La tabla 13 ilustra la forma en que fueron calculados los kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> del proceso de quemado siguiendo la ecuación que presenta el IPCC. La emisión presentada por la biomasa quemada dio como resultado 308 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

$$L_{\text{fuego}} = A * MB * Cf * Gef * 10^{-3}$$

Tipo de gas	Superficie quemada (A) (Ha)	Biomasa quemada (Ton Ha <sup>-1</sup> )(Mb)	factor de combustión	factor de emisión (g Kg <sup>-1</sup> )	[[10]] <sup>(-3)</sup>	L fuego
CO <sub>2</sub>	1	31,25	6,5	1515	0,001	307,734375
CH <sub>4</sub>	1	31,25	6,5	2,7	0,001	0,5484375
N <sub>2</sub> O	1	31,25	6,5	0,07	0,001	0,01421875
					Total KgCO <sub>2</sub>	308,297031

**Tabla 13 Matriz de estimación de kgCO<sub>2</sub>ha<sup>-1</sup>eq producidas por la quema en cosecha manual**

El último cálculo a realizar del frente de cosecha manual es el del incinerador manual que usa tanto gasolina como diesel, se encontró que este equipo presenta unos consumos muy bajos, usa aproximadamente 1 galón de gasolina y diesel mezclado para 4 hectáreas. La tabla 13 presenta las estimación de las emisiones generadas por el incinerador, las cuales dieron como resultado 2.3 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)	Densidad (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (Tj/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
Incinerador (gasolina)	0,4725	0,34965	14,9195655	1,49196E-05	1,10285428
Incinerador (diesel)	0,4725	0,402948	17,1937912	1,71938E-05	1,27096504
<b>Total KgCO2</b>					<b>2,37381932</b>

**Tabla 14 estimación de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> generados por el consumo de combustible de un incinerador manual.**

### 5.3.2 CALCULO DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> EN LA COSECHA MECANICA

En la tabla 15 se encuentra la matriz para la estimación de emisiones de dióxido de carbono emitidas por el traslado de todo el frente de cosecha hasta la hacienda, detalla los equipos necesarios para transportar el frente de cosecha mecanizada y la cantidad de litros de diésel corriente que consumen, la maquinaria usada consiste en 3 camasbajas y 3 tractores teniendo en cuenta el recorrido de ida y de vuelta. El resultado del cálculo de emisión realizado a partir de los litros de diésel corriente que consumen dichos equipos fue 1606,9 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (TJ/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
3 cama bajas transporte (Cosechadoras) (ida y regreso)	422,4	360,22272	15370,70346	0,015370703	1136,2024
5 Tractores transporte equipo (ida y regreso)	175	149,24	6368,0708	0,006368071	470,727794
<b>Total Kg CO2</b>					<b>1606,9</b>

**Tabla 15 Matriz de cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en el traslado del frente de cosecha mecanizada.**

El cálculo de emisiones emitidas por los equipos de la cosecha mecanizada que presenta la tabla 16, detalla el consumo de la cosechadora que corta, descogolla,



y pica en trozos la caña y el tractor de 180 HP que realiza la adecuación del zanjón. El resultado de dicho cálculo fue 846 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (TJ/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
Cosechadora	140,7	120,012395	5120,9288	0,00512092	378,53906
Tractor 180HP (adecuación)	70	59,696	2547,228	0,00636807	470,72780
<b>Total Kg CO<sub>2</sub></b>					<b>849,3</b>

**Tabla 16 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha mecanizada en labores de corte de una hectárea.**

En cuanto al alce del frente de cosecha mecánica se estimó las emisiones del tractor de 180 HP remolcando un vagón de autovolteo, que va a un lado de la cosechadora recibiendo en el vagón los trozos de caña que lanza la cosechadora. El resultado de esta estimación fue 981 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>. (Tabla 17)

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (TJ/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
Tractor 180 H.P. Vagón autovolteo	364,7	311,0161	13271,059	0,01327106	980,9967
<b>Total Kg CO<sub>2</sub></b>					<b>981,0</b>

**Tabla 17 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha mecanizada en labores de alce de una hectárea.**

La tabla 18 expone el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el momento de transporte de caña de azúcar entre la hacienda y la fábrica, esta labor se compone de un tren cañero que remolca los vagones con y sin carga. Esta actividad emite 310,2 kgCO<sub>2</sub>ha<sup>-1</sup>.

Actividad (Maquinaria)	Combustible utilizado por actividad (litros)(DIESEL)	Densidad Diesel (kg)	Poder calorífico (MJ/Kg)	Conversión a Tera Joules (TJ/Kg)	Kg CO <sub>2</sub> (Kg/Tj)
Tren cañero hasta la finca (tractocamión)	44,8	38,20544	1630,226125	0,001630226	120,506315
Tren cañero retorno con carga (tractocamión)	70,4	60,03712	2561,78391	0,002561784	189,743649
				Total Kg CO <sub>2</sub>	310,2

**Tabla 18 Matriz de Cálculo de emisión de CO<sub>2</sub> por uso de combustible diesel corriente en la cosecha mecanizada en labores de transporte de una hectárea.**

## 5.4 ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.4.1 ANÁLISIS DE MEDICIONES EN COSECHA MANUAL.

Durante la cosecha manual la primera medición se hizo en el momento en que no habían equipos ni personas en la suerte, un par de días antes de la quema y la segunda medición se realizó en el momento posterior a la quema y cuando los corteros realizaban su labor. Examinando la ilustración 13 el CO<sub>2</sub> medido llegó a niveles por encima de 300 ppm y tuvo un promedio de 258,70 ppm suspendidas en el aire, cuando las velocidades del viento eran muy bajas con un promedio de 0,28 m/s. Comparándolo con la ilustración 15 que fue después de la quema y en el momento que estaban los corteros realizando su labor, por lo que se esperaba tener unos registros de CO<sub>2</sub> mayores, pero se obtuvieron valores de CO<sub>2</sub> apenas por encima de las 250 ppm con un promedio de 230,19 ppm pero con velocidades del viento mayores, alcanzando un pico de 4 m/s y un promedio 1,3 m/s; por lo que es relevante resaltar que el instrumento de medición es susceptible a los factores ambientales, como el viento ya que este altera las valoraciones de CO<sub>2</sub>, ya que al tener mayor corriente de aire, el gas se dispersa con mayor facilidad en el ambiente. Durante la visitas de medición después de la quema se realizó una prueba más que fue registrar el CO<sub>2</sub> con el instrumento justo al lado de un cortero, para ver si variaban los valores, sin embargo los valores de CO<sub>2</sub> no se alteraron

significativamente. Lo anterior sucedió debido a que las emisiones abundantes de gases se dan en el momento de la quema, la cual no fue incluida en las mediciones de este proyecto.

Las temperaturas registradas en la primera medición previa la quema tuvieron un promedio de 29.54 °C con un máximo de 31.3 °C (tabla 5) menores a los de la segunda medición después de la quema que presentaron un promedio de 36.67 °C y un máximo de 40.2 °C (tabla 6), esto ocurre porque las horas en que se hicieron las mediciones fueron distintas, la primera se realizó en la mañana de 8:30 a 8:50 am y las segundas fueron tomadas de 1:10 a 1:30 pm. En la ilustración 16 se logra ver una leve tendencia de que la temperatura fue aumentando a través del tiempo de registro.

A diferencia de los gráficos comparativos de velocidad de viento, las ilustraciones 14 y 16 que comparan las temperaturas y el CO<sub>2</sub> no se logra evidenciar una relación clara ni directa de los datos medidos. No obstante, se encontró un informe el cual expone una información que logra encontrar una relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura; en el artículo "Evolution of atmospheric carbon dioxide concentration at different temporal scales recorded in a tall forest" (Guan, Wu, Yuan, & Yang, 2012) los autores muestran que en las horas más calurosas del día se presenta menor concentración de CO<sub>2</sub>, mientras que con temperaturas más bajas la concentración es mayor, concibiendo con la actividad fotosintética de las plantas. De lo anterior es posible pensar que las diferencias de concentración de CO<sub>2</sub> vistas en la ilustración 14 y 16 han sido afectadas no solo por las actividades de consumo de combustible sino también por las temperaturas, pues se observa que las mediciones hechas al medio día con una temperatura promedio de 36,67°C tiene menores concentraciones de CO<sub>2</sub> con un rango entre 215 y 259 ppm, con respecto a las mediciones hechas en la mañana con una temperatura promedio 29,54°C y un rango de concentración entre 308 y 235 ppm. Para ver mejor de qué manera se comportan los datos recolectados se usó la fórmula de Excel de intervalos confianza.

En cuanto al muestreo de cosecha manual después de la quema de la caña también se percibió variabilidad en los datos por lo que se realizó un análisis estadístico, y se le sacaron los intervalos de confianza con 3 sigma. Todos los datos quedaron incluidos dentro del intervalo con un nivel de confianza de 99,7% por lo cual se puede decir que no hay mucha variación haciendo que los datos sean confiables.

#### **5.4.2 ANÁLISIS DE MEDICIONES EN COSECHA MECÁNICA**

Los datos fueron medidos cuando la labor de cosecha se realizaba con una cosechadora que usa combustible diesel. Para esta toma de datos se hizo la medición de los mismos factores de la manual ( $\text{CO}_2$ , temperatura, y velocidad del viento) sin embargo se agregó el factor de la distancia.

La ilustración 17 muestra la concentración de  $\text{CO}_2$  contra la distancia en que se encontraba la cosechadora del punto de medición, donde se logra identificar fácilmente la tendencia oscilatoria de los datos de  $\text{CO}_2$  con picos y valles que evidencian la relación con la distancia en la que se encontraba la cosechadora. Cuando dicha cosechadora se iba alejando de del punto en el cual estaba ubicado el equipo de medición, la concentración de  $\text{CO}_2$  iban disminuyendo paulatinamente hasta llegar a los 250 m de distancia que era la máxima debido a la forma de la hectárea medida. Lo contrario ocurría cuando la cosechadora se encontraba en el punto más lejano y empezaba a acercarse reduciendo la distancia, haciendo que los registros de  $\text{CO}_2$  fueran aumentando. El consumo del diesel de la cosechadora hace la combustión y posteriormente transfiere al aire altas concentraciones de gases, entre esos el  $\text{CO}_2$ .

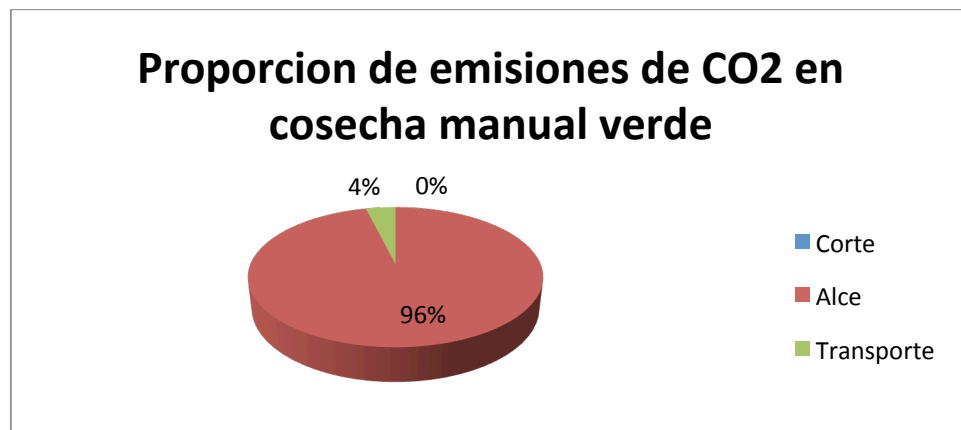
En la ilustración 18 la concentración de  $\text{CO}_2$  se comporta de manera oscilatoria pero con un leve crecimiento cíclico ya que las últimas mediciones llegan a picos más altos, eso puede dar debido que la cosechadora ya lleva un tiempo en uso llenando el aire con las emisiones producidas de igual forma las corrientes de aire

no son tan elevadas, haciendo que los gases no se esparzan y que el ambiente se sature de CO<sub>2</sub>.

En cuanto a las mediciones de cosecha mecanizada se percibió variabilidad en los datos por lo que se realizó un análisis estadístico, y se le sacaron los intervalos de confianza con 3 sigma. Todos los datos también quedaron incluidos dentro del intervalo con un nivel de confianza de 99,7% por lo cual se puede decir que no hay mucha variación y que los datos son confiables.

#### **5.4.3 ANÁLISIS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN COSECHA MANUAL**

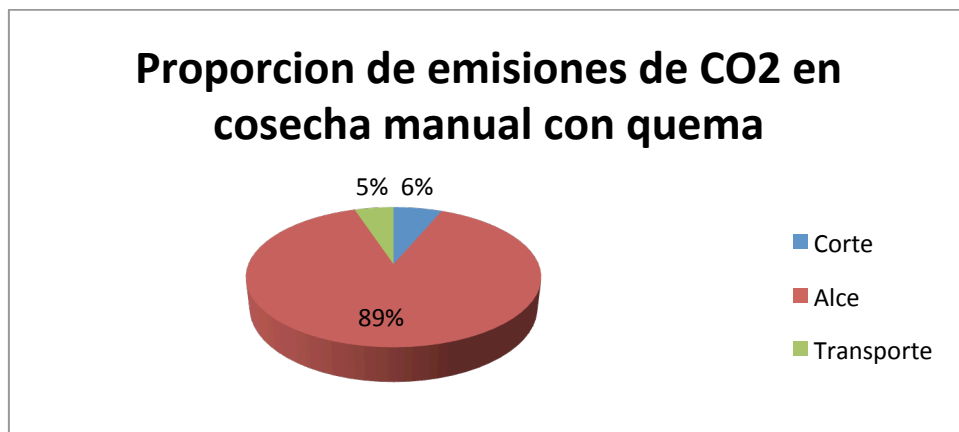
La ilustración 21 nos resume las 3 partes en que están divididas las actividades de la cosecha manual sin quema, corte, alce y Transporte. El alce se presenta el mayor impacto con un 96% del total de emisiones del frente de cosecha manual. Después está el transporte de la caña de la hacienda a la fábrica impactando con un 4% de todas las emisiones y por último el corte de la caña con 0% proporcional de toda la labor de cosecha manual.



**Ilustración 21 Proporción de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> emitida por actividad cosecha manual sin quema.**

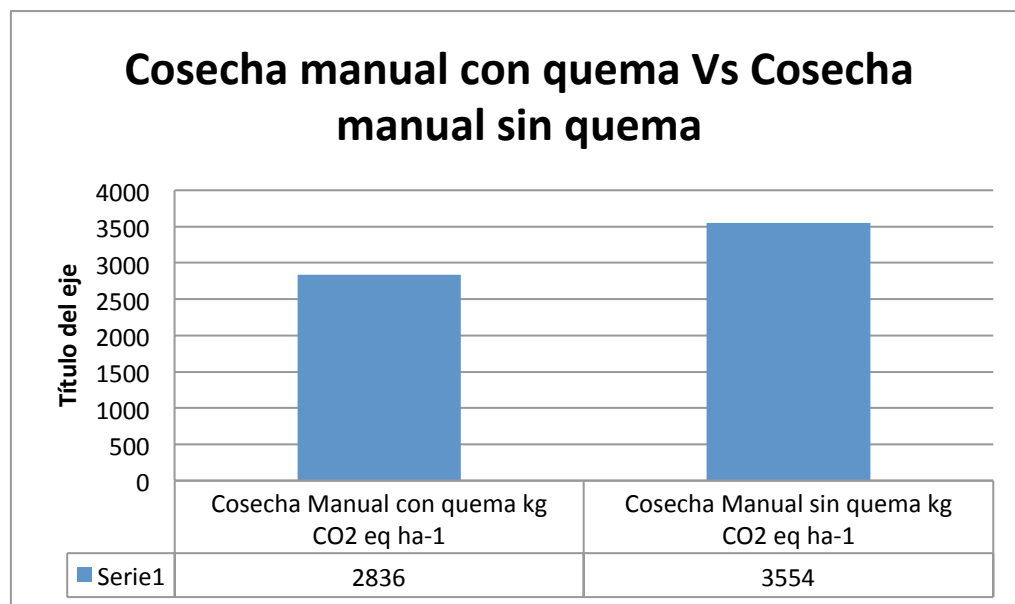
El corte en la cosecha manual sin quema representa un 0% de en el cálculo de huella de carbono debido que esta labor la realizan los corteros los cuales no emiten CO<sub>2</sub> relacionado con la combustión de diesel.

A continuación se muestra las cantidades de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> proporcionales para el corte alce y transporte representados en la ilustración 22, el 89% del total de emisiones pertenece al alce de la caña, seguido de un 6% del corte y un 5% correspondiente al transporte de la caña hacia la hacienda.



**Ilustración 22 Proporción de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> emitida por actividad cosecha manual con quema.**

En la ilustración 23 se observa que la cosecha manual sin quema tiene mayor impacto emitiendo al ambiente 3554 de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a diferencia de la cosecha manual con quema que emite 2836 de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> lo cual es contra intuitivo ya que se esperaría que la cosecha con quema tendría más altos niveles de emisión. El factor determinante en esta observación es que la alzadora tiene diferentes consumos dependiendo la caña con la que esté trabajando, si es caña sin quema tiene un consumo de combustible mayor al que se tendría si se hace la labor con caña quemada que ya ha perdido el 25% de biomasa.

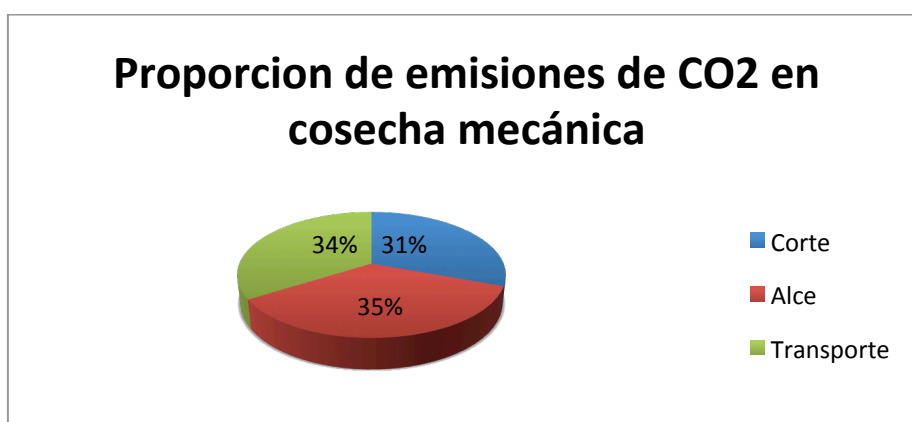


**Ilustración 23 comparación de emisiones generadas por la cosecha manual con quema vs cosecha manual sin quema**

El alce es evidente que es la actividad que posee las mayores emisiones y mayores consumos tanto en la cosecha sin quema o con quema, ya que la alzadora por cada tonelada de caña recolectada requiere una cantidad determinada de litros de combustible, si la caña ya ha sido quemada esta máquina consume 6 litros de diesel para alzarla y depositarla en los vagones de auto volteo que luego serán transportados a fábrica y 9 litros de diesel para hacer lo mismo pero con la caña sin quemar (Torres & Madriñan, 2006). Cuando la alzadora trabaja con caña de azúcar quemada se estimó que emite 782 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> sin embargo cuando trabaja con caña de azúcar sin quemar emite 1165 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, como observación se planteó que la variación de emisiones entre la el consumo de la alzadora se debe a que como la caña no ha sido quemada tiene todavía el peso de las hojas los cogollos y de más partes que se pierden al quemar la caña lo que equivale al 25% de biomasa, haciéndola más liviana reduciendo los consumos de la alzadora.

#### 5.4.4 ANÁLISIS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN COSECHA MECÁNICA

Después de realizar el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> segmentado por el corte, alce y transporte de caña, se observa que el transporte de toda la caña cosechada hasta la fábrica tiene un 34% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> de la cosecha mecánica, con un 31% de todas las emisiones el corte, que también generan una parte significativa de CO<sub>2</sub> emitido y por el alce que genera un 35% del total de emisiones, como se observa en la ilustración 24.



**Ilustración 24** Proporción de kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> emitida por actividad cosecha mecánica.

Es importante resaltar que el 35% de la labor de alce es realizada por un solo equipo el cual es el tractor de 180 HP que remolca los vagones de autovolteo los cuales tienen un nivel de consumo y emisión alto con 981 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, esto ocurre porque dicho tractor se ve condicionado por la baja velocidad de desplazamiento de la cosechadora y debe siempre estar a un costado de está recibiendo los trozos de caña que por medio de una centrifuga son lanzados hacia el vagón.

El consumo de la cosechadora no es tanto como se esperaría ya que esta realiza todo el proceso de cosecha incluyendo corte, descogollado, trozado y además una banda que tira la caña, las emisiones estimadas para la cosechadora son de solo 378,53 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.



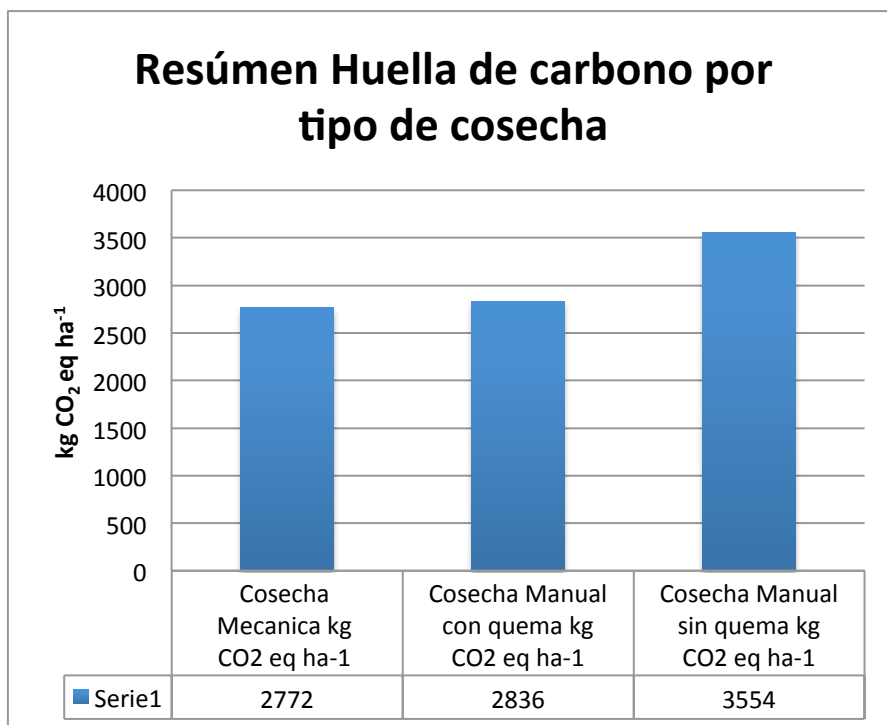
Los tractores en esta actividad se limitan a transportar sobre terreno adverso y generan un gran de combustible, pero necesarios debido a que se retira los vagones con un gran peso por terrenos de difícil acceso.

#### **5.4.5 ANÁLISIS Y COMPARACIONES GENERALES DE EMISIONES**

Para efectos del proyecto el análisis desarrollado a continuación se omitió el movimiento del frente de cosecha hasta las haciendas, para así tener unos cálculos más precisos y comparables ya que como el estudio se hizo en dos diferentes haciendas, el movimiento del frente tiene distintas distancias a recorrer.

Se encontró que tanto en la cosecha mecánica como en la manual utilizan cierta maquinaria y metodología, se puede decir que realizan de la misma forma el movimiento de la caña, realizado en vagones remolcados por tractores; en la cosecha mecánica este proceso es el cual emite mayor cantidad de CO<sub>2</sub> generando 4 veces más emisiones debido al mayor tiempo de trabajo, así mismo mayor consumo de combustible. En la maquinaria que difieren las dos formas de cosecha es en la cosechadora y la alzadora, en estas dos máquinas hay una gran diferencia, ya que la cosechadora es más eficiente en consumo a pesar de que incurra en un mayor tiempo en campo realizando toda la labor por hectárea, mientras que la alzadora le toma menos tiempo hacer su labor, Sin embargo el consumo es dado por toneladas cargadas en los vagones, haciendo que sea el proceso de mayor emisión de CO<sub>2</sub>. Todo estos factores generan que en el cálculo al comparar los dos métodos el mecánico genere menos liberación de CO<sub>2</sub> al ambiente, en cambio la manual logra liberar 1.8 veces más kg de CO<sub>2</sub> al ambiente.

La emisión total generada por el frente de cosecha mecanizado consumidor de combustible diesel es de 2772 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, un valor cercano al generado por el frente de cosecha manual con quema que fue de 2836 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> y por último el frente de cosecha manual sin quema es el tipo de cosecha con mayores emisiones llegando a un nivel de 3554 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>. El resumen grafico está expuesto en la ilustración 25.



**Ilustración 25 comparativo de los diferentes tipos de cosecha.**

Según los cálculos realizados los equipos para labores de cosecha manual emiten mayor cantidad de CO<sub>2</sub> al ambiente comparándolo con la cosecha mecánica.

Cosecha mecanica		Cosecha manual sin quema		Cosecha manual con quema	
Corte	849,2	Corte	0	Corte	310,6
Alce	980,9	Alce	3416,1	Alce	2387,2
Transporte	941,4	Transporte	137,8	Transporte	137,8

**Tabla 19 Cuadro comparativo de las emisiones en kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> realizadas por el CAT (corte, alce, transporte) de cada cosecha**

En la tabla 19 ya se pueden comparar respecto a los valores de cada una de las labores por separado así mismo diferenciando los tipos de cosecha, las diferencias y similitudes de los 3 tipos de cosechas analizados y las proporciones del CAT que cada una tiene más influencia se debe de reconocer que el alce es un proceso agroindustrial al cual se debe poner mucha atención ya que realizando algunas reducciones de consumo en este se puede tener una disminución importante en cuanto a la huella de carbono total de cada tipo de cosecha.

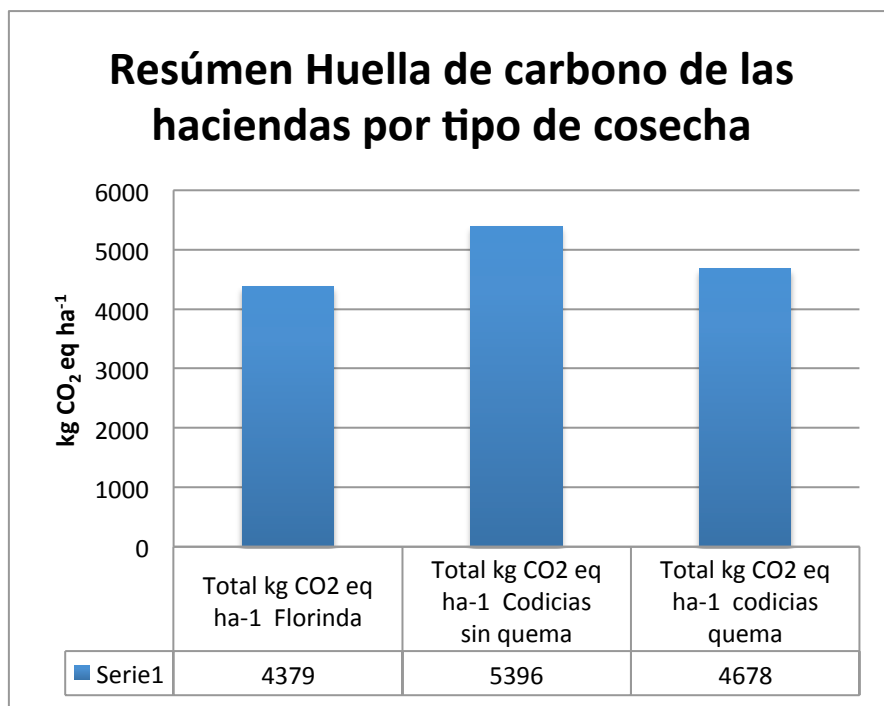
Por otra parte sin importar el tipo de cosecha el transporte es un factor el cual se puede mejorar pero es influenciado por las distancias hasta fábrica, el mecanismo utilizado tracto camión o tractor, aunque en este trabajo las distancias y consumos son similares para los 3 tipos de cosecha.

Por último el corte en el método manual no es mayor factor por lo que no es punto de posible mejora, inclusive llega a ser nulo si tener en cuenta que la materia quemada produce una huella de carbono pero los expertos indican que al volver a sembrar esta fija la misma cantidad de carbono al suelo que lo emitió cuando es quemado (Rypdal, 2006). Mientras que el corte mecánico es eficiente ya que hace varias labores a la vez y no genera en exceso menos que el transporte de la caña.

De las mediciones realizadas en los momentos de cosecha la mecanizada se percibieron mayores cantidades de ppm de CO<sub>2</sub> que las de cosecha manual, en la ilustración 17 se ilustra el comportamiento oscilante de ppm de CO<sub>2</sub> alcanzando máximo de 615ppm de CO<sub>2</sub> a diferencia que la cosecha manual con un máximo de 259 ppm de CO<sub>2</sub>, y después de conocer los consumos y emisiones de la alzadora comparada con la cosechadora que son los equipos que difieren las dos metodologías se esperaba todo lo contrario. Esto se debe a que en el momento de medición de manual la alzadora no estaba en funcionamiento solo los corteros hacían su labor.

Para finalizar se quiso ver cuánto era la emisión de CO<sub>2</sub> generada por cada una de las haciendas en las cuales se realizó el estudio. Para este análisis se incluyó las emisiones producidas por el traslado de todo el frente de cosecha hasta cada una de las haciendas.

En la ilustración 26 se evidencia y se diferencia las emisiones producidas por todas las actividades que tienen consumos de diesel desde el traslado del frente hasta la hacienda, el corte, el alce y el transporte de la caña a la fábrica.



**Ilustración 26 comparativo de total de huella de carbono generado por cada hacienda dependiendo el tipo de cosecha usado.**

A comparación de la ilustración 25, la ilustración 26 presenta unos niveles de huella de carbono muchos mayores, cabe resaltar que se incluyó todas las actividades de cosecha (se incluye la emisión del traslado del frente de cosecha a cada una de las haciendas) en el momento de comparar cada hacienda ya que se requería un dato completo de todas las emisiones que implican realizar la cosecha para las dos haciendas.

## 6. CONCLUSIONES

Los procesos agro-industriales de la cosecha de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L, aportan en gran medida en cambio climático, ya que la combustión del diesel corriente emite gases de efecto invernadero. La emisión total de la La emisión total de la cosecha Mecanizada resulto 2772 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, la cosecha Manual sin quema arrojó un valor de 3554 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> y para la cosecha manual con la quema 28336 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> para estos valores no se tuvo en cuenta el traslado de tuvo en cuenta el traslado de todo el frente de cosecha hacia las haciendas para poder compararlos mejor.

También se realizaron los cálculos de la huella carbonos emitidos por todas las actividades implicadas en la cosecha para cada hacienda incluyendo el movimiento del frente de cosecha hasta las haciendas. Para la hacienda Florinda la cual es cosechada de manera mecánica se tuvo unas emisiones de 4378 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, para la hacienda San Diego (Codicias) que se cosecha manualmente cuando se incluye la quema tiene unas emisiones 4677 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, y cuando no se realiza quema emite 5396 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

El proyecto tuvo una delimitación ardua respecto a los alcances ya que las limitaciones de tiempo no era posible llegar a realizar más toma de datos o abarcar todo el ciclo de vida de la caña de azúcar, lo cual debería de realizar para lograr observar que proceso es el de mayor influencia en liberación de CO<sub>2</sub>. Además de determinar que procesos se deben de tener más control.

Las mediciones se debieron ajustar al cronograma ya establecido por haciendas ya que ellos tienen sus fechas de cortes y varían en cada una. Por lo que se tuvo que esperar mucho tiempo para lograr hacer las mediciones bajo un protocolo establecido con anterioridad. Y en un momento se pensó que no se alcanzarían a realizar las mediciones en el campo, pues el proceso de recolección de datos a medir en las haciendas se dificultó ya que las constantes lluvias atrasaron el cronograma planteado con anterioridad.

Se exploraron dos formas de huella de carbono: el cálculo empleando factores de emisión y la medición. Se identificó que no son comparables pero la medición permitió identificar factores que inciden en la concentración de CO<sub>2</sub>.

El proceso de trasladar los frentes de cosecha a cada hacienda inciden sustancialmente en la huella de carbono total generada por cada hacienda.

Se logró identificar la actividad que posee el equipo de mayor aporte de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente de cada uno de los dos métodos de cosecha. En la cosecha mecánica se encontró que los tractores se encuentran con los vagones en espera de ser cargados por la cosechadora a un lado mientras esta va cortando lo cual genera una gran emisión sin que éste equipo esté trabajando con toda su potencia, sus emisiones pueden estar alrededor de 982,9 kgCO<sub>2</sub>ha<sup>-1</sup>; mientras que en la cosecha manual el proceso donde se alza de la caña en los vagones es la que genera mayor cantidad de emisiones debido a que una alzadora tiene un alto consumo de combustible, en una hectárea las emisiones de esta maquinaria pueden llegar a ser de 3133 kgCO<sub>2</sub>ha<sup>-1</sup> cuando la caña no está quemada y 2104 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> cuando la caña ya ha sido quemada.

El proyecto puede favorecer a las haciendas, facilitando la creación de un inventario de gases de efecto invernadero, para acceder, posteriormente, a certificaciones voluntarias como la ISO 14064 e ISO 14067.

## **7. RECOMENDACIONES**

Se recomienda evaluar el uso de tractores de menor potencia en el alce de la cosecha mecánica, con el objetivo de reducir el consumo de combustible y por ende sus emisiones.

Evaluar la necesidad real de maquinaria según la cantidad de caña y calidad del terreno a cosechar.

La mayor fuente de emisión de la cosecha manual es realizada por la alzadora Cameco SP (aprox. 7 l/ton), se recomienda evaluar el uso de alzadoras continuas Vanguard V-1600 (3,7 l/ton)<sup>1</sup>

Desarrollar un estudio de tiempos y movimientos de los equipos en la hacienda para tener menores consumos de combustible.

La mayor fuente de emisión de la cosecha manual es realizada por la alzadora que consume dependiendo las toneladas que levante, pero si se lograra mejorar el proceso mediante alguna función de bajo consumo, evitando las altas emisiones y costos de combustible más bajos.

Para los ingenios y haciendas productoras de caña de azúcar es muy importante que por medio de estudios como estos vayan creando unos inventarios completos y detallados de sus actividades emisoras de CO<sub>2</sub> ya que esta información podría ser los primeros pasos para pensar a futuro aplicar para certificaciones voluntarias como la ISO 14064 e ISO 14067 generando un valor agregado para sus organizaciones, siendo reconocidas con un sello de calidad y de estar en pro de la mitigación del cambio climático, generarían mayor confianza a la hora de relacionarse con empresas comprometidas con medio ambiente.

Ya que el proyecto estaba limitado a un tiempo de un año (2 semestres académicos) se determinó un alcance para este tiempo, sin embargo un proyecto con más disponibilidad de tiempo y con la misma facilidad de recopilación de información y acceso a los ingenios, podría realizar un estudio completo de todos

los procesos agro-industriales de todo ciclo de vida y el proceso productivo de caña de azúcar, logrando así un inventario de emisiones más completo y establecer estándares para cada proceso, como también lograr analizar diferentes factores de tamaños de maquinaria y el adecuado uso para cada labor o proceso.

Para la continuación del proyecto o para nuevos es indispensable que se ajuste la metodología de medición teniendo en cuenta factores como la incidencia de la humedad, la dirección del viento, las emisiones del suelo, la absorción de emisiones del cultivo que no ha sido cortado e incluso de vegetación que permanece en el área de estudio. La metodología de medición se podría modificar haciendo uso de un monitoreo continuo que arroje información más precisa de todo el momento de cosecha de ambos frentes, y antes de hacer las mediciones tener en cuenta cuales son las maquinas que más emiten CO<sub>2</sub> para tener el punto de referencia más alto y de esta manera generar un mejor análisis.

Es recomendable tener diferentes alternativas de haciendas para hacer mediciones y en el cronograma tener un tiempo considerablemente flexible para evitar que las condiciones climáticas afecten las fechas de las labores retrasando el proyecto.




## BIBLIOGRAFÍA

- Sector Azucarero Colombiano, Asocaña.* (2012). Obtenido de <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentacion.* (2014). Obtenido de <http://www.siap.gob.mx/cana-de-azucar/>
- ACCEFYN, A. (2003). *Factores de emision de los combustibles Colombianos.* Bogota.
- Barretto, E., Panosso†, A., Romão†, R., & La Scala Jr†, N. (2010). *Research Greenhouse gas emission associated with sugar.* Sao Paulo.
- Espindola, C. (2011). *Huella del Carbono. Parte 2: La vision de las futuras empresas, los cuestionamientos y el futuro.*
- Field, C. B. (2014). *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad.*
- Galvis, D. (1990). *Sistema de cosecha mecanica en Colombia.* Valle del Cauca.
- Galvis, D. (2006). *1\_cosecha\_mecanica.*
- Galvis, D. (2010). *Sistema de corte de caña de azucar. Equipos de cosecha.*
- Giraldo, F. (1995). *Cosecha, Alce y Transporte.* Palmira.
- Galvis, D. (2006). *SISTEMA DE COSECHA MECANICA EN COLOMBIA.*
- Goodwin, J. (2006). Metodos para la recopilacion de datos. En *Directrices del IPCC de 2006.*
- Guan, D., Wu, J., Yuan, F., & Yang, H. (2012). Evolution of atmospheric carbon dioxide concentration at different temporal. En D. Guan, J. Wu, F. Yuan, & H. Yang, *Atmospheric Environment* (págs. 9-14). Changbai: Elsevier.
- Gutierrez, V. J. (1995). *Labores de Cultivo.*
- Lucas Lizandro Diaz Montejo, E. T. (2002). *Manual de produccion de caña de azucar (Saccharum officinarum L.).* Honduras.
- Madriñan, C. E. (2002). *Compilacion y analisis sobre contaminacion del aire producida por la quema y la requema de caña de azucar; en el Valle del Cauca.* Palmira.
- Maletta, H. (2009). *El plan del futuro: cambio climatico, agricultura y alimentacion en America Latina.*

- Nicklen, P. (2013). *National Geographic*. Obtenido de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/calentamiento-global-definicion>
- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. En *Climate Change and its Impact on the Agriculture* (págs. 115-123).
- Posada, C. C. (2007). *La adaptacion al cambio climatico en colombia*. Bogota.
- Rypdal, K. (2006). Introcucion a las directrices de 2006. En *Directrices del IPCC 2006*.
- Sector Azucarero Colombiano, Asocaña*. (s.f.). Obtenido de <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Stocker, T. F. (2013). *Cambio Climático 2013 Bases físicas*.
- Torres, J., & Madriñan, C. (2006). *El Alce de la Caña del Corte Manual en Colombia*. Obtenido de Cenicaña: [http://www.cenicana.org/pdf/otros/foro\\_cosecha\\_transporte\\_2006/2\\_alce\\_mecanico\\_colombia\\_may9-2006.pdf](http://www.cenicana.org/pdf/otros/foro_cosecha_transporte_2006/2_alce_mecanico_colombia_may9-2006.pdf)
- Unidas, N. (1992). *La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Valdes Delgado, A. (s.f.). *Los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera*. Obtenido de [http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso\\_cyted/files/pdf/Tema%2001-%20Residuos%20Agricolas%20da%20Cana-de-Acucar/ExperienciasInternacionais.pdf](http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso_cyted/files/pdf/Tema%2001-%20Residuos%20Agricolas%20da%20Cana-de-Acucar/ExperienciasInternacionais.pdf)

## ANEXOS.

### ANEXO 1

 <p>UNIVERSIDAD <b>ICESI</b></p> <p>Facultad de Ingeniería</p>	<p><b>PROTOCOLO DE VISITA</b></p>
---	-----------------------------------

#### **GUIA PARA RECOLECCION DE DATOS Y MEDICIONES**

El presente protocolo tiene como objetivo establecer una metodología estandarizada para el levantamiento y medición de datos durante las labores de corte, alce y transporte de caña de azúcar en una hectárea de suelo de una hacienda azucarera.

1. Escoja la hacienda en la cual se tomaran los datos.
2. Determine el lugar de la suerte donde se harán las mediciones.
3. Delimite la hectárea que será objeto de medición: Medir 10.000 m<sup>2</sup> con un decámetro u otra herramienta de medición de longitud y/o área.
4. Después de tener determinada la hectárea a medir, utilice algún tipo de referencias para hacer unas marcaciones que le permitan saber a qué distancia se encuentra la fuente de CO<sub>2</sub> en el momento de la medición.
5. Escoja un punto en el cual se harán las mediciones con el aparato; use las marcaciones previamente ubicadas para determinar la distancia en la cual se encuentra la fuente de CO<sub>2</sub>.
6. Calibre correctamente los medidores para evitar malas mediciones y variaciones.
7. Observe y tome nota de las condiciones y el momento de la cosecha.
8. Para tener un punto de referencia de estado previo a la labor de cosecha, realice un muestreo inicial (sin presencia de maquinaria) durante 20 minutos, registrando la cantidad de CO<sub>2</sub> del aire en PPM (partes por millón), la distancia del tractor, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento.
9. Inicie la labor a muestrear.
10. Proceda a hacer las mediciones, registrando la cantidad de CO<sub>2</sub> del aire en PPM (partes por millón), la distancia del tractor, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento.
11. Después del registro de los datos, pida la firma del encargado de la labor que se esté haciendo, para tener una constancia de visita.
12. Realice el procesamiento y análisis de los datos.

## **ANEXO 2**

Santiago de Cali 15 de febrero de 2015

Sres.

A quien corresponda,

Por medio de la presente, nos comprometemos a entregar toda la información que se requiera para la realización del proyecto de grado en la Universidad Icesi de los estudiantes Julián Rincón y Carlos Ríos. La información que han requerido, siempre se ha suministrado siempre y cuando se tenga en poder o se solicita, para poder colaborar en la realización del proyecto.

Muchas gracias por la atención

Atte.

Carlos Alfredo Ríos Sáenz

Gerente Ara Ltda.

### ANEXO 3

 <p>UNIVERSIDAD <b>ICESI</b> Facultad de Ingeniería</p>	<b>Acta de visita</b>
--	-----------------------

**NOMBRE DE LA HACIENDA:** SAN DIEGO (AREA RURAL TULUA)

**NO. DE ACTA:** 1

**FECHA:** FEBRERO 24 de 2015

**LUGAR:** SUERTE # 5

**HORA:** 8:00 am

#### **PARTICIPANTES**

##### **NOMBRE**

##### **CARGO - EMPRESA**

Julián Rincón

Estudiante de PDG II

Carlos Ríos

Estudiante de PDG II

Claudia Lubo

Tutor temático

#### **INSTRUMENTOS DE MEDICION**

CO2 METER lutron GCH 2018

#### **DESARROLLO DE LA VISITA**

*Se llegó a la hacienda para la medición con el instrumento durante un periodo de 20 min.*

*En el momento de la medición el clima estaba perfecto para la labor, no había sol, había nubosidad y un poco de viento.*

#### **DATOS HACIENDA MOMENTO DE LA VISITA**

Humedad relativa: 54.50%

Temperatura: 29.3°C

Altitud: 1002 m

Viento promedio: 0.5 m/s

Coordenadas: N 4.03380 O 76.28427

Labor medida: Cosecha previa a quema

## ANEXO 4

 <p>UNIVERSIDAD <b>ICESI</b> Facultad de Ingeniería</p>	<b>Acta de visita</b>
--	-----------------------

**NOMBRE DE LA HACIENDA:** SAN DIEGO (AREA RURAL TULUA)

**NO. DE ACTA:** 2

**FECHA:** MARZO 9 de 2015

**LUGAR:** SUERTE # 5

**HORA:** 1:00 Pm

### **PARTICIPANTES**

#### **NOMBRE**

#### **CARGO - EMPRESA**

Julián Rincón

Estudiante de PDG II

Carlos Ríos

Estudiante de PDG II

### **INSTRUMENTOS DE MEDICION**

CO2 METER lutron GCH 2018

### **DESARROLLO DE LA VISITA**

*Se llegó a la hacienda para la medición con el instrumento durante un periodo de 20 min.*

*En el momento de la medición el clima estaba soleado, había pocas nubes y mucho viento.*

### **DATOS HACIENDA MOMENTO DE LA VISITA**

Humedad relativa: 40.50%

Temperatura: 37°C


Altitud: 1002 m

Viento promedio: 1.3 m/s

Coordenadas: N 4.03380 O 76.28427

Labor medida: Corte manual (corteros) después de quema

## ANEXO 5

 <p>UNIVERSIDAD <b>ICESI</b> Facultad de Ingeniería</p>	<b>Acta de visita</b>
--	-----------------------

**NOMBRE DE LA HACIENDA:** SAN DIEGO (AREA RURAL TULUA)

**NO. DE ACTA:** 3

**FECHA:** MARZO 13 de 2015

**LUGAR:** SUERTE # 4

**HORA:** 10:25 am

### **PARTICIPANTES**

#### **NOMBRE**

#### **CARGO - EMPRESA**

Julián Rincón

Estudiante de PDG II

Carlos Ríos

Estudiante de PDG II

### **INSTRUMENTOS DE MEDICION**

CO2 METER lutron GCH 2018

### **DESARROLLO DE LA VISITA**

*Se llegó a la hacienda para la medición con el instrumento durante la cosecha mecánica y se tomaron muestras durante se cosecho una hectárea...*

*En el momento de la medición el clima estaba soleado, había nubes además de una sensación térmica elevada.*

### **DATOS HACIENDA MOMENTO DE LA VISITA**

Humedad relativa: 60.0%

Temperatura: 32.2°C

Altitud: 1001 m

Viento promedio: 0.4 m/s

Coordenadas: N 3.59653 O 76.35105

Labor medida: Cosecha Mecánica

## **ANEXO 6**

### **CALCULOS DE CONSUMOS DE CADA HACIENDA POR TIPO DE COSECHA**

Se utiliza un supuesto de producción homogénea de 125 toneladas de caña cosechadas por cada hectárea cosechada en cada hacienda. Se utiliza esta cantidad ya que el promedio de producción nacional de caña de azúcar a nivel nacional es de 125 toneladas.

#### **COSECHA MECANICA**

##### **HACIENDA FLORINDA**

- **Consumos movimiento frente de cosecha mecánica (ida y regreso) (florinda)**

La distancia que se tiene desde la fábrica XYZ donde se estipula que es la base donde se encuentra el frente de cosecha que realizara la labor en la hacienda es de aproximadamente 6,4 KM desde este hasta la hacienda, sabiendo que se utilizaran solamente vías internas (destapadas) por lo cual la velocidad promedio encontrada en los tractores es de 35 Km/H y de los camiones (camas bajas) es de 25 Km/H.

- 3 cama bajas para el transporte de la cosechadoras (cama baja con cabezote kentworth)
  - 7 Litros / km descargado
  - 11 Litros / km cargado
  - 12,8 KM es ida y regreso a la hacienda
  - $(12,8 \text{ KM} \times 11 \text{ litros/ KM}) \times 3 \text{ tractocaiones} = 422,4 \text{ litros}$
- 5 tractores que transportan equipo (vagones, tanque de combustible, tanque de agua, tráiler taller)

Para el movimiento de la fábrica o punto medio hasta las haciendas los tractores, realizan la labor de transportar remolques con todo lo necesario para el trabajo en campo.

- Cada tractor demora media hora en llegar a la hacienda desde la fábrica XYZ por lo que ida y regreso una hora.
- $(35 \text{ litros / hora} \times 1 \text{ hora}) \times 5 \text{ tractores} = 175 \text{ litros.}$
- **Consumo corte mecánico**

Capacidad efectiva de campo de una cosechadora actual:



- 25 a 30 ton /hora

Para efectos del trabajo se considerara que la capacidad mantenida en una hectárea de cosecha es de 30 toneladas por hora.

- Velocidad promedio : 2,3 km/hora
- Consumo; 9 – 11 gal/hora

Consumo cosechadora:

- $4,16 \text{ (hora/ha)} * 10 \text{ (gal/hora)} = 41,66 \text{ galones}$  para cosechar una hectárea de caña de azúcar

- **Consumo alce**

Consumo tractor:

- $4,16 \text{ hora / ha} + (12,5 \text{ viajes} * \frac{1}{2} \text{ hora}) = 10,42 \text{ horas}$
- $10,42 \text{ hora} * (35 \text{ litros/hora}) = 364,7 \text{ litros}$  para cosechar una hectárea de caña de azúcar

- **Consumo movimiento de caña hacia la fábrica (mecánica)**

Como se concluyó para el movimiento de una hectárea de caña de azúcar solo se requiere un tren cañero con cuatro vagones se estipula los consumos de ida del tren cañero a la hacienda desde fabrica vacío y el regreso de este ya cargado.

Vagones para el transporte

- Longitud máxima para transporte 56,9 m (5 vagones – vías públicas)
- Auto volteo (2) Capacidad: 10 toneladas capacidad
- Transporte a fabrica (5)(7) Capacidad: 10 toneladas capacidad

Cantidad de viajes de un tractor para retirar la cosecha de una hectárea de caña de azúcar

- $125 \text{ (ton /ha)} / 10 \text{ ton ( vagón auto volteo)} = 12,5 \text{ viajes}$
- Cada viaje se demora  $\frac{1}{2}$  hora
- Tiempo de Cosecha:  $125 \text{(ton /ha)} / 30 \text{ (ton /hora)} = 4,16 \text{ horas/ha}$
- Cantidad de vagones a utilizar para transporte a fabrica
  - $125 \text{ (ton /ha)} / 32 \text{ (ton /vagón)} =$  Aproximadamente 4 vagones para transportar una hectárea de producción.
  - 1 tren cañero para transportar lo producido en una hectárea. Para los cálculos no se tomaron los consumos debido a la variabilidad que puede tener, además no se está realizando control sobre las emisiones producidas.
- Ida vagones vacíos (tracto camión)
  - Tracto camión descargado (consumo 7 litros x km y recorre 6,4 km)
  - $7 \text{ Litros /km} \times 6,4 \text{ KM} = 44,8 \text{ litros}$
- Regreso vagones cargados (tracto camión)
  - Tracto camión cargado (consumo 11 litros x km y recorre 6,4 km)
  - $11 \text{ Litros /km} \times 6,4 \text{ KM} = 70,4 \text{ litros}$

#### **COSECHA MANUAL CON QUEMA**

#### **HACIENDA SAN DIEGO (CODICIAS)**

- **Consumo movimiento frente de cosecha manual**

La distancia entre la hacienda y la fábrica ZXY donde se encuentra la maquinaria (alzadoras, tractor, etc.) es de 5,4 KM. además se considera que los corteros vienen de poblaciones cercanas en buses. Por otra parte el movimiento de la maquinaria se da por vías internas del ingenio que por disposiciones de campo se pueden transitar, los tractores pueden alcanzar una velocidad promedio de 30 Km/H y los tracto camiones de 20 Km/H.

Tractor

Consumo 35litros / hora

Velocidad:

- 5 tractores de 180 H.P.
  - ½ hora por recorrido = 1 hora ida y regreso de cada tractor
  - (35 litros/hora x 1 hora) x 5 tractores = 175 litros
- 2 camas baja para el transporte de dos alzadoras (cama baja con cabezote kentworth)
  - 10,8 KM ida y regreso
  - (10,8 Km x 11 litros/km) x 2 cabezotes =237,6 litros
- 3 buses para el transporte de los corteros.  
1 bus consume 24 galones en 120 km aproximadamente que son la ida y regreso a la hacienda, varía dependiendo la distancia.
  - Por lo tanto el consumo de los buses en el frente de cosecha es de: 72 galones de diesel. (272,54 litros)

- **Calculo quema**

Datos para estimación de emisiones de gases a causa de la quema (fuego)

- $L_{Fuego} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$
- A = 1 Ha (superficie quemada)
- $M_B = 31,25 \text{ Ton Ha}^{-1}$  (Biomasa quemada)
  - 125 TON / Ha x 25% (% cogollo hojas y demás dejado en campo en cosecha en verde = biomasa quemada)
- $C_f = 6,5$  (valor absoluto)(factor de combustión)
- $\text{CO}_2 = G_{ef} = 1515 \pm 177 \text{ g Kg}^{-1}$  de biomasa quemada (factor de emisión)
- $\text{CH}_4 = G_{ef} = 2,7 \text{ g Kg}^{-1}$  de biomasa quemada (factor de emisión)
- $\text{N}_2\text{O} = G_{ef} = 0,0,7 \text{ g Kg}^{-1}$  de biomasa quemada (factor de emisión)

Para poder ser estimación correcta para los cálculos realizados con el factor de estimación se realiza el cálculo con cada factor de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O y se suman para así tener los Kg de CO<sub>2</sub> emitidos bajo la guía de la IPCC.

- **Consumo incinerador**

- Un galón de mezcla de mitad y mitad de diesel y gasolina corriente para iniciar la quema de 4 hectáreas de caña de azúcar.
  - $\frac{1}{2}$  gal x  $\frac{1}{4}$  hectáreas = 0,125 gal de camp
  - $\frac{1}{2}$  gal x  $\frac{1}{4}$  hectáreas = 0,125 gal de gasolina corriente
- **Consumo alce**
- Cosecha manual con quema
  - 6.3 Lt/T
  - 6,3 lt/T x 125 T de caña= 787,5 Lt de diesel

- **Consumo movimiento de la caña a la fabrica**

Como se concluyó para el movimiento de una hectárea de caña de azúcar solo se requiere un tren cañero con cuatro vagones se estipula los consumos de ida del tren cañero a la hacienda desde fabrica vacío y el regreso de este ya cargado.

- Ida vagones vacíos (tractor por vías internas)
  - Ida se demora  $\frac{1}{2}$  hora
  - $\frac{1}{2}$  hora x 35 litros/hora = 17,5 litros
- Regreso vagones cargados (tractor por vías internas)
  - De regreso se demora  $\frac{3}{4}$  de hora y cargado por lo que el consumo aumenta a 45litros/hora
  - $\frac{3}{4}$  hora x 45 litros/hora= 33,75 litros

## **COSECHA MANUAL SIN QUEMA**

### **HACIENDA SAN DIEGO (CODICIAS)**

- **Consumo movimiento frente de cosecha manual**

La distancia entre la hacienda y la fábrica ZXY donde se encuentra la maquinaria (alzadoras, tractor, etc.) es de 5,4 KM. además se considera que los corteros vienen de poblaciones cercanas en buses. Por otra parte el movimiento de la maquinaria se da por vías internas del ingenio que por disposiciones de campo se pueden transitar, los tractores pueden alcanzar una velocidad promedio de 30 Km/H y los tracto camiones de 20 Km/H.

Tractor

Consumo 35litros / hora

Velocidad:

- 5 tractores de 180 H.P.
  - $\frac{1}{2}$  hora por recorrido = 1 hora ida y regreso de cada tractor
  - $(35 \text{ litros/hora} \times 1 \text{ hora}) \times 5 \text{ tractores} = 175 \text{ litros}$
- 2 camas baja para el transporte de dos alzadoras (cama baja con cabezote kentworth)
  - 10,8 KM ida y regreso
  - $(10,8 \text{ Km} \times 11 \text{ litros/km}) \times 2 \text{ cabezotes} = 237,6 \text{ litros}$
- 3 buses para el transporte de los corteros.  
1 bus consume 24 galones en 120 km aproximadamente que son la ida y regreso a la hacienda, varía dependiendo la distancia.
  - Por lo tanto el consumo de los buses en el frente de cosecha es de: 72 galones de diesel. (272,54 litros)

- **Consumo alce**

Cosecha manual sin quema

9,32Lt/t

$9,32 \text{ Lt/ T} \times 125 \text{ T de caña} = 1165 \text{ Lt de diesel}$

- **Consumo movimiento de la caña a la fabrica**

Como se concluyó para el movimiento de una hectárea de caña de azúcar solo se requiere un tren cañero con cuatro vagones se estipula los consumos de ida del tren cañero a la hacienda desde fabrica vacío y el regreso de este ya cargado.

- Ida vagones vacíos (tractor por vías internas)
  - Ida se demora  $\frac{1}{2}$  hora
  - $\frac{1}{2} \text{ hora} \times 35 \text{ litros/hora} = 17,5 \text{ litros}$
- Regreso vagones cargados (tractor por vías internas)
  - De regreso se demora  $\frac{3}{4}$  de hora y cargado por lo que el consumo aumenta a 45litros/hora
  - $\frac{3}{4} \text{ hora} \times 45 \text{ litros/hora} = 33,75 \text{ litros}$

**CALCULOS DE HUELLA DE CARBONO REALIZADOS EN KG DE CO2 EQUIVALENTE POR HECTAREA PARA CADA HACIENDA**

## DATOS REQUERIDOS PARA LOS CALCULOS

Factor Poder calorífico combustibles líquidos (Mj/Kg)	Factor de emisión del diesel (Kg/Tj)	Densidad del diese corriente (kg/L)	Factor conversión TeraJoules (TjJ/Kg)
42,67	73920	0,8528	0,000001

Factor Poder calorífico combustibles líquidos (Mj/Kg)	Factor de emisión de la gasolina (Kg/Tj)	Densidad de la corriente (Kg/L)	Factor conversión TeraJoules (TjJ/Kg)
42,67	69300	0,74	0,000001

Los dos cuadros anteriores se requirieron para lograr realizar los cálculos de la huella de carbono para las haciendas con el movimiento del frente de cosecha, como también la huella de carbono en Kg de CO<sub>2</sub> emitidos para la cosecha de una hectárea de caña de azúcar con una producción de 125 toneladas, para cada uno de los tipos de cosecha. A partir de los lineamientos de la IPCC se obtuvieron parte de los datos necesarios como son los factores de la fuente de emisión. Mientras que los datos de la densidad se obtuvieron de un documento de control de calidad realizada para los combustibles en Colombia.