

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de tres metodologías para obtener mapas de rendimiento de caña de azúcar en sistemas de corte manual, al momento del alce mecanizado.

Trabajo de graduación presentado por
Edgar José Humberto Martínez Mejía
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Tecnología agrícola y pecuaria

Guatemala
2016

Evaluación de tres metodologías para obtener mapas de rendimiento de caña de azúcar en sistemas de corte manual, al momento del alce mecanizado.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

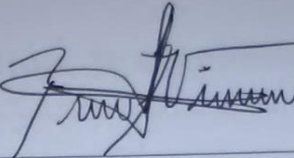


Evaluación de tres metodologías para obtener mapas de rendimiento de caña de azúcar en sistemas de corte manual, al momento del alce mecanizado.

Trabajo de graduación presentado por
Edgar José Humberto Martínez Mejía
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Tecnología agrícola y pecuaria

Guatemala
2016

Vo. Bo. :

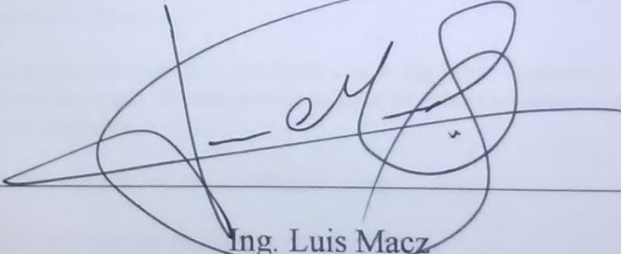
(f) 

Ing. Braulio Villatoro

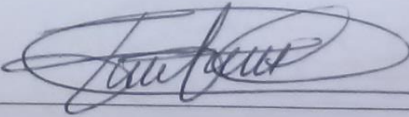
Tribunal examinador

(f) 

Ing. Braulio Villatoro

(f) 

Ing. Luis Macz

(f) 

Ing. Jorge Gómez

Fecha de aprobación: Guatemala 13 de abril de 2016

PREFACIO.

La agroindustria azucarera que es la mayor fuente de trabajo en la costa sur de Guatemala, se ha visto en la necesidad de implementar ideas innovadoras en sus distintas etapas de producción, con el fin de mejorar su productividad, de tal manera que ellos puedan competir a nivel internacional con los demás países productores.

Tecnología e innovación se unen al momento de la utilización de programas como los sistemas de información geográfica (SIG). En la actualidad CENGICANA lleva 10 años investigando y desarrollándose en los SIG teniendo grandes avances en dicho campo con el fin de sacarle provecho a la utilización de estos software para implementarlos en distintas etapas de producción del cultivo, así se está iniciando con la agricultura de precisión; para el inicio de este tipo de proyecto se debe comenzar con la obtención de mapas de rendimiento, pero para obtener estos mapas es necesario contar con las cosechadoras adecuadas para obtener estos datos y poder realizar los mapeos. En Guatemala, el ingenio Magdalena es el único que cuenta con este tipo de sistemas. CENGICANA en conjunto con UVG Campus Sur han unido conocimientos para evaluar tres distintas metodologías para la obtención de estos mapas, que se espera que sea el inicio de un proceso de investigación que genere desarrollo tecnológico para la agroindustria azucarera y Guatemala.

Para la evaluación de estas tres metodologías fue necesario llevarlas a los campos de producción donde se realizaron los primeros ensayos para generar estos mapas. Se llevó a cabo la evaluación de dichas metodologías en la finca *El Carrizal*, que está bajo la administración del *Ingenio La Unión S. A.*

Siendo los encargados de realizar la toma de datos en campo:

- P.A. Rodolfo Fuentes
- T.U. Herbert Fabricio González Donis
- T.U. Edgar José Humberto Martínez Mejía

Fue necesario contar con los datos de tonelaje que se obtenían en la báscula de peso del ingenio, que gracias al apoyo del departamento de Cosecha del ingenio se lograron obtener estos datos mediante el Sr. Carlos Reyes.

Se lograron obtener todos los datos que se necesitaban para llevar a cabo el mapeo, mediante el software Arc View 10.2 de Arc GIS, que con el apoyo del Ing. Braulio Villatoro se realizaron los mapas y se llevó a cabo el análisis pertinente para consolidar todo un proceso de investigación, y que se espera que sea el inicio de una nueva línea investigativa para el desarrollo integral de la agroindustria.

Cabe resaltar que este proceso investigativo no hubiera sido posible sin la ayuda de:

- El Señor nuestro Creador
- Mi Madre: Magda Violeta Mejía Ramírez de Martínez
- Mi Padre: Edgar Estuardo Martínez Mejía

- Mis Hermanas: Magda Violeta y Aura Lucía Argentina, Martínez Mejía.
- Mi Familia
- Mis compañeros de la Universidad “Bandón Agrícola”
- A Universidad del Valle de Guatemala Campus Sur, catedráticos, alumnos y personal agrícola.
- A Rodolfo Fuentes, asistente del programa de agronomía de CENGICAÑA.
- A mi asesor: Ing. Braulio Villatoro
- A la Coordinación de plagas de Ingenio *La Unión S, A.*

CONTENIDO

	página
PREFACIO.....	vi
LISTADO DE FIGURAS.....	viii
LISTADO DE TABLAS	ix
SINOPSIS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1. General.....	2
2.2. Específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. Agricultura de precisión.....	4
4.2. Agricultura de precisión en cultivos tradicionales.....	5
4.3. Mapas de rendimiento.....	5
4.4. Sistema de posicionamiento global.....	5
4.4.1. ¿Cómo funciona el GPS?.....	6
4.4.2. Usos para el GPS.....	6
4.5. Sistema de cosecha manual de caña de azúcar.....	6
4.5.1. Cosecha manual.....	6
4.6. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	7
4.6.1. Procesos de medición de producción.....	7
V. MARCO METODOLÓGICO.....	8
5.1. Evaluación de tres distintas metodologías para realizar mapas de rendimiento en caña de azúcar en el sistema de cosecha manual y alce mecanizado.....	8
5.1.1. Lugar de evaluación.....	8
5.1.2. Materiales.....	9
5.1.3. Fase de campo.....	9
5.2. Metodologías a evaluar.....	10
5.2.1. Metodología de 1 punto por cada acción de colecta de la alzadora (uñaada).....	10
5.2.2. Metodología de punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra.....	11
5.2.3. Metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula.....	12
5.3. Fase de gabinete.....	13
5.3.1. Metodología para la elaboración de mapas de rendimiento mediante el software ArcGISv.10.2.....	13
5.3.1.1. Descarga de punto del GPS.....	13
5.3.1.2. Generación de mapas de interpolación.....	15
5.3.1.3. Estimación de TCH.....	17
5.3.1.4. Generación de interpolaciones para obtención de mapas de rendimiento en cosecha manual al momento del alce al mecanizado.....	17
VI. RESULTADOS.....	21
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	26

VIII.	CONCLUSIONES.....	28
IX.	RECOMENDACIONES.....	30
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	31
XI.	ANEXOS.....	32
XII.	GLOSARIO.....	33

LISTA DE FIGURAS.

	Página
Figura 1: Ciclo de la agricultura de precisión.....	04
Figura 2: Fincas de producción de ingenio <i>La Unión S.A.</i>	08
Figura 3: Mapa de rendimiento de la metodología de 1 punto por cada ñazo de alzadora.....	22
Figura 4: Mapa de rendimiento de la metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra.....	23
Figura 5: Mapa de rendimiento de la metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula.....	24

LISTADO DE TABLAS.

	Página
Tabla 1: Categoría de colores de mapas de rendimiento.....	19
Tabla 2: Categoría de TCH de los mapas de rendimiento.....	19
Tabla 3: Estimación de TCH de mapas de rendimiento.....	21

SINOPSIS.

Se realizó la evaluación de tres distintas metodologías, para realizar mapas de rendimiento en caña de azúcar, dichas metodologías fueron:

- Metodología de 1 punto por cada acción de colecta de la alzadora (uña).
- Metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra.
- Metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula.

Con el propósito de obtener mapas de rendimiento expresado en toneladas métricas de caña por hectárea (TCH) en el cultivo de caña de azúcar, se realizó el presente estudio, el objetivo es tener una herramienta de bajo costo para la elaboración de mapas de rendimiento, en campos cultivados con caña de azúcar. El mapa de rendimiento es la base fundamental para el inicio de proyectos de agricultura de precisión, los mapas de rendimiento, son imágenes geo-referenciadas con una escala de colores, que indican el rendimiento del cultivo en un punto en específico, estos mapas generan información base, para la toma de decisiones en el proceso de la aplicación de dosis de los diferentes agroquímicos (fertilizantes, madurantes, herbicidas, fungicidas, etc.), así también, como la aplicación de riego (frecuencia e intensidad), que necesita el cultivo. El presente estudio se realizó evaluando sistemas de corte manual, al momento del alce mecanizado; utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés); mediante la toma de puntos en distintas fases en el proceso de alce de la caña de azúcar en los campos de producción (lote de alce). Los puntos obtenidos se correlacionaron con el peso obtenido por jaula de caña de azúcar, desde el campo de producción hasta la báscula de peso, en el patio de caña; este trabajo permitirá obtener en diferentes niveles de detalle la productividad de los campos del cultivo de la caña de azúcar; generando mapas de rendimiento para el análisis.

I. INTRODUCCIÓN.

La agroindustria azucarera de Guatemala ha iniciado la implementación de proyectos de agricultura de precisión, lo cual hará mejorar la eficiencia del uso y aplicación de agroquímicos, así como también de procesos agrícola. El ciclo de la agricultura de precisión inicia con la obtención de mapas de rendimiento, a través de los cuales es posible determinar la variabilidad que existe de un campo de producción a otro, y posteriormente se realiza el análisis de las causas de variabilidad, las cuales pueden ser: diferencias de características de suelo, diferencias en el manejo agronómico del cultivo, problemas de plagas, enfermedades o malezas, deficiencias de fertilización, mal uso de aplicación de agroquímicos, riego ineficiente, variedad de especies a producir. Se utilizaron distintas tecnologías de agricultura de precisión: sistema de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, para medir la productividad de los campos agrícolas.

Se desconoce con precisión cuál es la producción por unidad de área; lo que incide en calcular aproximaciones, de los niveles de producción de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH), y por ende se desconoce la eficiencia de producción actual.

En la zona cañera de la costa sur de Guatemala, no se cuenta con metodologías que permitan obtener mapas de productividad con los sistemas de cosecha manual utilizados actualmente por la agroindustria azucarera.

II. OBJETIVOS.

2.1. GENERAL

Evaluar tres metodologías para realizar mapas de rendimiento en caña de azúcar en el sistema de cosecha manual y alce mecanizado.

2.2. ESPECÍFICOS

- Generar los mapas de rendimiento de los lotes evaluados utilizando sistemas de información geográfica.
- Determinar la metodología más confiable, con base al análisis visual realizado.
- Comparar los mapas de rendimiento de caña de azúcar obtenidos con las metodologías evaluadas:
 - Metodología de 1 punto por cada ñazo de alzadora
 - Metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra.
 - Metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula.

III. JUSTIFICACIÓN.

Para implementar proyectos de agricultura de precisión en campos de producción agrícola; es necesario conocer la variabilidad espacial y temporal que existe en los campos. En el caso de caña de azúcar, actualmente se obtiene el dato de producción en el nivel de lote, en base a la medida en báscula de toneladas de caña cosechadas en un lote y el dato se divide entre el área del lote, para obtener el dato en toneladas de caña por hectárea (TCH).

Con esta investigación se estará aportando conocimiento de la mejor metodología de las tres evaluadas para obtener mapas de rendimiento en caña de azúcar.

Un lote de producción tiene un tamaño promedio de 10 hectáreas, en la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

En el transporte de la caña de los campos de producción hacia los ingenios azucareros se utilizan jaulas de distintas dimensiones y en distinto número (dobles, triples, tetras, hexas, heptas) dependiendo de la distancia y si la caña es transportada por rutas internas o por carreteras nacionales. Las jaulas son jaladas por un tráiler. En el desarrollo de este trabajo se midió el peso de todas las jaulas ingresadas a la báscula del ingenio del lote donde se realizó la evaluación de las metodologías.

IV. MARCO TEÓRICO.

4.1. Agricultura de precisión.

Ruiz (2011, 02) señala que: “Se refiere al conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola”

Variabilidad espacial: expresa las diferencias de producción dentro de un mismo lote, en un mismo ciclo de cultivo.

Variabilidad temporal: formula los cambios de producción de un mismo lote, en distintos ciclos de cultivo.

Ruiz (2011, 03) señala que: “No es simplemente la habilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local de parcelas, sino que debe ser considerada como la habilidad para controlar con precisión las labores de una empresa agrícola a un nivel local y de finca, así como tener los conocimientos suficientes para entender todos los procesos relacionados, de modo que puedan aplicarse los resultados obtenidos para obtener una meta determinada”

Ruiz (2011,06) señala que: “Historia: se inicia en los años 70, cuando el Departamento de Defensa de Estados Unidos comenzó a colocar los Satélites de Posicionamiento Global (GPS); para ayudar a las piezas de artillería a apuntar a sus blancos y para ayudar a los submarinos a localizar suposición”

Según, José Rodolfo Ruiz (2011, 06), mediante la aplicación del GPS + sistemas de control mecánico, electro-hidráulico y sensores, ayuda a la agricultura a que se realicen labores agrícolas de forma precisa y controlada, por medio de la telemetría se puede realizar labores como: la fumigación sin marcadores, localización de obstáculos, etc.

Figura 1. Ciclo de la agricultura de precisión



Fuente: (Slideshare.net). 08 de 07 de 2015, 11:00 a.m.

4.2. Agricultura de precisión en cultivos tradicionales.

5

Los sistemas tradicionales de producción tratan las propiedades agrícolas de forma homogénea tomando como base condiciones promedio de las extensas áreas de producción para implementar las acciones correctivas de los factores limitantes. Con el fin de obtener unos sistemas de producción más competitivos y aumentar la eficiencia agronómica del sector productivo, se incorporan nuevas técnicas para incrementar y/o mantener la productividad de los cultivos, buscando, al mismo tiempo, reducir los costos de producción.

PROCISUR (2003, 20) señala que: “el resultado de la cosecha de dos lotes con soja y maíz que suman 265 hectáreas, en la región del Plan Alto Médio “Gaúcho”, en Río Grande del Sur, Brasil, confirman el aumento de productividad y la reducción de costos prometida por la agricultura de precisión. En el lote de 132 hectáreas cultivando maíz, el rendimiento alcanzó 5.880 kg/ha. El resultado es 20 por ciento superior al promedio regional, 4.680 kg/ha. El número también es 13 por ciento superior al promedio de 5.100 kg/ha obtenido en otros cultivos de la misma propiedad, la Hacienda Anna, donde se aplicaron los métodos convencionales. En el área cultivada con maíz, se alcanzó un ahorro de 18 por ciento en la aplicación de fertilizante”.

4.3. Mapas de rendimiento.

El mapa de rendimiento produce información detallada de la producción del campo y concede parámetros para realizar diagnósticos y corregir las causas de bajos rendimiento en un área de campo más específica, con el fin de estudiar porque motivo el rendimiento es más alto en algunas zonas, y dichos registros pueden establecer los siguientes parámetros:

- Área (Ha, Mz, etc.)
- Variedades (especie en producción)
- Tiempos (Fecha de producción del cultivo)

La Universidad de Palermo, señala que: (19:55 hrs. 05 de 04 de 2015) “Un monitor de rendimiento es un sistema que recoge la información procedente de distintos sensores y gracias a un software calcula el rendimiento de un cultivo en el tiempo y en el espacio, basándose en la información de localización de cada parcela proporcionada por el sistema de localización satelital GPS. El resultado se representa en un mapa gráfico”

IDESIA (2011, 63) señala que: “Los Mapas de Rendimiento (MR) son imágenes geo-referenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto en específico. Por lo general, son desarrollados por científicos y especialistas de la Agricultura, donde los interesados (agricultores, cosechadores y productores) deben pagar un precio alto para obtenerlos. Los MR son entradas para el proceso de aplicación de Dosis Variable (DV) de los distintos productos que necesita un cultivo (fertilizantes, herbicidas, riegos, etc.). Las cosechadoras, fertilizadoras, y otras maquinarias, necesitan de la instalación de un computador de abordo para el control y monitoreo, también es válido el uso de sensores de flujos para medir y registrar el rendimiento puntual”.

4.4. Sistema de posicionamiento global.

Según, Quevedo (2012, 02): “El Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés "Global Positioning System") es un sistema de navegación compuesto de una flotilla de satélites puestos en órbita por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, y sus estaciones en tierra firme.

Usando GPS, uno puede determinar automáticamente su posición (latitud y longitud) en la Tierra. Funciona continuamente en todas partes del mundo y es disponible a todos libre de cargos. Con orígenes en aplicaciones militares secretas, GPS se ha convertido en parte de nuestra vida cotidiana”

4.4.1. ¿Cómo funciona el GPS? Según, University of Florida (21:30 hrs. 07 de 08 de 2015) que cita: “ El GPS depende en que cada satélite en la constelación transmita su posición exacta y una señal de tiempo extremadamente precisa a los receptores en la tierra. Dada esta información, los receptores GPS pueden calcular su distancia al satélite, y combinando esta información de cuatro satélites, el receptor puede calcular su posición exacta usando un proceso llamado trilateración”.

4.4.2. Usos para el GPS. El desarrollo de posicionadores de GPS precisos y a precios razonables, y la miniaturización de componentes electrónicos, han hecho que el GPS se encuentre disponible a casi todo el mundo, lo cual ha facilitado que el GPS esté convirtiéndose en una necesidad en muchas facetas de la vida cotidiana.

Según, Gina Catalina Quevedo, (2012,02) Agricultura: La navegación por satélite es una herramienta que puede ayudar a los agricultores a aumentar su producción y a mejorar la eficiencia en el manejo agronómico del cultivo. Sistemas de GPS ubicados en los tractores y en otros vehículos agrícolas, junto con sofisticados sistemas de información geográficos utilizan varios métodos para recoger datos sobre las condiciones del suelo, humedad, temperatura y muchas otras variables. Con esta información, el sistema puede controlar muchos aspectos de la operación agrícola, por ejemplo, la intensidad de siembra por terreno, la aplicación de fertilizantes e insecticidas, los patrones de riego y mucho más. Estos sistemas también pueden ayudar a los agricultores a mantenerse al tanto de la operación de sus fincas, manteniendo registros de rendimiento, historia de aplicación de productos químicos, análisis del suelo, registros de pérdidas y ganancias por terreno, y muchos otros. Aplicaciones modernas de la tecnología GPS también incluyen el posicionamiento y la operación de equipos de agricultura robóticos en el campo.

4.5. Sistema de cosecha manual de caña de azúcar.

En los ingenios azucareros hay un departamento que se encarga de realizar la coordinación de dicha labor. Regularmente por zafra (periodo de cosecha del cultivo de caña de azúcar), se contrata personal para que realicen dicha labor. Según AZASGUA (2016), se generan 350,000 empleos directos e indirectos, de estos 35,000 empleos corresponden a cortadores de caña.

4.5.1 Cosecha manual. El éxito de un programa de corte manual de caña depende de la programación y coordinación anual de actividades que deben ajustarse cada mes de acuerdo con el estado de maduración del cultivo, la variedad, la eficiencia, disponibilidad de mano de obra y maquinaria.

El frente de corte (órgano encargado del corte de caña al momento de cosecha) está conformado por las siguientes personas.

1. Brechero: determina el área de corte de cada operario de corte.
2. Operador de corte: persona que corta la caña.
3. Monitor: persona encargada de verificar que el operador de corte realice de manera correcta y eficiente el corte.
4. Cabo-corte: encargado de la asistencia y disciplina del frente de corte.
5. Auxiliar de corte: encargado de vigilar varios frentes en esta actividad.

Frente de alce está conformado por las siguientes personas.

1. Operador de alzada: maneja la alzada, para la recolección de las choras de caña postradas, y las carga a una jaula, tirada por un tractor.
2. Operador de tractor: maneja el tractor, tirando una jaula, paralelamente con la alzada, para facilitar el alce de la jaula.
3. Apuntador: encargado de anotar en la computadora de mano “handheld” los datos de los cortadores que se encargaron de realizar la chora, así como también los datos de tractor, alzada.
4. “Zanatero”: operario que se encarga de juntar las cañas que la alzada no puede recoger o que deja tiradas al momento del llenado de la jaula.
5. Enganchadores: personas que se encargan de enganchar y desenganchar las jaulas del tractor, para luego colocarle fajas y engancharlas al camión que las transportará hacia la fábrica.
6. Encargado de envío: persona que toma los datos de entrada de la jaulas vacías y llenas de los camiones que llegan al frente, así como de entregar los reporte que el apuntador le entrega, y enviarlos en los camiones a la fábrica, donde cuantifican el peso y que remuneración deben de devengar todos los miembros del frente de cosecha.
7. Encargado de alce: persona que supervisa o todas las personas del frente de alce.

4.6. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Según la Asociación Naturland. (2000, 05): “La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tiene su origen genético en Nueva Guinea. La planta pertenece a la familia Poaceae. La caña es una planta C-4 con alta eficiencia fotosintética. Es un cultivo duradero y muy auto compatible. Según variedad y condiciones locales, la planta forma entre 4 y 12 tallos que pueden crecer entre 3-5 m de altura. El contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre 11 y 16%”

4.6.1. Procesos de medición de producción. La forma de medir la producción en el cultivo de caña de azúcar que va a ser procesada en la fábrica de azúcar (ingenio azucarero) es mediante el peso que registran las jaulas que transportan la caña de azúcar desde el campo hasta la entrada de la fábrica; el peso se registra en toneladas cortadas por número de lote. Al inicio del proceso industria todavía en el patio de caña se realiza una muestra la cual se procesa en el laboratorio, donde se obtiene el rendimiento de sacarosa que contiene la caña que es recolectada de las fincas; Al final del proceso se reporta la producción con las siguientes variables:

- Toneladas de caña por hectárea (TCH)
- Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)
- Grados brix de la caña (sólidos solubles presentes en una solución)

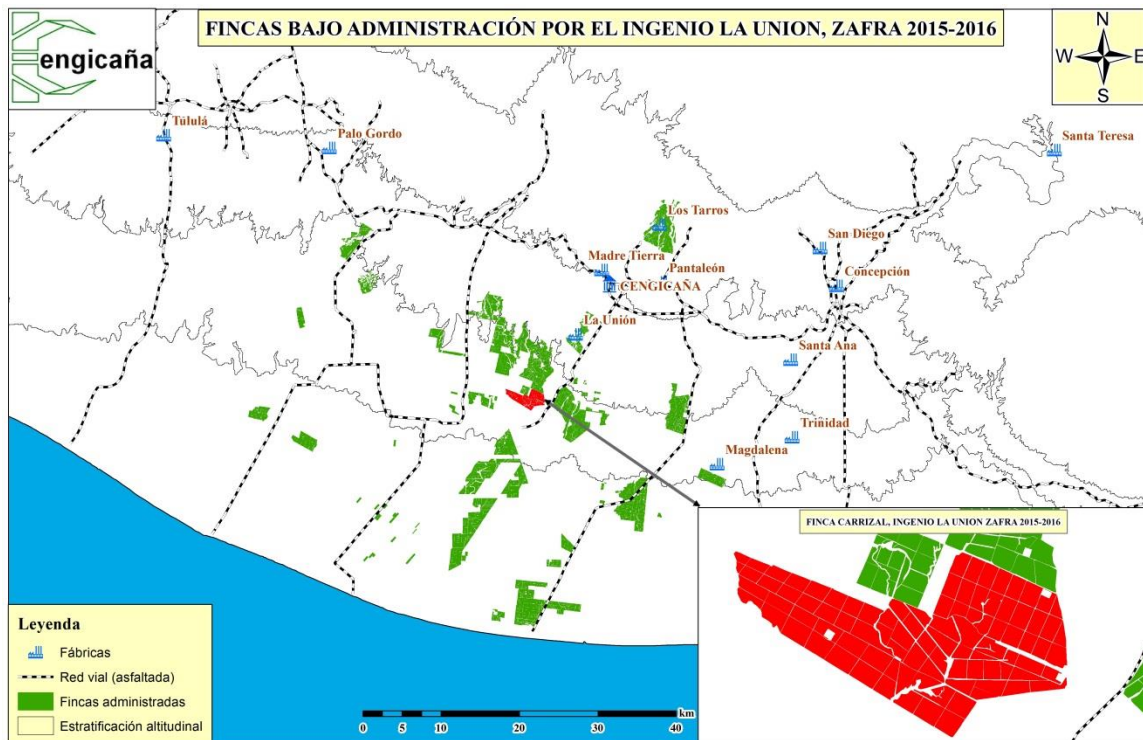
V. MARCO METODOLÓGICO.

5.1. Evaluación de tres distintas metodologías para realizar mapas de rendimiento en caña de azúcar en el sistema de cosecha manual y alce mecanizado.

- Metodología de 1 punto por cada acción de colecta de la alzadora (uña).
- Metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra.
- Metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula.

5.1.1. Lugar de evaluación:

Figura 2. Campos de producción de ingenio *La Unión*



Fuente: CENGICAÑA, 2016.

Se realizó mediante tres fases:

- Fase de campo, se obtuvieron los datos en campo a través de la geo referenciación de los puntos con los dispositivos GPS, en el área de cosecha de un lote de producción comercial del cultivo de caña de azúcar, no tomando en cuenta variedad, altitud, número de cortes, etc.
- Fase de gabinete, se recopilaron y tabularon de la información generada, para la elaboración de los mapas de rendimiento, dicha información fue recabada en el periodo de la zafra 2015-2016.

- Discusión de los resultados, con el fin de establecer la metodología más confiable al momento de la elaboración de mapas de rendimiento.

5.1.2. Materiales:

- Navegador de sistema GPS
- Computadora
- Software ArcGIS
- Mapas de fincas
- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica
- Tractores
- Alzadora
- Jaula cañera
- Personal del frente de alce manual

5.1.3. Fase de campo:

- Establecer el área a evaluar.
- Ubicar el lote o pante donde se realizará la prueba. (No se tomó en cuenta la finca, fecha de corte entre otros factores, siempre y cuando el lote a evaluar haya tenido el manejo agronómico de producción comercial). En esta investigación lo importante es validar la metodología de elaboración de mapas de rendimiento, por eso los factores mencionados no se consideran. El único requisito que debe tener el lote es que sea corte manual con alce mecanizado y haber sido manejado agronómicamente como un lote comercial.
- Se espera que termine el corte de la caña dentro del lote seleccionado, siempre y cuando el frente de alce no haya iniciado su labor.
- Al iniciar el alce dependiendo de la metodología a evaluar se procede a georeferenciar el punto de interés.

5.2. Metodologías a evaluadas:

5.2.1. Metodología de 1 punto por cada acción de colecta de la alzadora (uñaada). Esta metodología se basa en la obtención de un punto en cada lugar donde la alzadora realiza la labor de levantar la caña ya cortada y la deposita en las jaulas en las cuales será trasladada al ingenio. Se obtiene geo referenciados con el receptor de GPS, con la opción “*mark waypoint*”, que corresponderá a ser el mismo número que las uñaadas totales que se necesitó para que la jaula a ser evaluada sea llenada por completa.

Para poder replicarlo se debe realizar de la siguiente manera:

- Identificación y ubicación del lote que será alzado y trasladado a la fábrica, para su industrialización.
- Establecer el punto geo referenciado con el dispositivo GPS, con la opción “*mark waypoint*” en el punto de partida del alce de la caña, dejando una distancia pertinente entre la alzadora y el lugar donde se establecerá el punto de referencia, para proceder a realizar la evaluación.
- Anotar en la libreta de campo el nombre de la metodología a ser evaluada, el número correlativo de la opción “*mark waypoint*” que aparece en el GPS para delimitar el punto de inicio de la base de datos de la jaula a ser evaluada.
- Establecer un punto geo referenciado con el dispositivo GPS en cada lugar que la alzadora realice la labor de alce en la chorra, con la opción “*mark waypoint*” hasta que finalice de llenar la jaula evaluada. (Dejando una distancia pertinente entre la alzadora y el lugar donde se establecerá el punto de referencia). Se tiene que esperar a que la alzadora realice la acción de la cosecha de la caña cortada, de tal manera que se establezca en el lugar preciso el punto geo referenciado, ya que no se puede tomar el “*waypoint*” hasta que se realice dicha labor.
- Anotar en la libreta, el correlativo del GPS en cada punto de” *mark waypoint*” donde se realice la labor de alce en la chorra.
- Anotar en la libreta de campo, el número correlativo que aparece en el GPS, de la función de” *mark waypoint*” para delimitar el punto final de la base de datos de cada jaula del lote a ser evaluado.

- Solicitar al apuntador que opera la handheld, la nota de envío de la jaula, donde se encontrará el código de la jaula, número de ñadas de la alzadora, lote, fecha, frente y hora de alce, con el cual se solicitara el peso en báscula, que obtuvo la jaula que se evaluó.

5.2.2. Metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra. En

ésta metodología, se obtienen puntos georeferenciados en el punto de inicio de la parcela cortada por cada uno de los cortadores. Se reducen los puntos geo-referenciados, pero se aumenta la distancia entre punto que se geo-referencia mediante la opción de “*mark waypoint*”, en comparación con la metodología de cada ñada. La metodología utiliza los pasos siguientes:

- Identificación y ubicación del inicio del lote, que será alzado y trasladado a la fábrica, para su industrialización.
- Establecer el punto geo-referenciado con el dispositivo GPS, con la opción “*mark waypoint*” en el punto de partida del alce de la caña, dejando una distancia pertinente entre la alzadora y el lugar donde se establecerá el punto de referencia, para proceder a realizar la evaluación.
- Anotar en la libreta de campo el nombre de la metodología a ser evaluada, el número correlativo de la opción “*mark waypoint*” que aparece en el GPS para delimitar el punto de inicio de la base de datos de la jaula a ser evaluada.
- Establecer un punto con la opción “*mark waypoint*” que aparece en el GPS para delimitar donde empezó la sección de la chorra que el cortador realizó, de la cual la caña cortada será depositada en la misma jaula; se ha de tomar en cuenta solo el número de cortadores que fue requerido para llenar la jaula, y ser mandada a báscula, (Dejando una distancia pertinente entre la alzadora y el lugar donde se establecerá el punto de referencia).
- Anotar en la libreta, el correlativo del GPS en cada punto de” *mark waypoint*” donde se realice la labor de alce en la chorra, de cada cortador.

- Anotar en la libreta de campo, el número correlativo que aparece en el GPS, de la función de” *mark waypoint*” para delimitar el punto final de cada sección que realizo cada cortador, solo tomar en cuenta la cantidad de cortadores que se necesitó para llenar cada jaula del lote a ser evaluado.
- Solicitar al apuntador que opera la handheld, la nota de envío de la jaula, donde se encontrará el código de la jaula, número de uñadas de la alzadora, lote, fecha, frente y hora de alce, con el cual se solicitara el peso en báscula, que obtuvo la jaula que se evaluó.

5.2.3. Metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula. Con la metodología de obtención de un punto geo referenciado con el dispositivo GPS, se marca un punto con la opción “*mark waypoint*” donde inicio a llenar la jaula y otro al finalizar el llenado de la misma, En esta metodología, se aumenta la distancia entre puntos obtenidos. La metodología se realiza de la siguiente manera:

- Identificación y ubicación del inicio del lote, que será alzado y trasladado a la fábrica.
- Establecer el punto geo-referenciado con el dispositivo GPS, con la opción “*mark waypoint*” en el punto de partida del alce de la caña, dejando una distancia pertinente entre la alzadora y el lugar donde se establecerá el punto de referencia, para proceder a realizar la evaluación.
- Anotar en la libreta de campo el nombre de la metodología a ser evaluada, el número correlativo de la opción “*mark waypoint*” que aparece en el GPS para delimitar el punto de inicio de la base de datos de la jaula a ser evaluada.
- Establecer 1 punto geo-referenciado con el dispositivo GPS, con la opción “*mark waypoint*” de inicio del alce de la chorra y el punto de final del alce de la chorra. (Dejando una distancia pertinente entre la alzadora y el lugar donde se establecerá el punto de referencia).
- Anotar en la libreta de campo, el número correlativo que aparece en el dispositivo GPS con la opción” *mark waypoint*” para delimitar el punto inicio y el punto final de la base de datos de cada jaula del lote a ser evaluado.

- Solicitar al apuntador que opera la handheld, la nota de envío de la jaula, donde se encontrará el código de la jaula, número de ñadas de la alzadora, lote, fecha, frente y hora de alce, con el cual se solicitara el peso en báscula, expresado en toneladas métricas de caña por hectárea, que obtuvo la jaula que se evaluó.

5.3. Fase de gabinete.

En esta fase de procedió a la elaboración de los mapas de rendimiento obtenido con cada metodología evaluada. El análisis geográfico se realizó con el software ArcMap de ArcGIS v. 10.2 para hacer las comparaciones visuales entre las metodologías evaluadas.

La generación de los mapas se desarrolló en cuatro etapas:

5.3.1. Metodología para la elaboración de mapas de rendimiento mediante el software ArcGIS v. 10.2.

5.3.1.1. Descarga de puntos del GPS.

- Se abre el programa *MapSource*
- Se abre lo ventana archivo > abrir, seleccionar el archivo .gpx que se encuentra en la memoria del GPS; y se abre el archivo.
- Utilizando Microsoft Excel, se trabaja la base de datos que tiene los siguientes campos:

Número (No.): es el número de *waypoint* con el cual registra el navegador GPS cada una de las localidades.

Altitud: altura en metros sobre el nivel del mar de la localidad.

Fecha: fecha y hora en la cual se generó la lectura.

X_UTM: La coordenada en "X" (longitud) de cada punto.

Y_UTM: La coordenada en “Y” (latitud) de cada punto.

Peso: el peso registrado por la jaula en la báscula.

Uñadas: número de veces que la alzadora, realiza labor del alce de caña.

Metodología: Que tipo de metodología se está empleando (Punto uñada, punto cortado, punto inicio-final.)

Peso uña: es la relación entre el peso registrado por la jaula en la báscula y el número de uñadas que se utilizaron al momento de llenar la jaula.

- La tabla generada en el programa Excel, no debe de contener formulas, bordes, texto con negrita.
- Se abre la ventana de ArcMap> *Add Data*> seleccionar la carpeta donde se encuentra el archivo de Excel> *Add*.
- Convertir el archivo Excel a un *shapefile* (SHP).

Clic derecho sobre el archivo de Excel cargado> *Display XY Data*>

- Ubicación de campos.

En la ventana de X Field: se coloca la coordenada en X_UTM, en la ventana de Y Field: se coloca la coordenada en Y_UTM > Edit.

- La ventana *Spatial Refencence Properties*> *select*.
- Ventana donde se tiene la plantilla del sistema de coordenada que será utilizado> WGS 1984 UTM Zona 15N.prj> *Add*>Aplicar>Aceptar>OK>Aceptar.
- Sobre la hoja eventual que genero el proceso de la proyección de las coordenadas ingresadas al software> Click derecho> *Data*> *Export Data*>*Browse*>Colocar el nombre al archivo que se va a generar>*Save*>OK>Si/No.

5.3.1.2. Generación de mapas interpolados. Según, ESRI, 11:31 a.m. 31 del 01 de 2016: La interpolación es una herramienta integrada en el software ArcGIS que sirve para predecir valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico.

- Abrir la ventana del software ArcMap>Add Data.
- Cargar el shapefile de puntos que fueron geo referenciados y el shapefile de los polígonos de los lotes evaluados.
- Abrir el software ArcGIS 10.2> *Add Data*> seleccionar *shapefile*_de lotes y puntos geo referenciados> *Add*.
- Se realiza una interpolación en el software ArcGIS para obtener el mapa de rendimiento.

En el software ArcGIS abrir la ventana de herramientas *ArcToolbox*> *Spatial Analyst Tools*> *Interpolation* “doble Click” > IDW “Seleccionar”.

En la ventana de la herramienta IDW> *Input point features* “seleccionar el *shapefile* de puntos geo referenciados”.

Z Value field “La variable que será interpolada”> *Peso_uña*.

Output raster “seleccionar la ubicación de donde se guardara el archivo y se coloca el nombre> *Save*
>*Environment Settings*> *Processing Extent*> seleccionar el_shapefile_de polígonos de los lotes a ser analizados>*Raster Analysis*> *Mask* “seleccionar el shapefile de polígonos> OK>OK.

- Generación de rango de análisis de la información.

Sobre la capa de la interpolación IDW generada de la variable *Peso_uña* “Doble click izquierdo”> *Layer Properties*> *Symbology*> *Classified*> Seleccionar el número de clases a utilizar> *Classify*>

Break Values “se asigna los valores que serán analizados> OK> *Color Ramp* “Seleccionar los colores a utilizar”> Aplicar> Aceptar.

- Exportar el mapa generado.

En la ventana de ArcMap ubicarse en la pestaña *File>Page and Print Setup>Size* “Carta”> *Orientation* “Landscape”> *Check en “Show Printer Margins on Layout*> OK> *Layout View* .

Clic derecho sobre el la capa de interpolación generada, “*Zoom to layer*”

- Edición del mapa.

Seleccionar la vista previa del mapa> *Insert> Title* “Nombre del título del mapa”

Insert> Legend “campos a ver en la leyenda>Siguiente> Título de la leyenda>Siguiente>Siguiente>Siguiente>Finalizar.

Insert> North Arrow Selector “seleccionar el dibujo que se desea colocar”>OK.

- Exportar en archivo de imagen el mapa generado.

Se abre la ventana *File* de ArcMap> *Export Map*> Nombre “Nombre del archivo” > Tipo “Tipo de archivo que se generará (JPG, PDF, etc.)>Guardar

- Interpolación de Kriging .

Abrir la ventana de ArcMap> *ArcToolbox >Spatial Analyst Tools*> *Interpolation*> *Kriging* “Doble click izquierdo”

Input point features “seleccionar el shapefile de puntos geo referenciados” > *z Value field* “La variable a interpolar”> *Output surface raster* “Lugar donde se guardara el archivo generado, colocarle nombre que se desea que tenga”> *Save*> *Environment Settings*> *Processing Extent* “Seleccionar el *shapefile* de lotes evaluados”> *Raster Analysis*> *Mask* “Seleccionar el shapefile de polígonos de los lotes evaluados”> OK> OK.

5.2.1.3. Estimación de TCH. Abrir el software ArcGIS 10.2> *Add Data*> seleccionar *shapefile* de lotes y puntos geo referenciados> *Add*> *ArcToolbox*> *Data Management Tools*> *Features*> *Features To Line*> *Input Features* “Seleccionar el shapefile de puntos”> OK.

ArcToolbox>*Analysis Tools*> *Proximity*> *Buffer*> *Input Features* “Seleccionar el shapefile de líneas que se trabajó anterior mente” > *Output Features Class* “Nombre y lugar donde se guardara el archivo”> *Save*> *Distance*> *Linear unit* “4.5”> *Meters*> OK.

Para obtener el shapefile de TCH se realiza un *Joins*: Click derecho sobre el *Buffer* generado>*Joins and Relates*> *Join*> *Join data from another layer based on spatial location*> *Each polygon will be given a summary of the numeric attributes of the points that fall inside it, and a count field showing how many pints fall inside it*> Seleccionar el lugar y asignación del nombre del archivo> *Save*> OK.

A la tabla de atributos generada se le agrega 2 columnas; Click derecho sobre el shapefile que será analizado> *Open Attribute Table*> *Table Opcion*> *Add Field* “nombre de la columna”> *Type*> *Double*> OK: Área; donde se calcula el área por medio del ArcGIS, Click derecho sobre la columna creada> *Calculate Geometry*> *Unists*> *Meters*> OK.

Columna de TCH: Click derecho sobre la columna> *Fild Calculator* (Formula: $(10000 * [PESO] / [AREA])$).> OK.

Seguidamente se trabaja la interpolación IDW y Kriging utilizando la variable TCH para interpolar

5.2.1.4. Generación de interpolaciones para obtención de mapas de rendimiento en cosecha manual al momento del alce mecanizado.

Elaboración de polígonos: basado en los datos que se generó por cada una de las metodologías a evaluar se añadió una columna con el encabezado de “No JAULA”, donde a través del número de envío se inició colocando un correlativo de 1, 3, 4..... para cada una de las filas con datos que integraban el envío completo hasta llegar al correlativo 40 que equivale a igual número de jaulas.

Seguidamente se preparó cada base de datos en el programa de Excel para ser cargada al programa de ArcGIS v10.2. , donde a través de la herramienta Add Data se cargó la tabla de Excel conteniendo los siguientes campos: Metodología, No_Jaula, apuntador, *waypoints*, coordenadas en formato UTM, No_uñadas y Peso_Toneladas. Estando la tabla cargada se procede a transformar los datos a una shapefiles utilizando este procedimiento: Clic derecho sobre la tabla>*Display XY Data*>*X Field*: selecciono X, *Y Field*: selecciono Y>*Edit*>*Selec*>*Projected Coordinate Systems*>WGS 1984 UTM Zone 15N.

Estando el shapefile de puntos generada se colocó sobre el shapefile del polígono del lote 3-16 de finca Carrizal, donde se colocaron puntos de referencia utilizando una herramienta para trazar los polígonos *Editor*>*Star Editing*>*Distance-Disntace*> *Direction*>*Disntance*, después se formaron los polígonos según la distribución de los puntos tomados con el navegador de GPS y agrupados por jaulada para poderlos identificar al momento de realizar los trazos de Norte a Sur simulando la dirección de los surcos, cada trazo se realizó con una separación de 9 m que es el ancho de 6 surcos de caña separados a 1.5 m y que al momento del alce son recolectados por una alzadora en una recolección o pasada.

Con la cuadrícula dibujada se procedió a asignarles el tamaño del polígono según los puntos que tuviera distribuidos cada jaulada, generándose un total de 40 polígonos que es el mismo números de jauladas recolectadas del lote evaluado, el procedimiento que se utilizó para cortar los polígonos fue: *Editor*>*Star Editing*>*Cut Polygons Tool* y para unir los polígonos fue: *Editor*>*Star Editing*>*Merge*.

Interpolaciones y edición de mapas: en el mismo programa de ArcGIS v10.2, se realizaron dos interpolaciones por metodología una utilizando la metodología de IDW y otra la metodología de Kriging, utilizando el siguiente procedimiento:

Se cargaron en la ventana de ArcMap los shapefiles de los puntos, según la metodología que correspondiera y el polígono del lote evaluados.

Abrimos la herramienta *ArcToolbox*>*Spatial Analyst Tools*>*Interpolation*>seleccionamos la metodología a usar>IDW/Kriging>*Input point feature* (seleccionar *shapefile* de puntos)>*Z value field* (seleccionar la columna TCH)>*Output Raster* (nombre del *raster*)>*Output cellsize*

(0.5m)>Environments>Processing Extent>Extent (seleccionar el *shapefile* del polígono del lote)>Raster Analysis>Mask (seleccionar el *shapefile* del polígono del lote)>OK>OK.






Estando la interpolación generada procedemos a calibrar los rangos de TCH y los respectivos colores para poder ser observados en el *Raster* utilizando los siguientes pasos: Doble clic sobre el nombre del *Raster*>Classified>Classes(5 clases)>Classification>Break Values(90, 120, 150, 180 y mayor 180)>Aceptar.

Tabla 1: Categoría de colores de mapas de rendimiento

Categoría TCH	TCH		
	Rojo	Gris	Blanco
< 90	255	0	0
90-120	230	152	0
120-150	152	230	0
150-180	151	223	255
> 180	0	92	230

Elaborado: Autor.

Tabla 2: Categoría de TCH de los mapas de rendimiento

Categoría TCH	COLOR
< 90	
90-120	
120-150	
150-180	
> 180	

Elaboro: Autor

Después de tener todas las interpolaciones se generó dos mapas por cada metodología siendo un total de 6 mapas, exportados en formato JPG y PDF, utilizando la herramienta File del ArcGIS v10.2.

Con la siguiente metodología *File*>Export Map>Nombre (según la metodología que correspondiera)>Tipo: (JEPG ó PNG)>Guardar.

Obtención de TCH y variables de respuesta por cada metodología con el método de interpolación de *Kriging*.

En la ventana de ArcGIS v10.2. , se debe de cargar los shapefiles de polígono del lote en estudio y el *Raster* generado por la interpolación y se siguen los siguientes pasos:

Abrir la ventana de *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Zonal>Zonal Statistics as Table>*en la venta *de Input Raster or feature zone data* (colocar el *shapefile* del polígono del lote)>*Zone field* (Colocar la columna que se analizara en este caso es la de TCH)>*Input value Raster* (Seleccionar el *Raster* de la metodología que corresponda)>*Output table* (colocar nombre y seleccionar ubicación de la tabla resultante)>OK.

6. RESULTADOS.

Comparar la producción de caña de azúcar de las metodologías empleadas para realizar los mapas de rendimiento del cultivo:

El cuadro resultante de la obtención promedio de TCH por cada una de las metodologías es la siguiente:

Tabla 3: Estimación de TCH de mapas de rendimiento

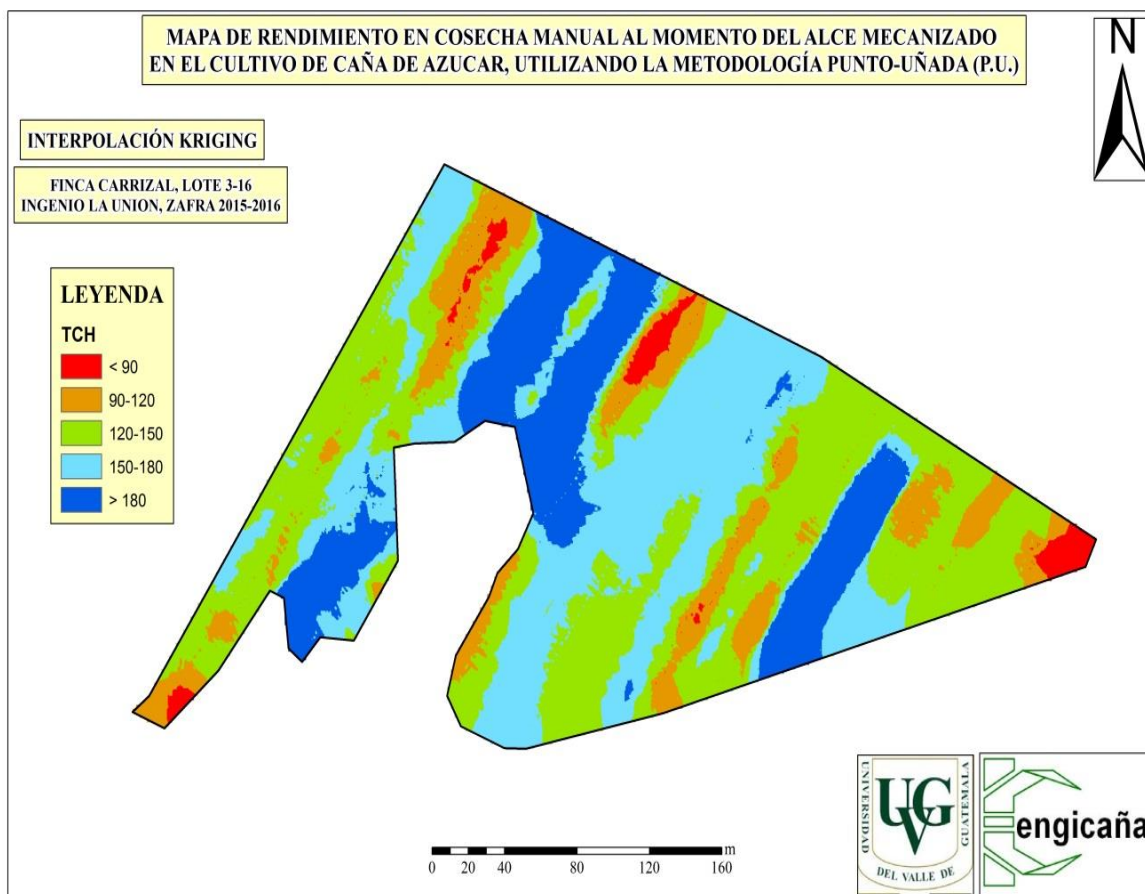
DATOS GENERALES INTERPOLACIÓN TRES METODOLOGÍAS EVALUADAS					
Metodología	No punto GPS	Valor mínimo TCH	Valor máximo TCH	Media TCH	Porcentaje de variabilidad del TCH respecto a báscula
INICIO-FINAL	40	133.52	184.31	154.84	2.49
PUNTO-UÑADA	1,917	61.32	305.6	157.67	4.41
PUNTO-CORTADOR	495	84.25	271.85	157.9	4.56
BÁSCULA	-	-	-	151	0

Elaboro: Autor.

El valor menor de la desviación estándar de la metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se describe con el valor del porcentaje de variabilidad que también es menor (2.29%) en TCH real, según los análisis realizados.

Generación de mapas de rendimiento con las tres metodologías evaluadas utilizando sistemas de información geográfica:

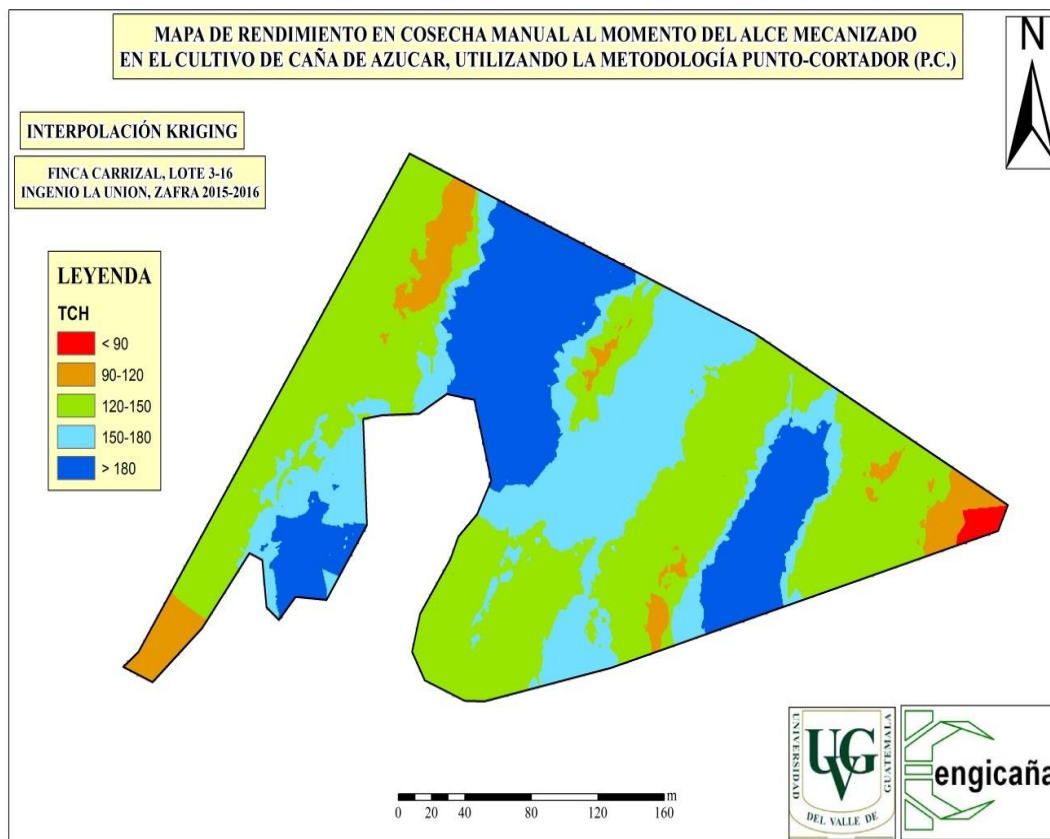
Figura 3: Mapa de rendimiento de la metodología de 1 punto por cada uñazo de alzadora



Luego de la generación del mapa de rendimiento por medio del programa ArcGIS v 10.2. Se logró establecer que los rendimientos en toneladas de caña por hectárea (TCH), en las distintas zonas del área del lote evaluado tienden a variar; por tal razón los distintos bloques están clasificados por colores en términos de rendimiento de caña, para que sea más fácil entender el proceso más apegado a la realidad en campo; en el mapa se puede visualizar que el lote tiende a tener una gran mayoría de área del color verde, así mismo hay algunos bloques en el lote, que tienden a mejorar por mucho su nivel de producción; de igual manera existen áreas que el rendimiento disminuye considerablemente como lo están los colores rojos, esto hace referencia que se obtuvo una respuesta significativa en la producción de (TCH), con esta información se puede analizar por qué se obtuvo esta respuesta, con el motivo de poder implementar procesos agronómicos que conduzcan a ser más eficientes y homogéneos la producción de caña de azúcar

En (TCH). Observando cuales son las características de las zonas de color azul, celeste o verde, para homogeneizar el resto de las áreas con las áreas más productivas poder incrementar la productividad del lote.

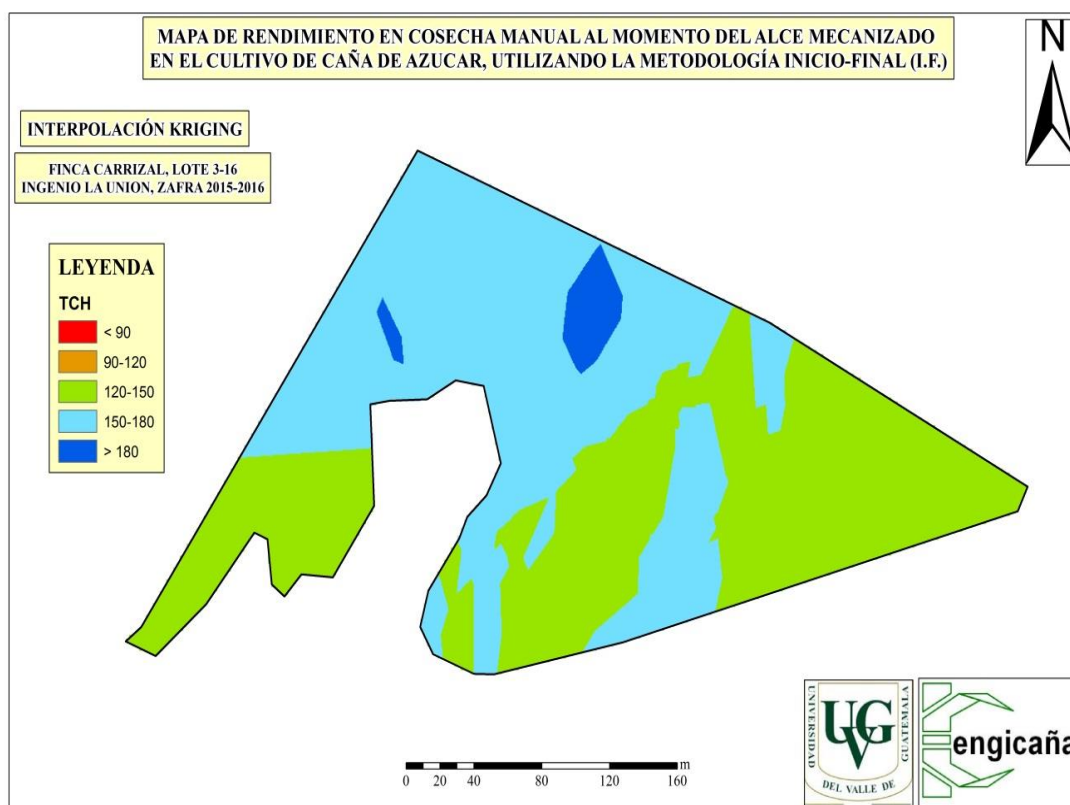
Figura 4: Mapa de rendimiento de la metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra.



Luego de la generación del mapa de rendimiento por medio del programa ArcGIS v 10.2. Se logró establecer que los rendimientos en toneladas de caña por hectárea (TCH), con la metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra, tienden a variar en su rendimiento, con respecto a las otras metodologías, así mismo se generan distintos bloques dentro del lote que son clasificados por medio de colores con respecto al rendimiento (TCH), esto se realiza para que sea más fácil entender el proceso más apegado a la realidad en campo; en el mapa se puede visualizar que el lote tiende a tener mayor área del color verde, de igual manera existen áreas que el rendimiento disminuye considerablemente como lo están

los colores rojos, esto hace referencia que se obtuvo una respuesta significativa en la producción de (TCH), con esta información se puede analizar por qué obtuvo estas respuesta, con el motivo de poder implementar procesos agronómicos que conduzcan a ser más eficientes y homogéneos la producción de caña de azúcar en (TCH). A diferencia de la Figura 3, dicha figura genera un área visualmente menor detallada que la anterior, esto significa que la correlación se realiza con menor cantidad de datos, genera la misma información pero con un detalle a menor escala, de tal manera que los bloques de los colores son mucho mayores en medida de área, hablando visualmente.

Figura 5: Mapa de rendimiento de la metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula.



Luego de la generación del mapa de rendimiento por medio del programa ArcGIS v 10.2. Se logró establecer que los rendimientos en toneladas de caña por hectárea (TCH), con la metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula, tienden a variar en su rendimiento, con respecto a las

otras metodologías, con respecto a las otras metodologías esta tiende generar valores con menor consistencia en los distintos bloques generados dentro del lote con respecto al rendimiento (TCH), de igual manera en el mapa se puede visualizar que el lote tiende a tener mayor área del color verde, así mismo hay ciertos bloques en el lote, que tienden a mejorar por mucho su nivel de producción, esto hace referencia que se obtuvo una respuesta significativa en la producción de (TCH), con esta información se puede analizar por qué obtuvo estas respuestas, con el motivo de poder implementar procesos agronómicos que conduzcan a ser más eficientes y homogéneos la producción de caña de azúcar en (TCH). De manera visualmente se marca una diferencia muy marcada en cuanto al área ocupada por los bloques de colores y que están distribuidos de manera uniforme los bloques dentro del lote evaluado, debido a que se utilizó una menor cantidad de datos para generar el mapa de rendimiento como se establece en la Tabla 3, pero esto incide a que genere menor detalle de cómo se comportó el rendimiento en todo el área del lote, dando como resultado valores visuales con menor detalle.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se muestran diversos bloques de colores con forme a la producción de toneladas de caña por hectárea (TCH) los cuales están clasificados en las siguientes escalas:

Tabla 2: Categoría de TCH de los mapas de rendimiento

Categoría TCH	COLOR
< 90	Red
90-120	Orange
120-150	Yellow
150-180	Light Blue
> 180	Dark Blue

En las Figuras 3 y 4 (ver figuras 3 y 4) se observan bloques con valores de (TCH) del rango de 120-150 dentro del lote muestreado, así mismo existen puntos críticos que generar lugares que deben analizarse con mayor profundidad, como lo son las áreas del color azul, que son valores que sobre pasan el promedio del lote, de igual manera los bloques de color rojo, que los valores que se expresan son muy por debajo del valor promedio del lote; con esto se pueden estudiar con mayor profundidad, esto se realiza con el fin de que el promedio del valor real del lote sea el más alto, mejorando de esta manera la producción por hectárea de la zona cañera. Así mismo se puede observar la Figura 5 (ver figura 5) que muestra los bloques de colores con menor variación y demuestra un lote más homogéneo, con esto no demuestra mayor información del comportamiento de la variabilidad de producción de las zonas cañeras.

La variabilidad visual que se observan los bloques de colores generados en los mapas de rendimiento, son producto de la cantidad de datos que se utilizó para la generación de los mismos, a mayor número de datos mayor es el detalle de los valores establecidos visualmente; esto se debe a que con más datos se pueden generar más valores de (TCH) en la misma cantidad de área. Así mismo se puede establecer el porcentaje de variabilidad del TCH que se generó en promedio del lote evaluado, con cada metodología que se utilizó, y según la Tabla 3, la metodología de 1 punto por cada acción de colecta de la alzadora (uña) genera una variabilidad menor con respecto al (TCH real) establecido por báscula. Con base estadística la metodología que genera valores más apegados a la realidad de los campos de producción es la de 1 punto por cada acción de colecta de la alzadora (uña).

Luego del análisis mediante el programa ArcGIS v. 10.2 se ha logrado establecer que el porcentaje de variabilidad del rendimiento de las toneladas de caña por hectárea (TCH) que generó las distintas metodologías con respecto al (TCH) real dictaminado por la báscula del ingenio, fue menor por medio de la metodología de 1 punto al inicio y 1 punto al final de donde se llena la jaula, que fue igual al 2.49% mayor con respecto al (TCH) real del lote.

8. CONCLUSIONES.

1. Con base en la evaluación de la metodologías para generar mapas de rendimiento de producción, y de esta manera se establece la variabilidad productiva en los campos de producción (lote), esto permite analizar y ajustar las decisiones, que se van a consolidar en planes de manejo agronómico tal es el caso de la nutrición, la ubicación varietal, el manejo del riego y el drenaje, el diseño de campo, el manejo de plagas y enfermedades. Con esta correlación de la producción bajo las diferentes condiciones puede tener mayor o menor impacto dependiendo de los manejos que se le da a la relación: suelo-planta-agua, por eso es que los mapas de rendimiento son una herramienta que sirve para complementar e interpretar los rendimientos de producción de un área determinada con mayor detalle.
2. Con la evaluación de las tres distintas metodologías se logró establecer los mapas de rendimiento de cada una de ellos. (ver figuras: 3, 4 y 5).
3. La generación de los mapas de rendimiento observados en las figuras: 3, 4 y 5 establecen, la variabilidad visualmente que se tienen en los bloques de colores generados en los mapas de rendimiento esto se puede establecer debido a que las metodologías, generar una distinta separación de punto en la ecuación lineal generada por la nube de datos; esto establece que los valores generados por cada uno de las metodologías evaluadas demuestra una caracterización con distinto grado de detalle de la variabilidad en los campos de producción.
4. La metodología más efectiva para realizar mapas de rendimiento en caña de azúcar en el sistema de cosecha manual y alce mecanizado.

Metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra: debido a la facilidad que se tiene para que el apuntador de la handheld que puede realizar la acción de toma de puntos geo-referenciados en el momento que está realizando la toma de datos de los cortadores que están en chorra que es siendo tomada por la alzadora y depositada en una misma jaula, debido a la consistencia que se tienen en la toma de datos.

Después estos son utilizados para la elaboración de los mapas de rendimiento, ya que estos muestran una respuesta visual en el mapa de rendimiento de mayor consistencia en la tendencia de nivel de producción de toneladas de caña por hectárea (TCH) dentro del lote que está siendo evaluado,

9. RECOMENDACIONES.

1. Realizar evaluaciones de la metodología 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra en el proceso de cosecha de caña de azúcar, por ser la forma más práctica para la toma de datos del GPS al momento del alce, mediante el apuntador, para evitar ocupar una persona extra para el frente de alce.
2. Realizar análisis de costos con la metodología de 1 punto donde estuvo un cortador dentro de la chorra, con el fin de determinar la factibilidad económica de la generación de los mapas de rendimiento.
3. Realizar los análisis estadísticos pertinentes, con el fin de fundamentar la separación de los puntos generados por la nube de datos.
4. Generar mapas en otras zonas y realizar análisis de las áreas con menor producción de TCH y también las que cuentan con mayor producción de TCH, con el fin de determinar porqué de la variación que se obtiene en la producción; para poder correlacionar los análisis con información climática, mapas de suelos, prácticas agronómicas, etc.
5. Replicar este tipo de evaluaciones para la elaboración de mapas de rendimiento al momento del alce mecanizado, en consenso con el área de cosecha, para que ellos estén involucrados en la investigación, de tal manera que puedan dar su apoyo, en el frente de cosecha, para que al momento del alce mecanizado en corte manual, no cambie la forma de realizar el alce, así también, que no se cambie de lote al momento de la evaluación; para no alterar los datos.
6. Establecer un grupo de investigación que esté capacitado; para el uso y manejo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), para poder realizar la toma de datos geo referenciados, de una manera confiable y precisa.

10. BIBLIOGRAFÍA.

1. Asociación Natureland. 2000. *Agricultura orgánica en el tropico y subtrópico*. 24 págs.
2. AZASGUA. 2016. <http://www.azucar.com.gt/ingenios.html>
3. CENIGICAÑA (Centro Nacional de la Investigación de la Caña de Azúcar). 1995. *Cosecha, alce y transporte*, en CENICAÑA. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Calí*. 357-362 págs.
4. Quevedo Quevedo, Gina Catealina. 2012. *Diseño e implementación de un sistema de localización, rastreo y monitoreo satelital de caminos de entrega de encomiendas, mediante el uso del GPS y un dispositivo móvil*. 8 págs.
5. Ruíz, José Rodolfo. 2011. *Agricultura de precisión*. 39 págs.
6. *Slideshare.net*. *Agricultura de precisión*. <http://es.slideshare.net/dsahade/agricultura-de-precision> 11:00 a.m. 08 de 07 de 2015.
7. Universidad de Palermo. *Agricultura de precisión*. <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf> 19:55 hrs. 05 de 04 de 2015.
8. IDESIA. 2011. *Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión*. 1ra. Volumen 29 avo. 59- 69 Págs.
9. PROCISUR. 2006. *Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Best, Stanley; Bongiovanni, Rodolfo; Chartuni Montovani, Evandro; Roel, Álvaro. Montevideo, Uruguay. PROCISUR. 242 págs.
10. University of florida IFAS Extension. *El sistema de posicionamiento global (GPS)*. <https://edis.ifas.ufl.edu/in657> 21:30 hrs. 07 de 08 de 2015.
11. ESRI. ArcGIS Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/comparing-interpolation-methods.htm> 11:31 a.m. 31 del 01 de 2016

12. GLOSARIO.

1. GPS (Global Positioning System) por sus siglas en inglés, que significa sistema de posicionamiento global. es un sistema de navegación basado en satélites y está integrado por 24 satélites puestos en órbita por el Departamento de defensa de los Estados Unidos.
2. Chorra: Es el conjunto de 6 surcos del cultivo de la caña de azúcar con una distancia no mayor a 20 metros, que se cortan y se apilan en una fila, para ser cosechado mediante la alzada.
3. Shapefile: es un formato de archivo informático. Es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos.
4. Uñazo: Acción de la cosechadora para recolección de caña cortada a granel, para luego ser depositada en las jaulas de transportes, para ser enviadas al ingenio.
5. Jaula: Denominada también carreta, que se utiliza para transportar la caña cosechada de campo hacia el ingenio.
6. SIG: Es un sistema de información geográfica, es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar , manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y as almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla.