

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Propuesta de mejora del proceso de corte de caña de azúcar según estudio  
realizado en finca Santa Fe en la costa sur de Guatemala

**Trabajo de investigación presentado  
por Estuardo Umaña Noriega  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial**

Guatemala

2019



Propuesta de mejora del proceso de corte de caña de azúcar según estudio  
realizado en finca Santa Fe en la costa sur de Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Propuesta de mejora del proceso de corte de caña de azúcar según estudio  
realizado en finca Santa Fe en la costa sur de Guatemala

**Trabajo de investigación presentado  
por Estuardo Umaña Noriega  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial**

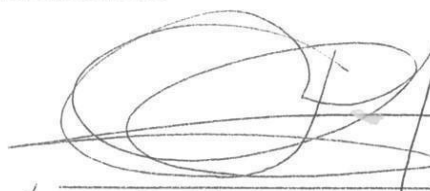
Guatemala

2019

Vo.Bo. Asesor

  
MSc. Fernando Paiz,  
Decano, Facultad de Ingeniería  
x \_\_\_\_\_  
Ing. Heber Obed García

Vo.Bo. Terna Examinadora:

  
MSc. Fernando Paiz,  
Decano, Facultad de Ingeniería  
x \_\_\_\_\_  
Ing. Heber Obed García

  
\_\_\_\_\_  
Inga. Ingrid Lorena de León Vilaseca

  
\_\_\_\_\_  
Inga. Vivian Judith Sigüenza Tobias

Fecha de Aprobación: 23 de septiembre del 2019

# ÍNDICE

Índice	i
Listado de cuadros	ii
Listado de figuras	iii
Resumen	v
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	3
IV. Metodología	4
V. Situación actual del método de corte de caña de azúcar	5
VI. Mejora del método de corte de caña de azúcar	11
VII. Supuestos tomados para la simulación	24
VIII. Resultados de la simulación del método actual de corte de caña de azúcar	34
IX. Resultados de la simulación del método propuesto de corte de caña de azúcar	38
X. Mejora de seguridad en el método de corte de caña de azúcar	45
XI. Conclusiones	60
XII. Recomendaciones	61
XIII. Bibliografía	62
XIV. Anexos	64

## LISTADO DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Cálculo de holgura total.</i>	10
<i>Cuadro 2. Resultado de la simulación paso a paso del corte de caña de azúcar con el método propuesto aumentando el número de operarios encargados del corte de caña de azúcar con únicamente un operario encargado del corte de puntas y recolección de basura. La simulación fue hecha con un paso de 12 segundos y calculada en unidades de caña.</i>	23
<i>Cuadro 3. Gráfico que muestra cómo se puede programar las distancias de transporte como uno mismo valor mientras se realicen estos transportes en grupos de seis.</i>	30
<i>Cuadro 4. Gráfico que muestra cómo se puede programar las distancias de transporte como uno mismo valor mientras se realicen estos transportes en grupos de tres para el método propuesto.</i>	31
<i>Cuadro 5. Valores numéricos de producción y porcentaje de aumento de un método sobre otro mientras más operarios hagan de forma simultánea el método. La producción se calcula en unidades de caña</i>	41
<i>Cuadro 6. Distribución de prueba piloto realizada en Finca Santa Fe.</i>	42
<i>Cuadro 7. Comparación de producciones con el método actual y el método propuesto.</i>	43
<i>Cuadro 8. Cantidad de operarios y salarios pagados a operarios con el método actual y el método propuesto</i>	44
<i>Cuadro 9. Desglose del equipo de protección personal recomendado para la operación.</i>	57
<i>Cuadro 10. Costo de aplicación anual por operario y costo de aplicación total.</i>	58
<i>Cuadro 11. Toma de tiempos 1.</i>	66
<i>Cuadro 12. Toma de tiempos 2.</i>	67
<i>Cuadro 13. Toma de tiempos 3.</i>	68
<i>Cuadro 14. Toma de tiempos 4.</i>	69
<i>Cuadro 15. Toma de tiempos 5.</i>	70

## LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1. Vistas del machete australiano utilizado para hacer la operación de corte de caña de azúcar.</i>	6
<i>Figura 2. DOP del corte de caña de azúcar actual. En con cada acción de este DOP el operario genera una unidad de caña de azúcar.</i>	9
<i>Figura 3. Gráfico AV-NAV del proceso actual de corte de caña de azúcar.</i>	11
<i>Figura 4. DOP del método propuesto de corte de caña de azúcar. Con cada acción de este DOP el operario genera una unidad de caña de azúcar con punta.</i>	13
<i>Figura 5. DOP del nuevo puesto creado de cortador de puntas de cañas. Con cada acción de este DOP el operario genera hasta cinco unidades de caña de azúcar sin punta.</i>	14
<i>Figura 6. Gráfico AV-NAV del método de corte de caña de azúcar propuesto.</i>	15
<i>Figura 7. Peso de una unidad de caña de azúcar con puntas de 25lb.</i>	16
<i>Figura 8. Peso de una unidad de caña de azúcar limpia y sin puntas de 20lb.</i>	17
<i>Figura 9. Diagrama que muestra la correcta medición de la altura del surco.</i>	25
<i>Figura 10. Diagrama que muestra la correcta medición del ancho del surco.</i>	26
<i>Figura 11. Diagrama que muestra la diferencia entre una baja y una alta densidad de crecimiento de caña de azúcar.</i>	27
<i>Figura 12. Datos de programación del operario.</i>	32
<i>Figura 13. Datos de programación de la entidad de caña de azúcar.</i>	33
<i>Figura 14. Datos de programación de la creación de entidades en el surco.</i>	33
<i>Figura 15. Orden lógico en el que se simuló el método actual de corte de caña de azúcar.</i>	34
<i>Figura 16. Datos de programación del área de corte del método actual.</i>	36
<i>Figura 17. Gráfico de resultados de la simulación del método actual.</i>	37
<i>Figura 18. Orden lógico en el que se simuló el método propuesto para el corte de caña de azúcar.</i>	38
<i>Figura 19. Datos de programación del área de corte del método propuesto.</i>	39
<i>Figura 20. Gráfico de resultados de la simulación del método propuesto.</i>	40

<i>Figura 21. Gráfica de producción en unidades de caña producidas por número de operarios. El método propuesto tiene valor 0 en 1 operario ya que requiere un mínimo de 2 operarios para realizarse</i>	41
<i>Figura 22. Posición incorrecta del pie izquierdo al momento de cortar la caña de azúcar, con el pie izquierdo delante del derecho en la dirección en la cual la herramienta es llevada</i>	45
<i>Figura 23. Posición correcta del pie izquierdo al momento de cortar la caña de azúcar, con el pie izquierdo detrás del derecho y lejos de la dirección en la cual es llevada la herramienta.</i>	46
<i>Figura 24. Operario utilizando un calzado inadecuado para la operación al ser abiertos y estar severamente gastados.</i>	47
<i>Figura 25. Operario descalzo realizando la operación de corte de caña de azúcar.</i>	47
<i>Figura 26. Serpiente encontrada en cañal luego de ser quemado, dándole aún más necesidad al uso de calzado cerrado resistente.</i>	48
<i>Figura 27. Operario encargado del corte de caña de azúcar utilizando el calzado correcto para su operación.</i>	49
<i>Figura 28. Operario realizando su operación sin ninguna protección en el área de la boca, nariz u ojos.</i>	51
<i>Figura 29. Alta temperatura medida en el área de corte de caña de azúcar, muy por encima de la temperatura a la cual inicia la insolación.</i>	52
<i>Figura 30. Bufanda de cabeza y lentes de protección oscuros o transparentes. Extraída de Armyuniverse en ebay.com.</i>	53
<i>Figura 31. Operario utilizando una herramienta con un ángulo de 180° teniendo que flexionar su espalda causando una tensión innecesaria.</i>	54
<i>Figura 32. Ecofiltro utilizado para filtrar el agua, una secuencia de ecofiltros pueden ser utilizados para generar grandes volúmenes de agua potable. Extraída de ecofiltro.com</i>	56
<i>Figura 33. Lifestraw utilizada para filtrar agua de forma personal. Extraída de lifestraw.com</i>	56
<i>Figura 34. Formato de control de equipo de protección personal.</i>	59
<i>Figura 35. Posición geográfica aproximada de Finca Santa Fe.</i>	64
<i>Figura 36. Posición geográfica exacta de Finca Santa Fe.</i>	65

## RESUMEN

Uno de los productos agrícolas de mayor producción en Guatemala es la caña de azúcar y es uno de los cultivos más numerosos en toda la región sur de Guatemala. Con ayuda de la finca Santa Fe y apoyo del Ingenio Magdalena durante marzo del 2016 se hicieron observaciones sobre la forma en que se realiza la quema, el corte, el alza y la siembra de la caña de azúcar. Durante ese mes se pudo observar que el proceso de corte de caña de azúcar no está estandarizado o regulado, lo cual generó interés en la realización de esta propuesta. Se obtuvo apoyo del área de cosecha del Ingenio Magdalena los cuales proporcionaron manuales de entrenamiento, herramientas que se utilizan e información histórica sobre producción, accidentes e historiales de los cortadores. Con esta información y las observaciones sobre el proceso se procedió a realizar una simulación de este proceso, de forma simplificada, para ponderar la producción y demostrar la forma en que se realiza la operación del corte de caña por parte de los operarios.

Luego se realizaron observaciones y cambios al método estudiado con mejoras en la postura, aplicación, movimientos y decisiones de los colaboradores. Esto aumentará la producción de cada colaborador y reducirá el riesgo a que esta sufra accidentes durante el trabajo. Como último paso se modeló de nuevo el proceso con las mejoras propuestas para comparar la producción propuesta con la actual. Finalmente se llegó a un proceso estandarizado con partes definidas y explicadas, y se presentó esta propuesta como una forma de normalizar el proceso.

# I. INTRODUCCIÓN

El interés por este tema surgió desde hace muchos años, de forma rutinaria se debía controlar y supervisar el corte de caña de azúcar. Luego se empezó a observar, entender y plantear posibles mejoras para este proceso. En la actualidad no se tienen investigaciones suficientes que muestren las operaciones que cada realiza cada operario; y por razones de remuneración de parte del operario no puedo cambiar de método sin afectarlos, por lo que se muestra gran resistencia a los cambios.

Con los avances tecnológicos de los últimos años es posible estudiar procesos con muchos movimientos rápidos, poco estandarizados e incluso desordenados gracias a la revisión de video en cámara lenta y la medición de tiempo entre sus partes. Los avances en software también traen avances en simulación para poner a prueba una idea sin la necesidad de físicamente dedicarle mucho tiempo del experimentador y del operario que realice el método. Estos avances eran necesarios para hacer una mejora integral del método con una mayor seguridad que las pruebas, simulaciones y estimaciones estarán cercanas a la realidad.

En un país donde la tecnología de automatización está aún lejos para trabajos agrícolas como es el corte de caña de azúcar era necesario realizar estudios de este tipo. El aumento en la productividad y seguridad del operario al igual que la disminución del tiempo invertido en cada operación son necesarias tanto para ser una empresa más competitiva como para aumentar la felicidad y productividad de cada operario.

## II. JUSTIFICACIÓN

Toda operación manual tiene la oportunidad de mejorarse y siempre hay campo para aumentar su productividad y su seguridad. En el proceso de corte de caña de azúcar, siendo un producto tan importante para nuestro país, se tienen muchas oportunidades de mejora que aún no son aprovechadas. Actualmente para el corte de caña de azúcar se utiliza una técnica desarrollada en Colombia y se adaptó para Guatemala, pero al ser países diferentes una adaptación completa no es la más efectiva y se requieren adaptaciones y mejoras para que el proceso tenga mayor efectividad en nuestro país. Así mismo la herramienta utilizada es el machete australiano, una herramienta de ángulo creada bajo estándares de otro país que se adaptó y se les da libertad a los colaboradores de modificarla con un agarrador más pequeño o con una hora plana, eliminando el ángulo de la misma.

El proceso de corte de caña de azúcar se realiza desde el mes de noviembre hasta el mes de abril del año siguiente, durante los cuales la temperatura ambiental promedio es de 35°C. Se trabaja mayormente bajo el sol, ya que los cañales no suelen tener una fuente de sombra en ellos. El corte se lleva a cabo en la caña quemada hace pocos minutos, con calor de la caña aún en brasas y cenizas. No se tienen muchas medidas de seguridad y las que se tienen mayormente son evitadas por los colaboradores encargados del corte a cambio de mayor libertad y comodidad. Las condiciones de trabajo son muy pesadas, con pocas horas de descanso y un horario de producción muy apretado, por lo cual es necesario reestructurar la operación para mejorar las condiciones de trabajo de los colaboradores aumentando la productividad. Por ese caso se busca mejorar el método de corte de caña, aumentar la producción de caña de azúcar cortada y darle más seguridad y comodidad al colaborador encargado del corte.

Actualmente en Guatemala el proceso de corte de caña de azúcar se realiza tanto de forma mecanizada como manual. El corte de caña mecanizado es más rápido y efectivo que el corte puramente manual, pero por imperfecciones del terreno, dificultad de entrada de la maquinaria y una planeación inadecuada durante la siembra el corte mecanizado no siempre es posible para estas situaciones. Por esta razón el corte de caña de azúcar de forma manual es utilizado en el 80% de la caña de azúcar de Guatemala.

### III. OBJETIVOS

#### A. Objetivo general

Proponer una mejora al proceso de corte de caña de azúcar que aumente la producción en 25%, utilizando las herramientas de toma de tiempos, definición de procesos, simulación de procesos y seguridad industrial.

#### B. Objetivos específicos

1. Definir el método de corte de caña de azúcar actual y explicar todas sus variables según las observaciones hechas en marzo del 2016.
2. Proponer mejoras al método de corte de caña de azúcar para aumentar la producción de cada colaborador.
3. Modelar una versión simplificada del método como una simulación en SIMIO para ponderar la producción.
4. Modelar la propuesta del método para medir el cambio en la producción, obtener un porcentaje de mejora en comparación al método actual y calcular el ahorro en costo que este método brindaría si se utilizara.
5. Proponer mejoras de seguridad que reduzcan el riesgo de incidentes y accidentes durante la operación.

## IV. METODOLOGÍA

El trabajo de graduación se llevará a cabo de acuerdo con la siguiente metodología:

1. Definición del método actual de corte de caña de azúcar con las herramientas de toma de tiempo, DOP y diagrama bimanual según los datos y videos tomados en la finca Santa Fe durante marzo del 2016.
2. Optimización del método de corte de caña de azúcar utilizando las herramientas de análisis crítico, optimización de procesos y DOP.
3. Simplificación y modelación del método actual de corte de caña de azúcar en el software SIMIO para ponderar el valor de producción con el método actual.
4. Modelar el método propuesto y compararlo con la modelación del método actual para encontrar el porcentaje de mejora del método propuesto y el ahorro posible que se tuviera si se utilizara este método, para luego redactar el informe final.
5. Observando el proceso y viendo un historial de accidentes se encontrarán fallas de seguridad y se propondrán mejoras que formen barreras para evitar accidentes durante la operación.

## V. SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR

La siembra y crecimiento de caña de azúcar se produce entre los meses de abril y agosto, donde la caña se siembra durante época lluviosa para ayudar a su crecimiento. Esta crece por aproximadamente dieciocho meses hasta su altura máxima donde una semana antes del corte se aplica un agente madurante para tener el mayor peso y una mayor producción de azúcar. El proceso de corte de caña de azúcar se puede realizar en caña quemada, donde la caña es quemada previa a su corte para reducir la cantidad de basura, o en verde, donde la caña es cortada sin ninguna quema. Este estudio se realizó únicamente en caña cortada posterior a la quema ya que es la forma en que se corta en la Finca Santa Fe, la cual permitió que se realizará esta investigación en sus cañales.

El proceso de corte de caña de azúcar inicia cuando al operario se le asignan sus surcos y termina cuando finaliza su distancia de producción. El operario tiene a su responsabilidad seis surcos y una longitud definida para cortar. Durante el proceso el operario debe cortar las cañas y arreglarlas de forma horizontal respecto al avance de su corte descartando las puntas de las cañas y la basura en los valles después de sus surcos uno y seis. El espacio de basura es compartido por dos operarios, ya que la caña crece en la cresta de los surcos y los espacios entre los surcos asignados de cada operario es compartido. Actualmente no se tiene ningún estándar u orden específico para este proceso, por lo cual es posible que durante el corte no sea utilice la misma metodología entre operarios e incluso por el mismo operario.

Durante marzo del 2015 en la Finca Santa Fe se observó la operación de corte de caña de azúcar producida por operarios del Ingenio Magdalena. La operación utiliza el machete australiano, Figura 1, como herramienta para cortar las cañas. Este machete fue proporcionado por el Ingenio Magdalena, pero los operarios son libres de modificar su herramienta a su preferencia. Se utiliza este machete porque otorga muchas mejoras y facilidades al proceso de corte de caña de azúcar. Este machete permite un corte más certero y al ras ya que su hoja tiene un ángulo de 135°, por esto permite al operario cortar desde una posición erguida, evitando estrés repetitivo en la espalda baja. Este machete tiene, según son entregados a los operarios, una hoja de 15 centímetros de largo y un mango tiene una longitud de 20 centímetros. Por su peso permite cortar más cañas por cada tajada de la herramienta, al ser más pesado que un machete tradicional el operario requiere menos fuerza física para utilizarlo. La herramienta tiene en la parte superior un gancho el cual es utilizado para sujetar la caña, dándole otro uso a la herramienta. Este machete al tener una hoja muy gruesa y un área de hoja muy grande puede ser utilizada como pala y, en conjunto con el gancho, puede ser utilizada para extender el rango del operario, dándole mayor control sobre volúmenes grandes de caña para ser transportados. Durante la operación por tantos golpes consecutivos la herramienta pierde su filo y requiere ser afilada, por eso los operarios llevan dentro de su equipo una lija para afilar su operación, y durante sus ciclos de descanso el operario afila su herramienta.



*Figura 1. Vistas del machete australiano utilizado para hacer la operación de corte de caña de azúcar.*

Hay operarios que prefieren utilizar un machete recto por lo que modifican su herramienta para no tener el ángulo de 135°, igualmente hay operarios que buscan mejor control de la herramienta y reducen la longitud de su mango cambiándolo por un cabo de madera para tener mayor velocidad y control de la herramienta. Estos cambios dependen de la preferencia del operario y al ser muy comunes, muy variables y personalizables no se tomarán en cuenta para este estudio.

La técnica utilizada para cortar caña es de cortar la caña desde arriba hacia abajo y de derecha a izquierda, utilizando el peso del machete a su favor y ángulo de la hoja del machete para cortar a ras del suelo, aprovechando de forma máxima la altura de la caña y dejando la menor cantidad de cuerpo fructuoso en el suelo. La caña cortada es llevada hacia la chorra, nombre común del área donde se guarda las cañas cortadas previo a ser recogidas por un tractor al terminar el corte de esa área. Se indica a los operarios que deben tomar la herramienta con la mano derecha y para dar una tajada deben de tener su pie izquierdo atrás, de esta forma reducir la posibilidad de golpear su pie izquierdo con la herramienta. Se da la opción a los operarios de tener una guarda de tobillo, la cual se pone en su pie izquierdo para protegerse en caso su herramienta los fuese a golpear. Otra consideración que se tiene sobre la herramienta es el gancho en la parte superior. Se le indica a los operarios el riesgo de no estirar completamente el brazo al momento de bajar la herramienta, ya que pasa muy cerca de la cabeza y oreja del operario.

Como no se tiene una metodología establecida se tomaron las partes principales del corte y se ordenaron de forma lógica para poder definir el proceso en su modo actual. Este proceso no se sigue de forma rutinaria ya que, dependiendo del operario, del modo en que la caña de azúcar crezca y como esta esté distribuida puede que por cada aplicación del método no se requiere ciertos pasos dentro de este. Este proceso consta de las siguientes partes:

1. Operación de corte
2. Recolección de caña
3. Transporte a chorra
4. Depositar caña en chorra
5. Corte de puntas y basura
6. Transporta a área de basura
7. Transporte a la siguiente área de trabajo

Durante las observaciones del método se tomaron tiempos utilizando las operaciones descritas antes, Anexos página 77 a 81. Estas tomas de tiempos se realizaron en forma de videos grabados a los operadores más experimentados realizando la operación después de una hora de haber empezado. Como el tiempo en algunas operaciones era muy corto se utilizaron softwares de edición de video como Wondershare y Corel Videostudio para una mayor precisión en los tiempos obtenidos. Se utilizaron estos softwares sobre otros softwares comunes de toma de tiempos por la herramienta de medición de tiempo entre dos puntos, haciendo más certeras las mediciones obtenidas y reduciendo el error al medir los tiempos. Estas mediciones se utilizaron para encontrar los tiempos estándar de cada operación con el cual se levantó un diagrama de operaciones del proceso (DOP) que explica el tiempo estándar de cada operación, así como el tiempo total de la operación, Figura 2.

Se definió que la operación con el diagrama de operaciones del proceso sería realizada por un operario ideal que realiza las operaciones de inicio a fin en orden. Durante cada operación del corte un operario inicia con el corte de caña y termina habiendo cortado, despuntado y limpiado una unidad de caña, que equivale a la cantidad de caña que un operario puede manejar durante una operación completa. Cada unidad de caña del operario ideal son 6 cañas individuales y tienen un peso de 25 libras en total, como se puede ver en la Figura 7. al quitarle las puntas y limpiar las cañas la unidad de caña tienen un peso de 20 libras, como se observa en la Figura 8. Esta unidad de medida será importante para el resto de la investigación ya que toda la producción se medirá en unidades de caña tanto con puntas como sin puntas.

Para calcular las holguras del proceso se calcularon según las recomendaciones de la Organización Internacional del Labor (ILO). Estos valores se calcularon en base a tres principales fuentes de holgura: la holgura personal, la holgura por fatiga básica y la holgura variable. Según las recomendaciones de la ILO la holgura personal de 5% es un valor aceptable, al igual que la holgura por fatiga básica se siguió la recomendación de la ILO poniendo un 8% por la monotonía y al ser un trabajo demandante físicamente. Como último se encontró que la holgura por fatiga variable y se agregaron las tres holguras para llegar a un total de 26%, Cuadro 1.

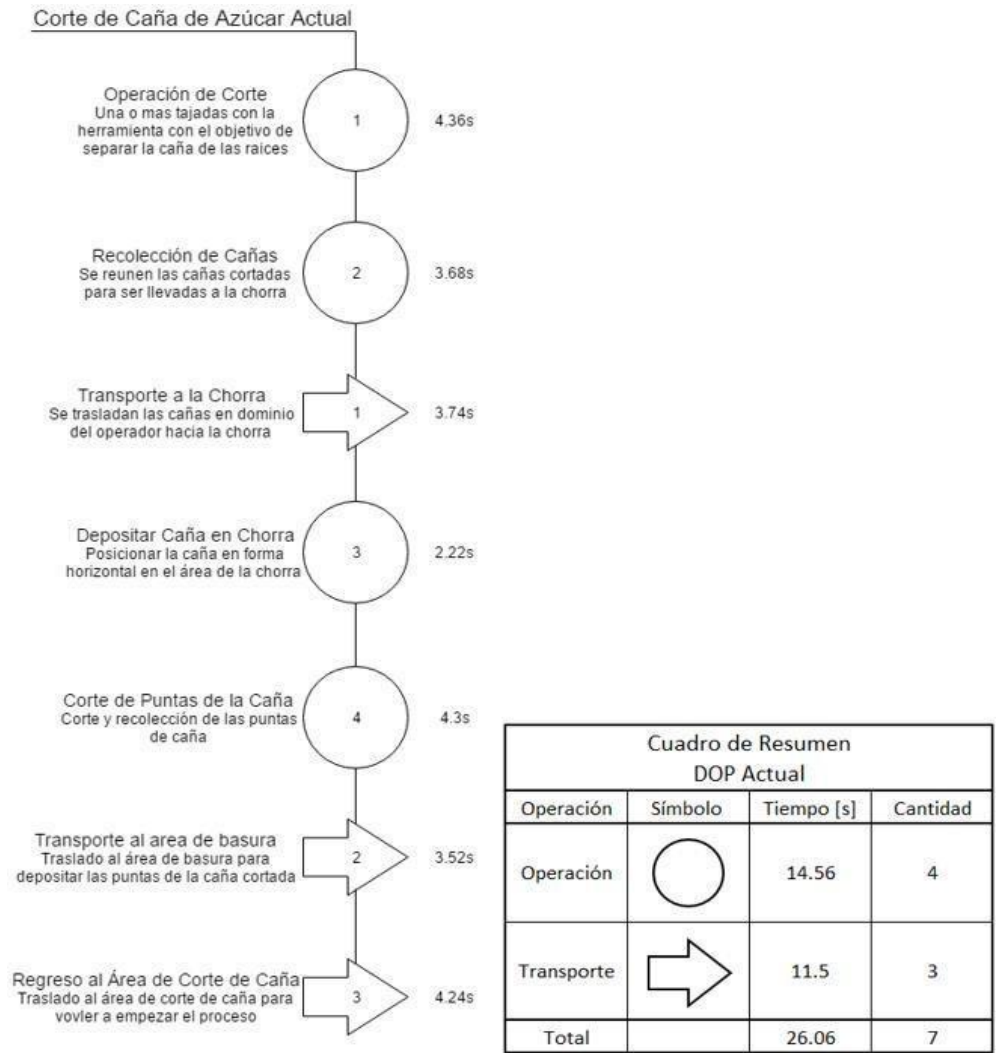


Figura 2. DOP del corte de caña de azúcar actual. En con cada acción de este DOP el operario genera una unidad de caña de azúcar.

Holgura personal		5%
Holgura por fatiga básica		8%
Holgura por fatiga variable		
	Estar de pie	2%
	Levantar 30 lb	5%
	Alta temperatura	5%
	Media monotonía	1%
HOLGURA TOTAL		26%

*Cuadro 1. Cálculo de holgura total.*

El tiempo completo de la operación asumiendo que el operario realiza todas las operaciones de forma consecutiva se puede encontrar en la Figura 2 como 26.06 segundos. El tiempo estándar del método muestra una simplificación de este proceso en la cual se asume que el operario realiza todas las operaciones en secuencia cada vez que realiza el corte, pero esto no sucede la mayoría del tiempo ya que el operario realiza las operaciones según su experiencia, su preferencia y la parte del proceso en el cual se encuentre. Este diagrama se puede utilizar como una base teórica sobre el método actual del corte de caña de azúcar, pero no refleja perfectamente la forma en que la operación es realizada por todos los operarios.

## VI. MEJORA DEL MÉTODO DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR

Con los conocimientos obtenidos del método actual se inició la optimización del método hasta llegar a un método propuesto. El primer paso fue describir cuáles de las acciones realizadas por el operador eran esenciales y cuáles podían ser delegadas a otro operario para aumentar la producción de cada operario. Para esto se describieron las actividades que agregan valor (AV) y las actividades que no agregan valor (NAV) para realizar un diagrama que explique qué pasos agregan valor y que porcentaje actual del tiempo de producción agrega valor al producto final.

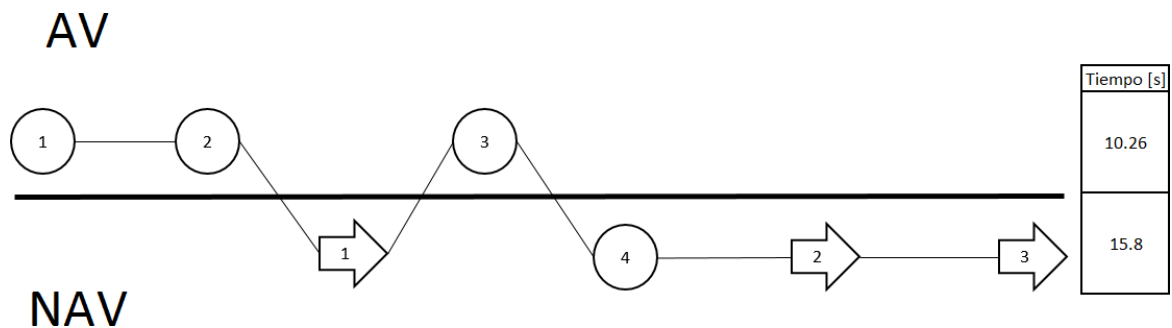


Figura 3. Gráfico AV-NAV del proceso actual de corte de caña de azúcar.

Se calculó (Figura 3) que 10.26 segundos que son invertidos en la operación son efectivos al agregar valor al método y los restantes 15.8 segundos no agregan valor al método. Se puede deducir el 39.37% del tiempo invertido en la operación agrega valor al producto creado, y el restante 60.63% de las actividades no agregan valor al producto final. Como estas actividades son todas esenciales no pueden ser eliminadas del proceso de producción, pero se puede reducir o distribuir las actividades que no agregan valor para ser situadas en alguna parte del proceso donde no afecte el flujo principal de valor.

Para poder mejorar el proceso se diseñó un nuevo puesto de trabajo encargado realizar algunas operaciones que en el puesto actual no agregan valor. Se creó el puesto del operario encargado del corte de caña de azúcar con el método propuesto (Figura 4) y también se creó el nuevo puesto del operario encargado del corte de puntas y recolección de basura (Figura 5). Realizando este cambio sucede una separación de tareas donde los operarios tendrán una mejor productividad al no tener que cambiar de tareas sino especializarse en una misma. Las funciones del operario encargado del corte de caña de azúcar con el método propuesto serán ahora la operación de corte, recolección de cañas, transporte a la chorra, depositar caña en la chorra y regresar al área de corte de caña, mientras que las funciones del nuevo puesto de trabajo de corte de puntas y recolección de basura son la operación de corte de puntas, transporte al área de basura y transportarse a la siguiente chorra. También se reducirá la distancia a recorrer del operario encargado del corte de puntas reduciendo de seis a tres surcos por operario, reduciendo transportes innecesarios.

Los tiempos del diagrama de operación de esta nueva operación, Figura 4, se calcularon con en relación a los tiempos de la operación actual. Se tomó una relación de distancia y tiempo con la velocidad del promedio de las operaciones y movimientos del DOP del proceso actual. Se analizó esta operación junto con el Ingenio Magdalena y se encontró que los tiempos aproximan a la realidad de cómo se aplicaría el método. Se tomó el tiempo del corte de puntas como un aumento del 50% más del tiempo de la operación en el DOP del proceso actual, ya que el operario encargado del corte de caña de azúcar deberá transportar la caña un 50% menos de distancia y podrá llevar más caña de azúcar durante el mismo transporte. Por este aumento del volumen de caña cortada el operario encargado del corte de puntas tendrá más trabajo que realizar que en una operación de corte de puntas del proceso actual, por lo que tardará hasta un 50% más en realizarla. Los tiempos de los transporte y regresos al área de trabajo se tomaron en relación a la cantidad de surcos a cruzar por este

operario. Estas se reducirían en un 50%, ya que el área de basura y la siguiente chorra están a la mitad de distancia que en el método actual.

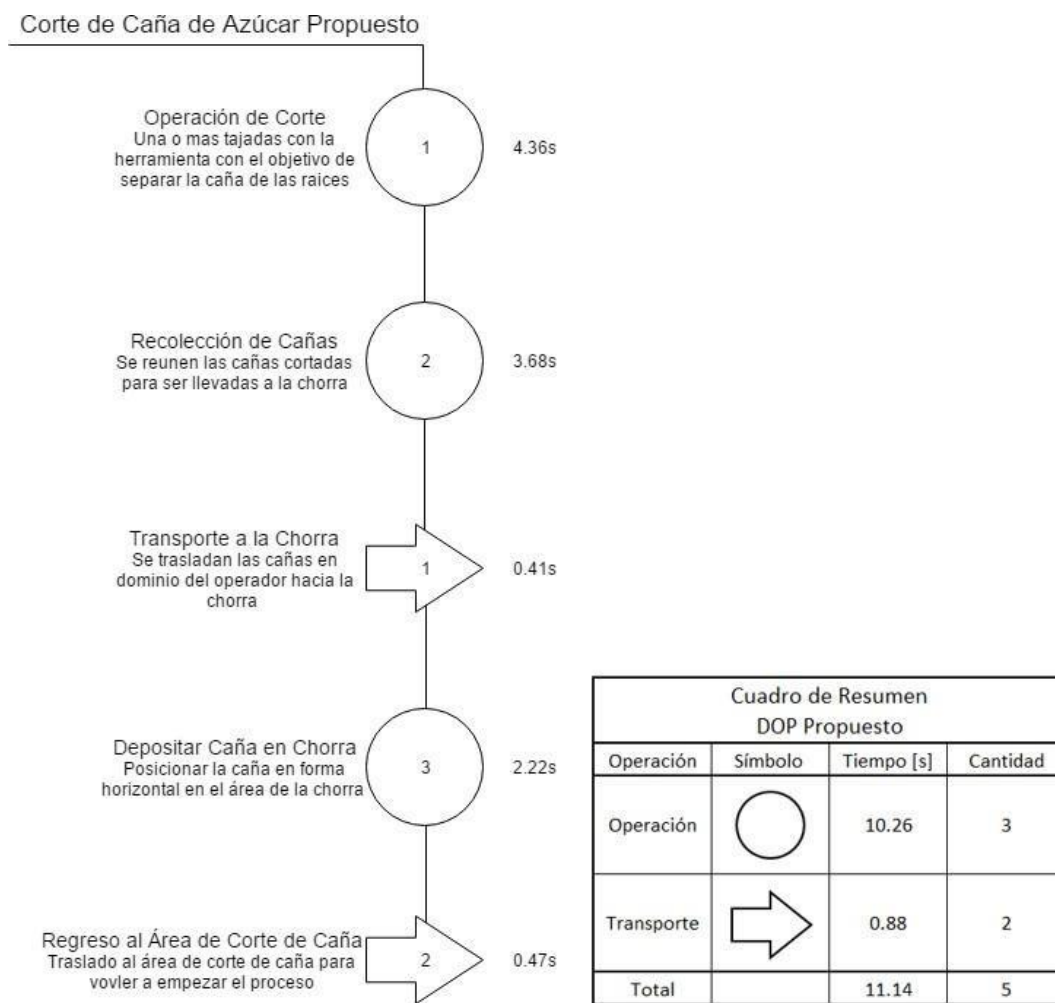


Figura 4. DOP del método propuesto de corte de caña de azúcar. Con cada acción de este DOP el operario genera una unidad de caña de azúcar con punta.

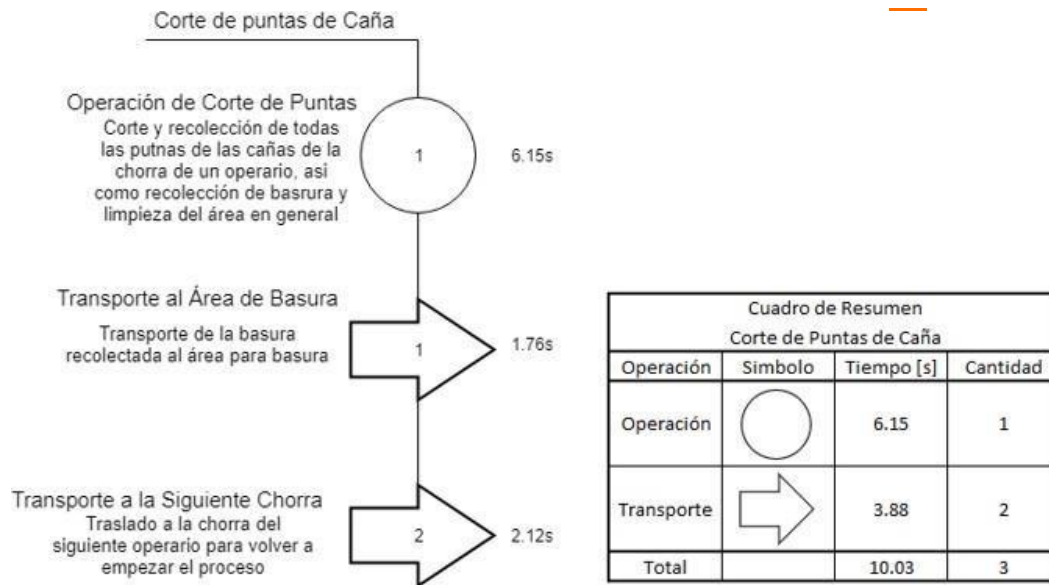
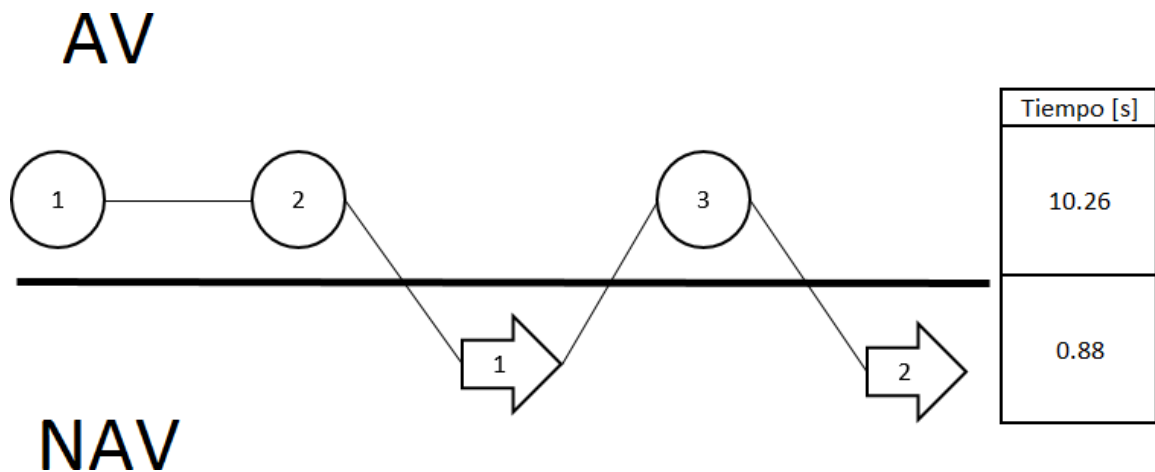


Figura 5. DOP del nuevo puesto creado de cortador de puntas de cañas. Con cada acción de este DOP el operario genera hasta cinco unidades de caña de azúcar sin punta.



*Figura 6. Gráfico AV-NAV del método de corte de caña de azúcar propuesto.*

Se puede observar con la Figura 6 que el método propuesto invierte 10.26 segundos en operaciones que agregan valor y 0.88 segundos en operaciones que no agregan valor, aumentando su tiempo efectivo de 39.37% con el método actual a 90.21% con el método propuesto. Con estos cambios no se puede observar la producción de únicamente un operario ya que ahora una estación de trabajo cuenta con un operario encargado de cortar la caña de azúcar, recolectar las cañas, transportarlas a la chorra y depositarlas y otro operario encargado de cortar las puntas y transportarlas al área de basura. Este cambio reduce la producción por operario ya que se tienen dos operarios para cortar la misma área que, con el método actual, un solo operario era capaz de cortar. La mejora se ve en efecto cuando el operario encargado del corte de puntas opera con más de un operario, lo cual se demostrará en la simulación de este método propuesto.

Para encontrar el máximo número de operarios de corte de caña que un solo operario de corte de puntas puede manejar primero se encontró la relación entre el peso de una caña de azúcar entera y cuanto dentro de esta es puntas y basura. Se midió que un conjunto de cinco cañas de azúcar con peso de 25 libras (Figura 7) luego estas se limpiaron y despuntaron y se encontró que tenían un peso de 20 libras (Figura 8). Esto significa que el conjunto de basura y puntas hacen aproximadamente el 20% del peso de la caña y que es posible movilizar más cantidad de basura de lo que se pueden movilizar cañas. Dada esta relación se encontró que el operario encargado del corte de puntas puede transportar cinco unidades de puntas y basura al mismo tiempo. Con esto se hizo una simulación paso a paso (Cuadro 2) donde se encontró el número máximo de operarios de corte de caña que un mismo operario de corte de puntas puede controlar sin sobrecargar las líneas de corte dejando muchas cañas de azúcar sin limpiar.



*Figura 7. Peso de una unidad de caña de azúcar con puntas de 25lb.*



*Figura 8. Peso de una unidad de caña de azúcar limpia y sin puntas de 20lb.*

La simulación paso a paso es una herramienta de simulación básica donde se pueden comparar varios factores que afectan a una o más líneas de trabajo. Para esta investigación la simulación que se realizó se aumentaron las cantidades de líneas, cada una representando a un operario con el método propuesto, hasta encontrar la cantidad máxima de líneas balanceadas, donde el operario de corte de puntas logra cortar todas las unidades de caña y no se va aumentando las unidades pendientes. Cada línea representa a un operario encargado del corte de caña con el método propuesto, tiene su espacio de tres surcos y es representado por un operario ideal, y el operario encargado del corte de puntas y recolección de basura está representado por un cuadro sombreado que se sobrepone sobre las unidades de caña acumuladas en cada recuadro.

En la simulación paso a paso cada línea vertical es la finalización de un ciclo, o paso, de producción, donde los operarios encargados del corte de caña de azúcar cortaron una unidad de caña de azúcar y el operario encargado del corte de puntas terminó un ciclo de trabajo. Ya que se encontró por la relación de pesos que una unidad de caña requiere cinco veces más fuerza que una unidad de puntas en moverse se puede ver que el operario de puntas puede limpiar y despuntar hasta cinco unidades de caña de azúcar en un mismo paso.

El turno del operario encargado de puntas seguirá un camino en zigzag de la primera a la última línea de producción luego regresará de forma inversa hasta llegar a la primera. El turno del operario encargado del

corte de puntas está señalado por el cuadro sombreado en el Cuadro 2. En la simulación como cada línea vertical es la finalización de un paso allí se sumará una unidad de caña a cada línea de trabajo, esta suma no se ve afectada por el turno del operario de corte de puntas por lo que incluso cuando el operario de corte de puntas esté en su línea esta seguirá produciendo. Ya que los tiempos de la operación de corte de caña y la operación de corte de puntas y recolección de basura son muy similares, 11.14 segundos y 10.03 segundos respectivamente, se asumió un largo de paso de 12 segundos para que ambas operaciones se realicen una vez. Luego de este paso retomarán la operación al mismo tiempo ambos procesos.

A manera de ejemplo se realizará la simulación de tres operarios realizando el corte de caña, operario 1, 2 y 3, y un operario realizando el corte de puntas, cuadro sombreado en verde. El trayecto del operario realizando el corte de puntas se verá sombreado en azul.

Núm. operarios		
	Unidades de caña de azúcar	
Operario 1	0	1
Operario 2	0	1
Operario 3	0	1
Tiempo en seg.	0	12

La simulación inicia con el primer paso de 12 segundos donde los tres operarios generan una unidad de caña cada uno.

Núm. operarios		
	Unidades de caña de azúcar	
Operario 1	0	1 (-5)
Operario 2	0	1
Operario 3	0	1
Tiempo en seg.	0	12

En el primer paso el operario de corte de puntas cortará las puntas y basura de hasta 5 unidades de caña, según lo visto en las figuras 7 y 8, dejando la cantidad de esta línea en 0 unidades de caña por despuntar.

Núm. operarios			
	Unidades de caña de azúcar		
Operario 1	0	0	1
Operario 2	0	1	2
Operario 3	0	1	2
Tiempo en seg.	0	12	24

El siguiente paso suma una unidad de caña a cada línea

Núm. operarios			
	Unidades de caña de azúcar		
Operario 1	0	0	1
Operario 2	0	1	2 (-5)
Operario 3	0	1	2
Tiempo en seg.	0	12	24

Luego el operario de corte de puntas continua a la línea del operario dos donde corta las puntas de hasta 5 unidades de caña

Núm. operarios				
	Unidades de caña de azúcar			
Operario 1	0	0	1	2
Operario 2	0	1	0	1
Operario 3	0	1	2	3
Tiempo en seg.	0	12	24	36

El siguiente paso suma una unidad de caña a cada línea

Núm. operarios				
	Unidades de caña de azúcar			
Operario 1	0	0	1	2
Operario 2	0	1	0	1
Operario 3	0	1	2	3 (-5)
Tiempo en seg.	0	12	24	36

Luego el operario de corte de puntas continua a la línea del operario tres donde corta las puntas de hasta 5 unidades de caña

De esta manera se van sumando unidades de caña en cada paso hacia la derecha y el operario encargado de puntas corta las puntas de hasta 5 unidades de caña en cada paso. Se terminará el ejemplo de este caso para luego presentar los resultados de las simulaciones hasta encontrar el máximo punto balanceado.

Núm. operarios					
	Unidades de caña de azúcar				
Operario 1	0	0	1	2	3
Operario 2	0	1	0	1	2
Operario 3	0	1	2	0	1
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48

Núm. operarios						
	Unidades de caña de azúcar					
Operario 1	0	0	1	2	3	0
Operario 2	0	1	0	1	0	1
Operario 3	0	1	2	0	1	2
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60

Núm. operarios							
	Unidades de caña de azúcar						
Operario 1	0	0	1	2	3	0	1
Operario 2	0	1	0	1	0	1	0
Operario 3	0	1	2	0	1	2	3
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72

Núm. operarios								
	Unidades de caña de azúcar							
Operario 1	0	0	1	2	3	0	1	2
Operario 2	0	1	0	1	0	1	0	1
Operario 3	0	1	2	0	1	2	3	0
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72	84

Num. Operarios											
	Unidades de caña de azúcar										
Operario 1	0	0	1	2	3	0	1	2	3		
Operario 2	0	1	0	1	0	1	0	1	2		
Operario 3	0	1	2	0	1	2	3	0	1		
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120

Núm. operarios									
	Unidades de caña de azúcar								
Operario 1	0	0	1	2	3	0	1	2	3
Operario 2	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Operario 3	0	1	2	0	1	2	3	0	1
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72	84	96

Núm. operarios										
	Unidades de caña de azúcar									
Operario 1	0	0	1	2	3	0	1	2	3	0
Operario 2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Operario 3	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108

Núm. operarios												
	Unidades de caña de azúcar											
Operario 1	0	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	
Operario 2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
Operario 3	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	

Los resultados de todas las simulaciones realizadas son los siguientes.

Núm. operarios													
Operario 1	Unidades de caña de azúcar												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Balanceado
Operario 1	Unidades de caña de azúcar												
Operario 2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1		
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	Balanceado	
Operario 1	Unidades de caña de azúcar												
Operario 2	0	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1		
Operario 3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	Balanceado	
	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3		
Operario 1	Unidades de caña de azúcar												
Operario 2	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4		
Operario 3	0	1	0	1	2	3	0	1	0	1	2	No balanceado	
Operario 4	0	1	2	0	1	0	1	2	3	0	1		
	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	1		
Operario 1	Unidades de caña de azúcar												
Operario 2	0	0	1	2	3	4	5	6	7	3	4		
Operario 3	0	1	0	1	2	3	4	5	1	2	0	No balanceado	
Operario 4	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3		
Operario 5	0	1	2	3	0	1	0	1	2	3	4		
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	5		
Tiempo en seg.	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120		

Cuadro 2. Resultado de la simulación paso a paso del corte de caña de azúcar con el método propuesto aumentando el número de operarios encargados del corte de caña de azúcar con únicamente un operario encargado del corte de puntas y recolección de basura. La simulación fue hecha con un paso de 12 segundos y calculada en unidades de caña.

Se encontró en el Cuadro 2 que el operario encargado del corte de puntas puede manejar hasta tres líneas de corte de caña de azúcar antes de que estas dejen de estar balanceadas. Si se le asignan más líneas estas producirán más cañas de azúcar que las que el operario encargado del corte de puntas podría manejar en un ciclo completo por lo que se tomará la configuración de tres operarios encargados del corte de caña de azúcar y un operario encargado del corte de puntas como la mejor configuración del método propuesto.

## VII. SUPUESTOS TOMADOS PARA LA SIMULACIÓN

Para corroborar que el método propuesto sea más eficiente que el método actual se trató de buscar un grupo de operarios para hacer el corte de caña de azúcar con el método actual y luego con el método propuesto para comparar los resultados. Esto se debía repetir aproximadamente cuatro veces para tener datos confiables que comparar y encontrar la eficiencia del método propuesto. Ya que durante este estudio no es época de corte de caña de azúcar y dado que no se tiene control sobre los operarios se diseñará una simulación para encontrar la mejora teórica del método propuesto.

El proceso de corte de caña de azúcar tiene, como todos los procesos reales, muchas variables que impactan su funcionamiento, y al modelarlo se debió simplificar para hacer viable su modelación. A continuación, se encuentran los supuestos tomados para producir una modelación viable y apegada lo más posible a la realidad.

## A. Altura del surco

La altura del surco es la distancia desde el valle hasta la cresta del surco (Figura 9). Tanto la altura del surco como el ancho de este están determinados por la siembra, el terreno, la finca y el operario que ara la tierra. Este factor afecta la velocidad a la cual el operario se traslada, el cansancio de operar al tener que subir y bajar surcos muy altos y la carga que el operario pueda trasladar hacia la chorra con facilidad. La altura de los surcos no se mantiene constante dentro de un mismo cañal, ya que las deformidades del terreno, la erosión o la presencia de arena genera cambios en la altura y el ángulo de inclinación del surco.

Para la simulación se asumió que el surco es de una altura constante, dándole al operario una velocidad de movimiento constante. Se asumió también que la altura del surco se mantendrá constante en ambas simulaciones, la actual y la propuesta, por lo que no tiene importancia en valor numérico ya que será constante entre ambas simulaciones. Sobre este factor se asumió que la velocidad de traslación del operario será la velocidad tomada durante el trabajo del operario en la Finca Santa Fe.

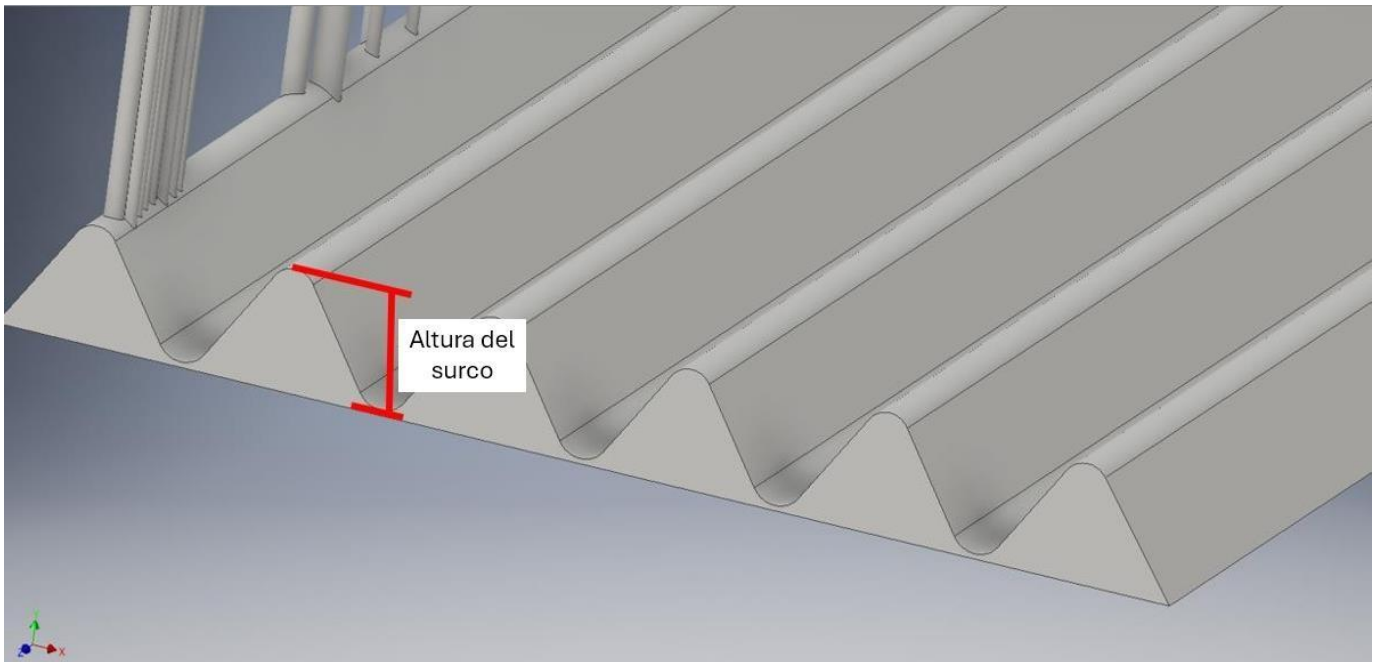


Figura 9. Diagrama que muestra la correcta medición de la altura del surco.

## B. Ancho del surco

El ancho del surco es la distancia entre dos crestas o dos valles del surco (Figura 10). Como se explicó previamente, este factor es determinado por el proceso de siembra de la caña de azúcar. Este factor afecta a la velocidad de traslado del operario, mientras más ancho sea un surco hay más distancia que recorrer al transportar caña a la chorra, transportar la basura en su canal o trasladarse a la siguiente área de trabajo. Este factor también afecta la velocidad de corte de un operario, mientras más ancho sea un surco hay más distancia entre las cañas de un surco y otro, permitiendo tajadas de la herramienta más fuertes.

Para la simulación se asumió que el ancho del surco será constante, dándole al operario una velocidad de corte y velocidad de traslación constante. Esto se mantendrá constante en ambas simulaciones ya que no se tiene control sobre el trabajo de tierra y se busca tener una velocidad constante tanto de traslación como de corte. Se tomará como valor el mismo encontrado en la investigación en la finca Santa Fe.

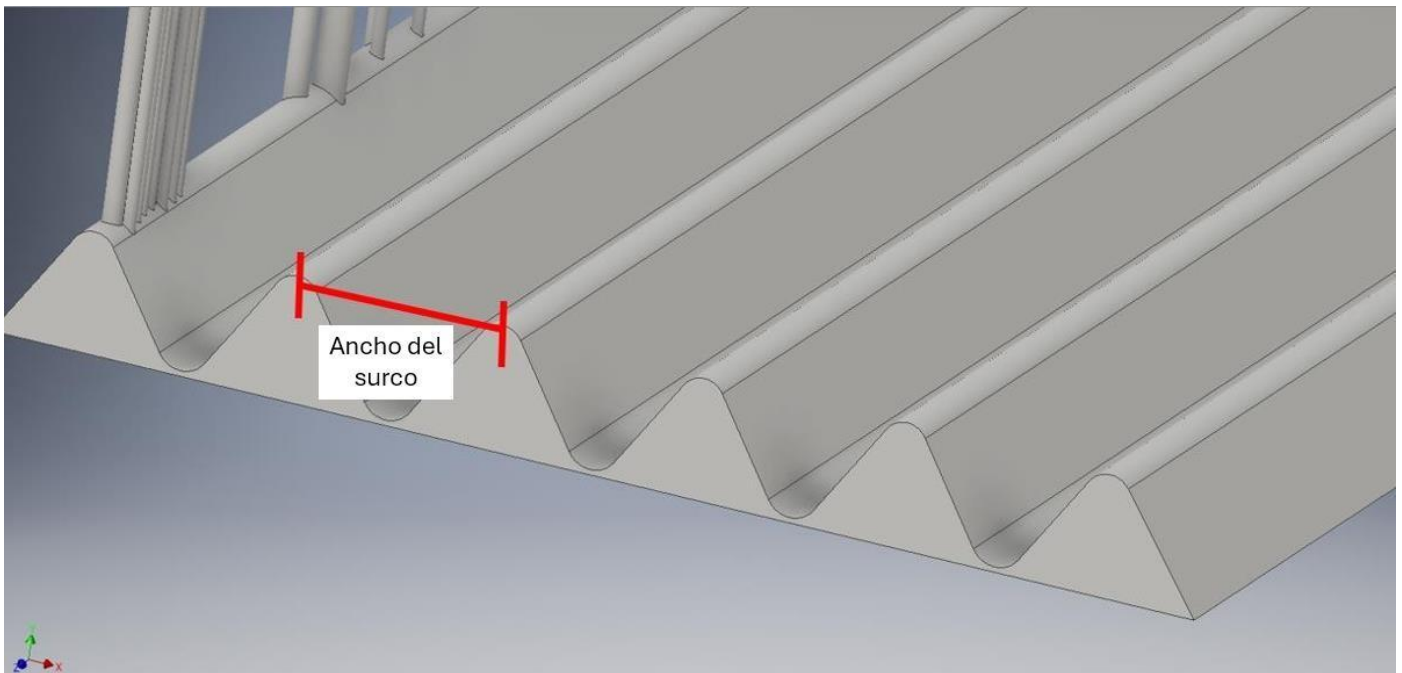


Figura 10. Diagrama que muestra la correcta medición del ancho del surco.

### C. Densidad de crecimiento de la caña de azúcar

La densidad de crecimiento de la caña de azúcar es una razón que explica cuántas cañas hay en un espacio definido de tierra, donde una densidad de caña alta significa que hay cañas muy juntas en un mismo lugar y una densidad baja que hay espacio entre caña y caña (Figura 11). Este valor no se mantiene constante dentro de un mismo cañal ya que la caña de azúcar nace en forma de brotes desde una misma raíz, concentrándose en algunas partes y dejando espacios de suelo sin cañas. Esto afecta el avance del frente de corte y la producción por área, ya que mientras más espacios de poca densidad se encuentren en un cañal se tendrá un avance de frente mayor, pero se producirá menos caña por unidad de área.

Para la simulación se asumió que la densidad de cañas es constante dentro de todo el cañal, teniendo un avance y una producción por unidad de área constantes. Este valor se mantendrá constante en ambas simulaciones ya que en la vida real no se puede controlar directamente la densidad de caña sin saturar o desperdiciar el terreno. Para la simulación no se utilizará un valor para el avance, pero el valor de la producción se mantendrá constante en ambas simulaciones para no afectar los cálculos.

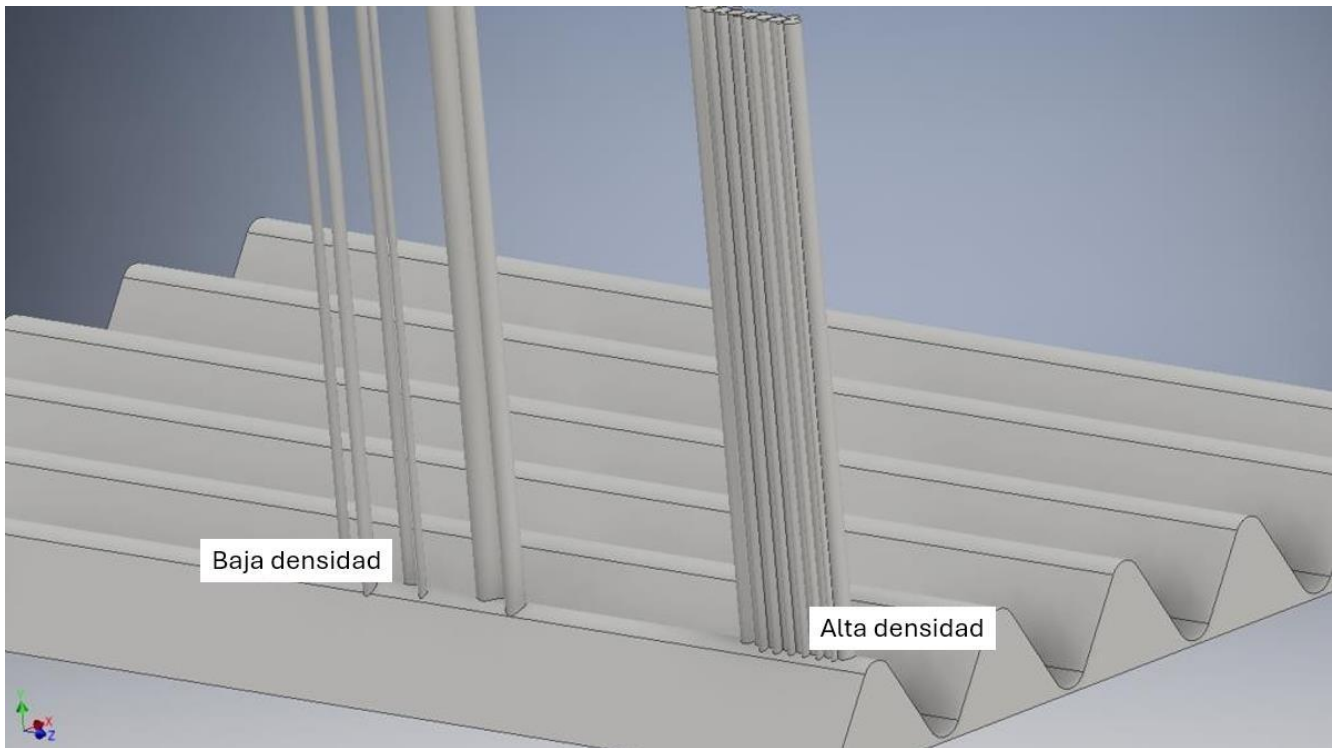


Figura 11. Diagrama que muestra la diferencia entre una baja y una alta densidad de crecimiento de caña de azúcar.

## D. Tiempo de producción del operario

El tiempo de corte de un operario es el tiempo que le toma cortar las cañas y recolectarlas, un valor muy variable dentro del proceso que depende de la posición del operador respecto a la chorra, la densidad de cañas en ese punto y la cantidad de cañas que un operario está dispuesto a cargar a la vez. Este valor marca la producción del operario ya que mientras más tiempo tarde en cortar y recolectar se tomará mayor tiempo en transportarlo y se trasladará a la siguiente área de forma más lenta por el esfuerzo que hizo en el transporte hacia la chorra.

En la simulación este valor se consideró como un valor normal con una desviación estándar relacionada con los valores que se encontraron con las tomas de tiempo. En las simulaciones se tomará un valor promedio y una desviación estándar según los datos tomados en las tomas de tiempo. Como las tomas de tiempo no son sobre el mismo operario y sobre la operación constante entre los operarios se asumirá que los valores son normales para simplificar los cálculos de la simulación.

## E. Constancia del operario

La constancia del operario es un factor que explica cuánto tiempo puede mantener un operario su ritmo de trabajo. Al ser un trabajo físicamente desgastante el operario fluctúa su fuerza en ciclos de alta producción y baja producción. Esto es difícil de ver en números, pero viendo la operación se puede encontrar cuando el operario está cansado y realiza su operación en forma más lenta.

En la simulación los operarios tendrán su movimiento distribuido de forma triangular con 1 de moda, 0.5 de valor mínimo y 1.5 de valor máximo. Esto dice que el tiempo de producción se mantendrá la mayoría del tiempo de forma constante. Este valor se mantendrá constante ya que se asume que todos los operarios tendrán la misma velocidad y que trabajarán el mismo ritmo en el método actual como el método propuesto

## F. Orden de operaciones

El orden de las operaciones de este proceso es variable según la experiencia, preferencia y situación actual del operario. En las tomas de tiempo se puede apreciar que los operarios de forma regular no siempre realizan todas las operaciones. Esto evita que el proceso sea estándar al momento de realizarlo, pero con el DOP propuesto de la operación actual se puede ver el orden general que estas operaciones llevan.

En la simulación del método actual los operarios seguirán siempre el orden de las operaciones, de forma lineal y siempre siguiendo las operaciones que el DOP propone. En la simulación del método propuesto se seguirá la misma regla, pero utilizando el DOP de la operación propuesta. Esto permite la estandarización de ambos métodos y una simulación más sencilla y homogénea.

### G. Transporte a la chorra y a la siguiente área de trabajo

El transporte a la chorra y a la siguiente área de trabajo es el tiempo que le lleva al operario transportarse con las cañas cortadas del área de corte a la chorra y el tiempo que le lleva al operario trasladarse de la chorra a la siguiente área de trabajo. Este tiempo no es constante ya que la chorra, que va al centro, está a 2.5 surcos de distancia de los surcos uno y seis, 1.5 surcos de distancia de los surcos dos y cinco y 0.5 surcos de distancia de los surcos tres y cuatro, dándole al operario distintos tiempos de transporte entre los surcos y la chorra.

En la simulación del método actual ambos tiempos serán tomados como constantes, el promedio entre un viaje a cada surco que el operario tenga asignados. De esta forma si la simulación opera un surco a la vez en orden desde uno a seis después de terminar el surco seis el tiempo de transporte será el mismo que si se programaran los tiempos individuales para cada surco. Se calculó (Cuadro 3) que con una distancia de 1.5 surcos para todos los transportes se puede simplificar el transporte a únicamente este valor si se cumple el supuesto del orden de operaciones.

Número de surco	1	2	3	4	5	6
Distancia [surcos]	2.5	1.5	0.5	0.5	1.5	2.5

Número de surco	1	2	3	4	5	6
Distancia [surcos]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Cuadro 3. Gráfico que muestra cómo se puede programar las distancias de transporte como uno mismo valor mientras se realicen estos transportes en grupos de seis.

Al igual que la simulación del método actual, para la simulación del método propuesto se tomó el tiempo promedio entre los traslados, Cuadro 4. En este caso el operario se transporte entre el surco uno y tres y se transporte 0.5 surcos hacia la izquierda, 0 surcos por estar situado en el centro ó 0.5 surcos hacia la derecha. Igual que en la simulación anterior, si el operario pasará por los tres surcos al menos una vez el tiempo de transporte de toda la operación será igual al tiempo de transporte utilizando el tiempo promedio de los tiempos en los tres transportes.

Número de surco	1	2	3
Distancia [surcos]	0.5	0	0.5

Número de surco	1	2	3
Distancia [surcos]	0.33	0.33	0.33

*Cuadro 4. Gráfico que muestra cómo se puede programar las distancias de transporte como uno mismo valor mientras se realicen estos transportes en grupos de tres para e método propuesto.*

## H. Datos de Simio

Para una correcta comparación de ambos métodos se deberán mantener algunos datos iguales entre las simulaciones, por lo que muchos objetos creados en una simulación se tendrán igual en ambas simulaciones para mantener sus valores constantes y en caso haya un error su efecto se pueda ignorar sus efectos en las simulaciones.

Los datos del operario encargado del corte de la caña de azúcar (Figura 12) se tomaron de un operario estándar en Simio con únicamente la velocidad de corte distinta. La velocidad de transporte del operario se modeló como una distribución triangular con una moda de 1, un valor mínimo de 0.5 y un valor máximo de 1.5, todas estas medidas en metros por segundo. Esto se realizó ya que la velocidad promedio de caminado de un humano es de un metro por segundo y se calculó que por la dificultad del terreno la velocidad mínima del operario sería de la mitad de esta y como velocidad máxima se calculó que sería de 1.5 metros por segundo en condiciones ideales. Estos valores serán iguales en ambas simulaciones, por lo que el efecto de estos se podrá ignorar al ver los datos finales.

<input type="checkbox"/>	<b>Resource Logic</b>	
	Capacity Type	Fixed
	Ranking Rule	First In First Out
	Dynamic Selection Rule	None
	Park While Busy	False
<input type="checkbox"/>	<b>Travel Logic</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Initial Desired Speed	<b>Random.Triangular( 0.5 , 1 , 1.5 )</b>
	Initial Travel Mode	Network If Possible
	Initial Network	Global
	Network Turnaround Method	Exit & Re-enter
	Free Space Steering Behavior	Direct To Destination
<input type="checkbox"/>	<b>Routing Logic</b>	
	Initial Priority	1.0
	Initial Node (Home)	
	Idle Action	Park At Node
	Off Shift Action	Park At Node
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Transport Logic</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Financials</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Add-On Process Triggers</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Population</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Advanced Options</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>General</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Animation</b>	

Figura 12. Datos de programación del operario.

Otro objeto que será constante en ambas simulaciones será la caña de azúcar y los surcos donde se crean las entidades de caña de azúcar. La caña de azúcar se modeló como una entidad (Figura 13) con una velocidad constante de 1 metro por segundo y un número máximo muy grande para evitar que dejaran de existir entidades en el sistema. Estas entidades son creadas por los surcos (Figura 14) que crean toda la caña que pueden hasta llenar su capacidad, de esta forma el operario no tiene tiempos ociosos y siempre que llega a un surco este tiene entidades para producir.

<b>Travel Logic</b>	
Initial Desired Speed	1.0
Units	Meters per Second
Initial Travel Mode	Network If Possible
Initial Network	Global
Network Turnaround Method	Exit & Re-enter
Free Space Steering Behavior	Direct To Destination
<b>Routing Logic</b>	
<b>Financials</b>	
<b>Population</b>	
Initial Number In System	0
Maximum Number In System Limit	100000000
Destroyable	True
<b>Advanced Options</b>	
<b>General</b>	
Name	Cana
Description	
Public	True
Report Statistics	True
<b>Physical Characteristics</b>	
<b>Animation</b>	

Figura 13. Datos de programación de la entidad de caña de azúcar.

<b>Entity Arrival Logic</b>	
Entity Type	Cana
Arrival Mode	Interarrival Time
Time Offset	0.0
Interarrival Time	Random.Exponential(.25)
Entities Per Arrival	1
<b>Stopping Conditions</b>	
<b>Buffer Capacities</b>	
<b>State Assignments</b>	
<b>Table Reference Assignments</b>	
<b>Financials</b>	
<b>Add-On Process Triggers</b>	
<b>Advanced Options</b>	
<b>General</b>	
Name	Surco 1
Description	
Public	True
Report Statistics	True
<b>Physical Characteristics</b>	
<b>Animation</b>	

Figura 14. Datos de programación de la creación de entidades en el surco.

## VIII. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL MÉTODO ACTUAL DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR

Como no se puede realizar una prueba de campo para determinar si el método propuesto realmente es una mejora sobre el método actual se deben simular ambos, el método propuesto para revisar su nivel de producción y el método actual para tener un valor de comparación. Para la simulación del método actual se utilizaron los supuestos y el DOP presentados anteriormente para simplificar el proceso manteniendo el método lo más cercano a la realidad. Se utilizó el software Simio para simular el proceso simplificado por su facilidad de creación de espacios de trabajo y sus canales de movimiento tanto para operarios como para productos.

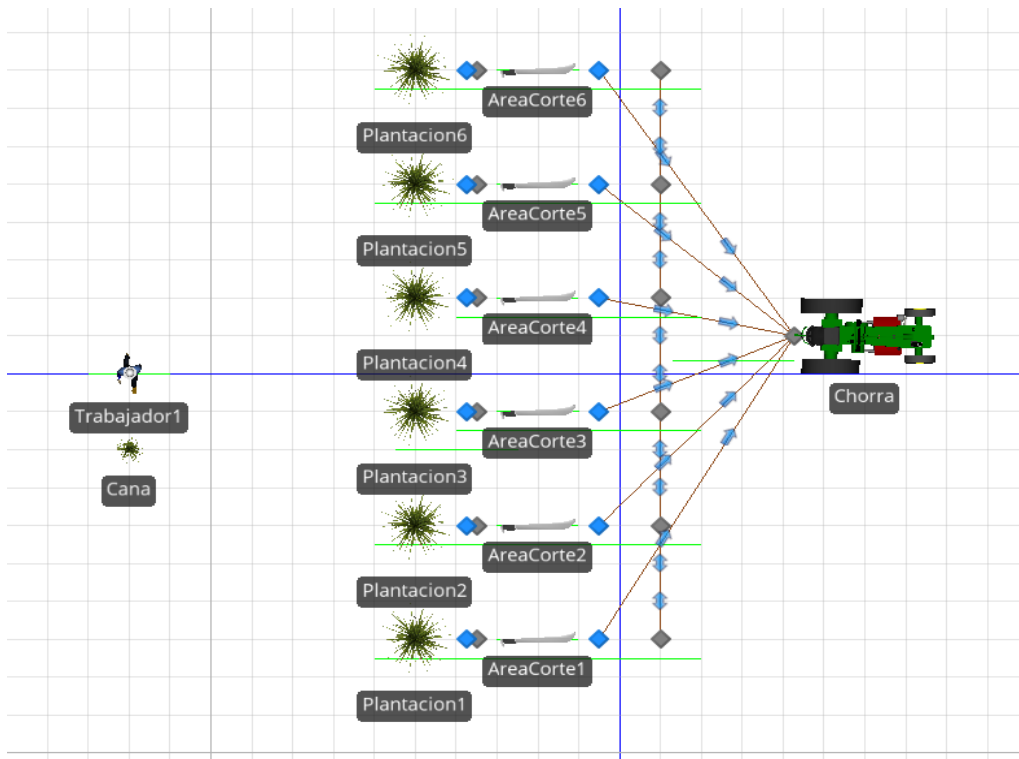


Figura 15. Orden lógico en el que se simuló el método actual de corte de caña de azúcar.

La simulación (Figura 15) se realizó con seis entradas que representan los seis surcos que dan una cantidad logísticamente infinita de caña de azúcar para que el operario nunca tenga que esperar por más caña de azúcar. Luego se programaron seis áreas de corte como estaciones en las cuales siempre debe estar el operario para trabajar la caña. Para la parte final del flujo de caña parte se programó un “sink” para la eliminación de unidades que en el corte real es la chorra. Como última parte se programó un operario que debe ser atrapado por cada estación antes de cada trabajo en ella. El tiempo de trabajo en cada área de trabajo se colocó como el promedio de los tiempos estándar encontrados por las tomas de tiempo únicamente para que la simulación diera un valor medio de producción. La logística de programación de las estaciones de corte es que en todas ellas está programado el tiempo que tarda hacer la operación completa menos el tiempo que tarda el trayecto hacia la siguiente área de trabajo. Es decir, el tiempo de cada área es igual al promedio de tiempos estándar menos el tiempo de traslado a la siguiente área de trabajo. El tiempo de traslado a la siguiente área de trabajo está programado como la distancia entre áreas de trabajo y la velocidad de transporte del operario. Este tiempo es el promedio de todos los transportes a las siguientes áreas de trabajo, ya que se mueve entre el surco uno y seis y se transporte desde 2.5, 1.5 y 0.5 surcos hacia cada lado entonces si el operario recorre una vez las seis estaciones con el tiempo promedio sería igual a que si recorre cada una con su tiempo individual, como se explicó y ejemplifica en la Cuadro 3.

La programación de las áreas de trabajo se tomó como una estación estándar con algunas modificaciones (Figura 16). Se programó la velocidad de procesamiento como una distribución normal con una media de 26.06 y una distribución estándar de 8.21. Estos datos fueron obtenidos de un análisis de todos los datos obtenidos en las tomas de tiempos. Estos datos no forman una distribución normal en su totalidad, pero se asumió como normal para la simulación para facilitar los datos de la simulación del método propuesto. Se asumió normal ya que en la práctica la operación es normal cuando se toma de un único operario, pero como no se tienen datos del operario del método propuesto se utilizarán estos datos para encontrar su distribución normal. De esta forma se asegura que ambos operarios tienen la misma variabilidad.

[-] <b>Process Logic:</b>	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	1
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
[+] Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
[-] Processing Time	<b>Random.Normal( 26.06 , 8.21 )</b>
Units	<b>Seconds</b>
Off Shift Rule	Suspend Processing
[+] <b>Buffer Capacities</b>	
[+] <b>Reliability Logic</b>	
[+] <b>State Assignments</b>	
[+] <b>Secondary Resources</b>	
[+] <b>Financials</b>	
[-] <b>Add-On Process Triggers</b>	
Run Initialized	
Run Ending	
Entered	
Before Processing	<b>SeizeN1</b>
Processing	
After Processing	<b>Release</b>
Exited	
Failed	
Repaired	
Evaluating Seize Request	
On Shift	
Off Shift	
[+] <b>Advanced Options</b>	
[-] <b>General</b>	
Name	AreaCorte1
Description	
Public	True
Report Statistics	True

Figura 16. Datos de programación del área de corte del método actual.

Con esta simulación programada se inició una producción por cuatro horas continuas para tener un valor numérico de producción en ese tiempo. Al correr la simulación se encontraron los siguientes resultados. Se produjeron 442 unidades de caña en el tiempo de la simulación, esto se puede ver con las observaciones destruidas en el “sink” y las unidades asignadas por el operario, este último tiene una unidad más ya que se le asignó una unidad que no pudo ser destruida por el “sink” antes que terminaran las 4 horas. Este valor no tiene una significancia real en producción y se utilizará únicamente para comparar ambos métodos, por esa razón este valor no se puede comparar con algún valor real o un nivel de producción conocido.

Sink	Chorra	[DestroyedObjects]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Ho...	1.8538
					Maximum (Ho...	3.7080
					Minimum (Ho...	0.0138
					Observations	442.0000
		InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	442.0000
			NumberExited	Total	442.0000	
Source	Surco1	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	950.0000
				NumberExited	Total	950.0000
	Surco2	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	943.0000
				NumberExited	Total	943.0000
	Surco3	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	985.0000
				NumberExited	Total	985.0000
	Surco4	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	951.0000
				NumberExited	Total	951.0000
	Surco5	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	949.0000
				NumberExited	Total	949.0000
	Surco6	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	939.0000
				NumberExited	Total	939.0000
Worker	Trabajador 1	[Population]	Capacity	ScheduledUtilization	Percent	99.9957
				UnitsAllocated	Total	443.0000
				UnitsScheduled	Average	1.0000
					Maximum	1.0000
				UnitsUtilized	Average	1.0000
					Maximum	1.0000

Figura 17. Gráfico de resultados de la simulación del método actual.

## IX. RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR

La simulación propuesta fue hecha con los mismos estándares, constantes y valores que la simulación del método actual (Figura 18). Para este método se buscó presentar los cambios de la forma más real y posible para el método. Para esta simulación se programó únicamente el operario encargado del corte, no el operario encargado del corte de puntas. Se programó el tiempo de operación de cada área de corte es igual al tiempo estándar por operación del DOP del método propuesto excepto el tiempo de transporte a la siguiente área de trabajo. El tiempo de traslado a la siguiente área de trabajo se programó como la distancia entre las áreas de operación y la velocidad de caminata del operario.

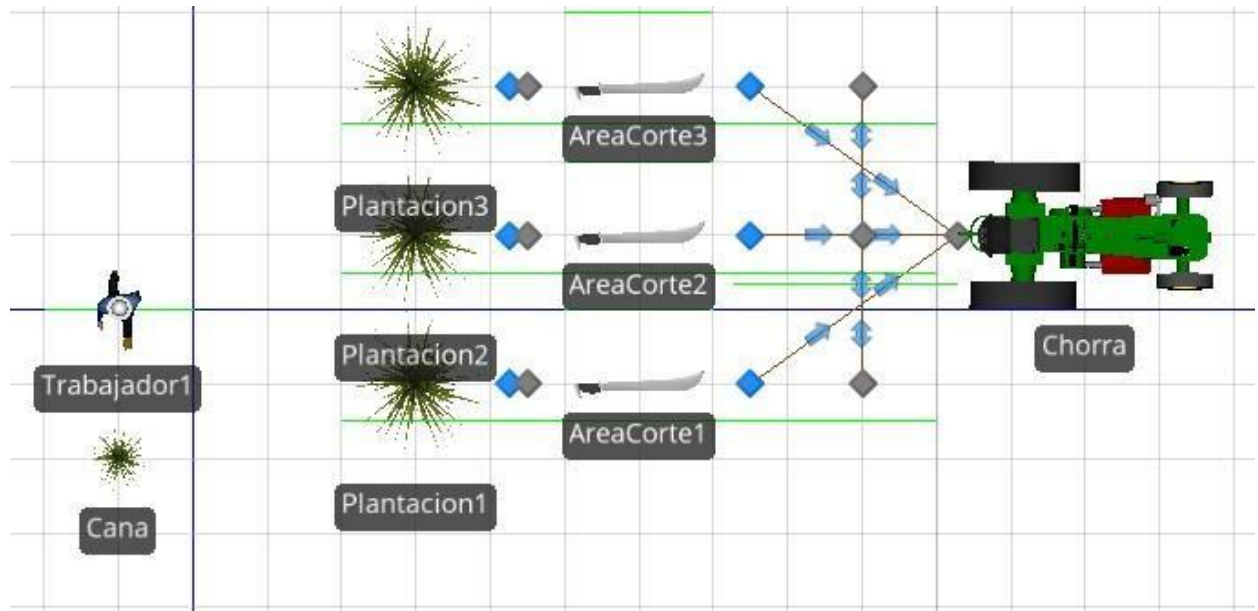


Figura 18. Orden lógico en el que se simuló el método propuesto para el corte de caña de azúcar.

En esta simulación se utilizaron tres entradas con infinitas cañas disponibles para el corte y un único operario encargado de cortar esos tres surcos. Se programó de igual manera que el método anterior, se programó un “sink” para la eliminación de las unidades creadas en el lugar donde la chorra estaría. Se programó un operario que debe trasladarse entre áreas de operación, siendo atrapado por cada área de operación antes de su producción.

La programación del área de corte en la simulación propuesta se modeló como una distribución normal con una media de 11.14 segundos y una distribución estándar de 3.51 segundos (Figura 19). La media de esta distribución se encontró con la relación entre el método propuesto y el método actual, y la desviación estándar se encontró con una relación directa entre la media y la desviación estándar del método actual. Esto se hizo de esta manera para mantener una relación constante de desviación entre ambos operarios, dándoles la misma habilidad para hacer el trabajo.

<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	1
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
Processing Time	<b>Random.Normal( 11.15 , 3.51 )</b>
Units	<b>Seconds</b>
Off Shift Rule	Suspend Processing
<b>Buffer Capacities</b>	
<b>Reliability Logic</b>	
<b>State Assignments</b>	
<b>Secondary Resources</b>	
<b>Financials</b>	
<b>Add-On Process Triggers</b>	
Run Initialized	
Run Ending	
Entered	
Before Processing	<b>SeizeN1</b>
Processing	
After Processing	<b>Release</b>
Exited	
Failed	
Repaired	
Evaluating Seize Request	
On Shift	
Off Shift	
<b>Advanced Options</b>	
<b>General</b>	
Name	AreaCorte1
Description	
Public	True
Report Statistics	True

Figura 19. Datos de programación del área de corte del método propuesto.

Sink	Chorra	[DestroyedObjects]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Ho...	1.3057
					Maximum (Ho...	2.6291
					Minimum (Ho...	0.0063
					Observations	993.0000
		InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	993.0000
		NumberExited	Total	993.0000		
Source	Surco1	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	965.0000
				NumberExited	Total	965.0000
	Surco2	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	915.0000
				NumberExited	Total	915.0000
	Surco3	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	946.0000
				NumberExited	Total	946.0000
Worker	Trabajador 1	[Population]	Capacity	ScheduledUtilization	Percent	99.9983
				UnitsAllocated	Total	994.0000
				UnitsScheduled	Average	1.0000
					Maximum	1.0000
				UnitsUtilized	Average	1.0000
					Maximum	1.0000

Figura 20. Gráfico de resultados de la simulación del método propuesto.

Al simular esta propuesta se pudo observar que la producción aumentó en relación con la producción de la simulación del método actual. La producción de un operario por cuatro horas del método propuesto fue de 993 unidades producidas. Esto sobrepasa los valores de la producción de otro operario con el método actual, pero como el método propuesto requiere como mínimo el uso de dos operarios se requiere duplicar la producción del método actual para poder compararlo con el método propuesto. Al hacer esto se encuentra que el método propuesto produce 54 unidades más que el método actual con el uso de dos operarios. Cada operario adicional, en el método actual aumentará esa producción por 442 unidades, pero cada operario adicional, después de dos en el método propuesto aumenta en 993 unidades. Esta relación se ve explicada en el Cuadro 5 y Figura 21 a continuación.

Método actual	
Operarios	Producción en 4 horas en unidades de caña
1	442
2	884
3	1326
4	1768

Método propuesto				
Operarios de corte de puntas	Operarios de corte de caña	Total de operarios	Producción en 4 horas en unidades de caña	Porcentaje de mejora
1	1	2	993	10.98%
1	2	3	1986	33.23%
1	3	4	2979	40.65%

Cuadro 5. Valores numéricos de producción y porcentaje de aumento de un método sobre otro mientras más operarios hagan de forma simultánea el método. La producción se calcula en unidades de caña

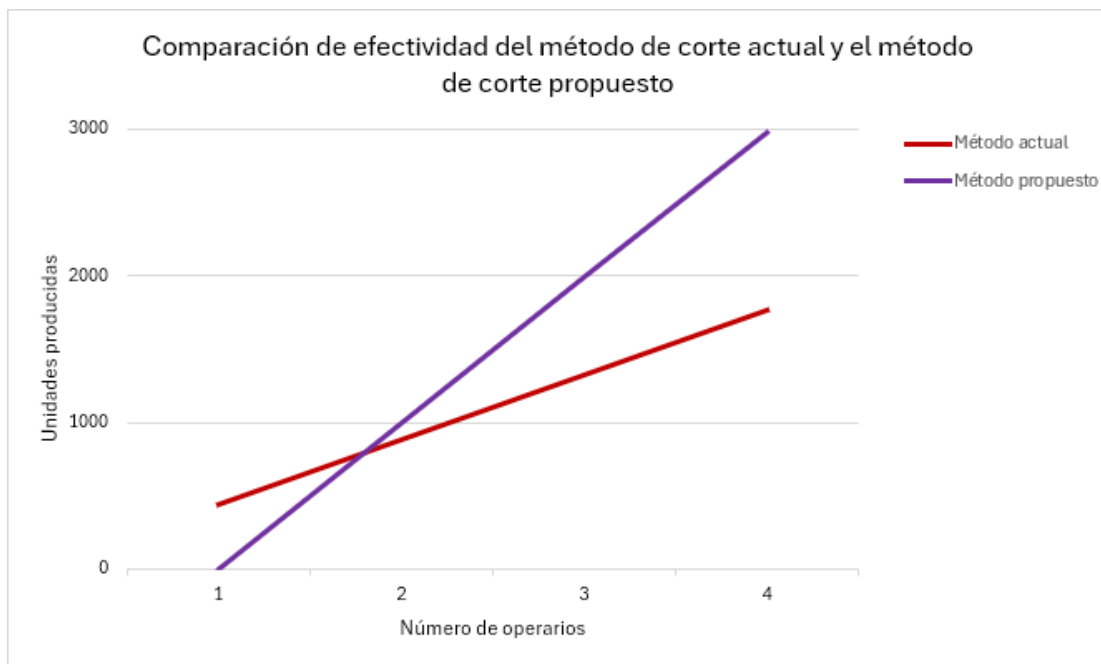


Figura 21. Gráfica de producción en unidades de caña producidas por número de operarios. El método propuesto tiene valor 0 en 1 operario ya que requiere un mínimo de 2 operarios para realizarse.

Como se puede observar en el Cuadro 5 en el punto máximo balanceado de 3 operarios en corte de caña por cada operario de corte de puntas, encontrado en el Cuadro 2, se puede aumentar la producción en un 40.65% respecto al método actual. Al ser este una cantidad teórica se realizó una prueba piloto con el Ingenio Magdalena a inicios del año 2018 con lo que se validó este valor.

Durante la primera zafra del año 2018 se realizó una prueba piloto con dos grupos de cuatro operarios cada uno, procurando que estos tuvieran una velocidad similar de corte entre ellos. Se realizó al final de un día de trabajo con dos grupos de trabajo, uno utilizando el método actual y otro utilizando el método propuesto. Dado a la diferencia de los métodos se pusieron metas proporcionales al área que recorrería cada grupo. El grupo utilizando el método actual tenía una meta de 5 metros convirtiendo su área en 120 Surcos-Metro (Cuadro 6). El grupo utilizando el método propuesto tenía una meta a 14 metros convirtiendo su área en 124 Surcos-Metro (Cuadro 6).

Método actual				
24 surcos por 5 metros 120 surcos-metro				5 metros
6 surcos op 1	6 surcos op 2	6 surcos op 3	6 surcos op 4	

Método propuesto			
9 surcos por 14 metros 126 surcos-metro			14 metros
3 surcos op 1	3 surcos op 2	3 surcos op 3	
op 4	corte de puntas		

Cuadro 6. Distribución de prueba piloto realizada en Finca Santa Fe.

El grupo con el método actual obtuvo un tiempo de 15 minutos con 6 segundos para terminar la prueba mientras el grupo con el método propuesto obtuvo un tiempo de 10 minutos con 36 segundos para terminar la prueba, lo que nos da una reducción en el tiempo de operación de aproximadamente 30%, produciendo más caña en tiempos iguales al comparar ambos métodos. Es importante considerar que para esta prueba piloto los operarios con el método propuesto no tenían experiencia con el método propuesto, por lo que estaban en la base de la curva de aprendizaje de este método, por lo que es posible que este porcentaje de mejora aumente con la aplicación más constante del método propuesto. Para el resto de cálculos se tomará este 30% como la mejora en producción del método propuesto.

Las mejoras al método de corte de caña de azúcar que se proponen en esta investigación llegan a reducir a largo plazo el costo que el Ingenio Magdalena sufre al iniciar el proceso de corte de caña de azúcar. Tomando en cuenta los datos de la Figura 22 se calculó el punto en que se cortan unidades similares con ambos métodos para así poder calcular una reducción en la cantidad de operarios totales necesarios.

Método actual	
Operarios	Producción en 4 horas en unidades de caña
1	442
2	884
3	1326
4	1768
5	2210
6	2652
7	3094

Método propuesto				
Operarios de corte de puntas	Operarios de corte de caña	Total de operarios	Producción en 4 horas en unidades de caña	Porcentaje de mejora
1	1	2	993	10.98%
1	2	3	1986	33.23%
1	3	4	2979	40.65%

Cuadro 7. Comparación de producciones con el método actual y el método propuesto.

Con la mejora encontrada de utilizar tres operarios encargados del corte de caña y un operario encargado del corte de puntas se puede reducir la fuerza laboral en una proporción según la comparación de las producciones teóricas con ambos métodos. Como se puede ver en el cuadro de arriba (Cuadro 7) el método propuesto y el método actual producen similares unidades cuando el método actual utiliza 7 operarios y cuando el método propuesto utiliza 4 operarios. Con estas cantidades se puede encontrar que hay una reducción aproximada del 25% en la cantidad de operarios necesarios para el proceso. Con esta relación se puede encontrar un ahorro en los salarios devengados a los operarios encargados del corte de caña de azúcar.

Se conoce que el salario de los operarios es alrededor del salario mínimo agrícola para el presente año en Guatemala, Q 2,900.00 mensuales, y se tendrá como intervalo de tiempo de trabajo los seis meses de duración de la época de corte de caña de azúcar. Teniendo un promedio de 7,500 operarios se calculó que a lo largo de un corte de caña de azúcar el Ingenio Magdalena pagaría Q 130,500,000.00 en salarios a sus operarios. Utilizando estos valores con una reducción del 25% de la fuerza laboral y un aumento de Q 100.00 mensuales de salario por operario, buscando la mejora tanto para el operario como para el Ingenio Magdalena. Se encontró que si se aplicara esta propuesta la fuerza laboral se reduciría a 5625 operarios y se pagarían Q 101,250,000.00 en salarios, siendo esta mejora un 22.41% en relación con el método actual y un ahorro de Q 29,250,000.00 a lo largo de los seis meses de corte de caña de azúcar (Cuadro 8).

	Método actual	Método propuesto
Operarios	7500	5625
Salario mensual	Q 2,900.00	Q 3,000.00
Meses de zafra	6	6
Salarios totales	<b>Q 130,500,000.00</b>	<b>Q 101,250,000.00</b>

*Cuadro 8. Cantidad de operarios y salarios pagados a operarios con el método actual y el método propuesto.*

## X. MEJORAS DE SEGURIDAD EN EL MÉTODO DE CORTE DE CAÑA DE AZÚCAR

Durante la investigación se pudo observar diversas fallas en materia de seguridad, poniendo a los operarios en peligro. Como todo trabajo hecho de forma manual se tiene cierto grado de peligro que puede ser reducido con buenas prácticas de seguridad. El objetivo de esta sección es reducir los riesgos de mayor efecto dentro del proceso aumentando las barreras de seguridad, reduciendo los incidentes y accidentes causados por deficiencias administrativas y reducir los incidentes y accidentes causados por errores humanos. Los mayores riesgos dentro del proceso pueden ser observados a simple vista como falta del equipo adecuado o modificación de este.

A simple vista uno de los riesgos físicos que mayor efecto podría tener sobre los operarios es el riesgo de un golpe con la herramienta en el pie izquierdo, (Figura 22). Para cortar el operario eleva la herramienta con su mano derecha sobre su cabeza y luego la baja en un movimiento semicircular golpeando la caña de azúcar a aproximadamente 30 centímetros a la izquierda de su pie derecho. La técnica que a los operarios se les imparte muestra cómo deben posicionarse siempre con su pie izquierdo detrás de su pie derecho (Figura 23) para evitar un golpe en ese pie. Si la operación se realizara siempre de igual manera no habría ningún riesgo de seguridad, pero como el operario trabaja largos turnos a una alta temperatura se tiende a fatigar y deja de utilizar la técnica correcta para la operación de corte



*Figura 22. Posición incorrecta del pie izquierdo al momento de cortar la caña de azúcar, con el pie izquierdo delante del derecho en la dirección en la cual la herramienta es llevada.*



*Figura 23. Posición correcta del pie izquierdo al momento de cortar la caña de azúcar, con el pie izquierdo detrás del derecho y lejos de la dirección en la cual es llevada la herramienta.*

Este riesgo se puede mitigar con una guarda de pie o espinillera con protección de la parte superior del pie. Los operarios tienen la opción de utilizar guardas de pie proporcionadas por el Ingenio Magdalena, pero pocos escogen utilizar esta protección por comodidad y movilidad. Lo recomendable sería una guarda con articulación en la parte delantera del tobillo que proteja la parte superior del pie en caso la herramienta golpear la pierna del operario con protección hasta la parte baja de la rodilla en caso el operario falle completamente al golpear la caña de azúcar y el movimiento de la herramienta golpear de forma directa la pierna del operario.

Otro riesgo físico evitable es el riesgo de golpes o quemaduras en los pies. Muchos operarios trabajan con zapatos rotos, con suelas gastadas o inclusive descalzos y al trabajar sobre el cañal se tienen muchos peligros respecto a eso (Figura 24). Poco tiempo antes que los operarios inicien su proceso la caña de azúcar, al realizarse un corte a granel quemado, es quemada en un incendio controlado dejando a su paso brazas y cenizas sobre el suelo. En ocasiones, por la irregularidad del terreno, estas brazas y cenizas pueden alcanzar los tobillos del operario y causar como mínimo quemaduras leves al entrar en contacto con la piel y en el máximo caso si el operario utiliza zapatos o calcetines inflamables puede sufrir quemaduras fuertes en esas áreas.



*Figura 24. Operario utilizando un calzado inadecuado para la operación al ser abiertos y estar severamente gastados.*



*Figura 25. Operario descalzo realizando la operación de corte de caña de azúcar.*

El corte de caña de azúcar descalzo es una práctica casi abandonada por los operarios, pero aún se puede observar y es un gran riesgo de seguridad para los operarios (Figura 25). Los más grandes riesgos que puedan venir del corte de caña de azúcar de forma descalza son el desarrollo de lesiones que, al estar contacto con el suelo de forma constante, puedan sufrir infecciones, cortes o golpes producidos por piedras, raíces y quemaduras producidas por el suelo o brazas esparcidas dentro de la ceniza. Un riesgo que usualmente no se le da importancia es el riesgo por animales que viven dentro del cañal. Muchos animales huyen o son quemados por el fuego previo al corte, pero iniciada la operación de corte es común encontrar animales aún con vida

durante el proceso. Se encuentran algunas veces animales inofensivos como ratones, iguanas y conejos, pero también suelen encontrarse serpientes y escorpiones que posiblemente son venenosos.



*Figura 26. Serpiente encontrada en cañal luego de ser quemado, dándole aún más necesidad al uso de calzado cerrado resistente.*

Como solución a estos riesgos se recomienda que los operarios utilicen botas de hule o, como mínimo, zapatos de trabajo con tobillos altos, como se puede ver en la Figura 27. El uso de botas o zapatos de trabajo ayuda a tener un mejor soporte en el suelo del cañal, evita lesiones, cortes y golpes, forma una barrera entre las cenizas y brazas y los pies del operario y forman una barrera física en contra de mordeduras de serpiente o picaduras de escorpión que podrían ser mortales para el operario. El uso de botas o zapatos permite también la correcta posición para colocar las guardas de pies o espinilleras como se explicó anteriormente. No se recomienda el uso de zapatos muy pesados ya que, aunque estos aumenten la protección que obtiene el

operario, reducirían la movilidad y causarían una fatiga extra sobre el operario. Se contactó con un peletero local que puede producir zapatos de cuero flexibles y livianos, con guarda para la espinilla a Q75.00 cada par de zapatos, se utilizará esta cotización para calcular el precio de la aplicación de esta mejora.



*Figura 27. Operario encargado del corte de caña de azúcar utilizando el calzado correcto para su operación.*

Los operarios trabajan muchas veces durante las horas de mayor calor y esto es dañino para ellos y su productividad. La temperatura que los operarios deben soportar es muy alta y eso causa muchas veces deshidratación e insolación. Uno de los mayores riesgos para un operario de corte de caña de azúcar es la deshidratación, al trabajar en altas temperaturas durante mucho tiempo con un esfuerzo físico grande el operario debe muchas veces detenerse a hidratarse y refrescar su piel. Otro gran riesgo es la insolación, este riesgo es muy común entre los operarios de este método ya que al trabajar a tan altas temperaturas no logran controlar la temperatura interna de su cabeza y sufren de insolación. La insolación es una condición en la cual el cuerpo humano sube a muy alta temperatura y no logra regular su temperatura interna, sus síntomas más visibles son mareos, vómitos y alta temperatura corporal. La forma más rápida de reducir el riesgo o eliminar la insolación por completo es la hidratación con agua fría, ya que regula la temperatura del afectado.

Como la caña de azúcar se corta durante la estación seca en Guatemala la mayoría de los cañales se encuentran secos y luego de quemar la caña de azúcar se elimina toda la humedad que hubiera podido haber en el suelo. Esto puede causar que al cortar se levante mucho polvo y junto con la ceniza puede causar irritación en los ojos y el tracto respiratorio completo. Durante el corte de caña se suele recomendar a los observadores llevar lentes de sol y protección de nariz y boca para evitar respirar cualquier partícula que pueda estar suspendida en el aire, pero los operarios no tienen ninguna protección de ese tipo (Figura 28).



*Figura 28. Operario realizando su operación sin ninguna protección en el área de la boca, nariz u ojos.*

Estos riesgos se pueden mitigar utilizando protector solar para evitar quemaduras y posible cáncer en la piel, mucha hidratación, protección en contra del sol en el área de la cabeza para evitar la insolación, protección de nariz y boca para evitar aspirar partículas suspendidas en el aire y protección ocular para evitar irritación por estas mismas partículas en suspensión. Se recomienda el uso de protector solar de un factor de protección solar, SPF, de un mínimo de 50 y aplicarlo de nuevo cada dos horas en todas las áreas que no estén en constante sombra por una prenda de vestir. De forma teórica un protector solar con un SPF de 50 protege hasta diez horas de los rayos ultravioleta que causan las quemaduras, pero al estar estos operarios en un constante esfuerzo y a una alta temperatura el sudor y su evaporación puede diluir el protector por lo que es recomendable repetir la aplicación cada dos horas. Los operarios toman de forma continua descansos para tomar agua y refrescarse, pero se les debe recordar que tomarlos es una buena práctica para su salud y bienestar.

La protección recomendada para los operarios debe ser una lo suficientemente liviana para usarla de forma continua, que no absorba calor durante el proceso y que no conserve la humedad dentro de ella. Dado a

estos factores un casco no es viable por su elevado peso y poca estabilidad al agacharse el operario, una gorra tampoco sería viable ya que no forma una barrera lo suficientemente grande entre la cabeza del operario y la temperatura y es posible que el operario al bajar la herramienta pueda desviar su tajada por un contacto con la gorra, una mascarilla de papel aumenta la humedad relativa del área de la boca y la nariz por lo que no es una solución viable y una mascarilla con filtros de carbono no es necesaria ya que se necesita protección contra macro partículas suspendidas y no contra gases. Una solución viable y recomendada sería una bufanda de cabeza que cubra tanto la boca, la garganta y la cabeza (Figura 30). Esta solución se utiliza para aislar la cabeza del calor y para evitar que tierra o arena que se puede levantar de forma repentina irrite las vías respiratorias. La inclusión de anteojos de protección evita irritación de los ojos por partículas suspendidas. Al ser un accesorio de bajo peso y volumen no desbalancea o estorba al operario durante su trabajo, y con protección ocular apropiada, ya sean lentes de protección transparentes o lentes oscuros para evitar el resplandor del sol, se puede mitigar este riesgo.



*Figura 29. Alta temperatura medida en el área de corte de caña de azúcar, muy por encima de la temperatura a la cual inicia la insolación.*



*Figura 30. Bufanda de cabeza y lentes de protección oscuros o transparentes.  
Extraída de Armyuniverse en ebay.com*

Un gran riesgo de postura que el operario puede sufrir pasa especialmente cuando este operario tiene como preferencia una herramienta plana sobre al tradicional machete australiano con sus  $135^\circ$  entre el mango y la hoja de corte (Figura 31). El operario que decida esto para cortar al mismo ángulo que un operario de la misma altura debe agacharse más que el operario que utilice su herramienta con su ángulo predeterminado, causando una mayor carga sobre su espalda y dándole un riesgo de desgaste en el área lumbar de su espalda. Utilizando los datos obtenidos con las tomas de tiempos un operario promedio llega a cortar aproximadamente 162 veces por hora, 1295 veces en ocho horas, eso significa que un operario que utiliza su herramienta con la hoja con  $180^\circ$  entre el mango y la hoja debe agacharse un número muy alto de veces para hacer bien su trabajo.



*Figura 31. Operario utilizando una herramienta con un ángulo de 180° teniendo que flexionar su espalda causando una tensión innecesaria.*

Este riesgo se puede reducir con un control estricto de las personas que aumentan el ángulo de su herramienta. Algunos operarios están acostumbrados al uso de la herramienta recta y su curva de aprendizaje para cortar con una herramienta angular puede ser larga, pero será más beneficioso para él y su salud tener una hoja angular. Se puede buscar un límite de altura del suelo a los hombros para la cual los operarios deben agacharse más de lo recomendado para la operación de corte con una herramienta plana y permitir a los operarios un rango de ángulos de inclinación de su herramienta según su altura, pero eso sale del rango del estudio de esta investigación por lo cual será notada en las recomendaciones.

El último riesgo grande que se estudiará será el riesgo por vectores biológicos que pueda afectar a los operarios. El primero de estos es el riesgo de infecciones causadas por microorganismos en el agua que los operarios beben. Cada operario lleva su cantimplora de agua y el ingenio provee un tonel para rellenar estas cantimploras, pero la procedencia de esa agua es desconocida y es posible que esta agua esté contaminada con desechos fecales humanos o animales y los operarios puedan contraer una enfermedad de origen parasitaria al ingerir esta agua. Otra fuente de agua son los diversos ríos y riachuelos que los operarios pueden utilizar para beber, pero al igual que se explicó previamente no se conoce la procedencia de esta agua y se desconoce si río arriba el agua se contaminó.

Otra fuente de riesgo por un vector biológico son las enfermedades transmitidas por mosquitos. Las más conocidas de estas enfermedades son el dengue, el zika y la chikungunya. Estas enfermedades son transmitidas por piquetes de mosquitos, y las especies de mosquitos que lo transmiten son comunes de encontrar en las áreas donde se produce el corte de caña de azúcar.

Estos riesgos al ser invisibles o poco perceptibles son difíciles de encontrar de forma visual, pero se pueden desarrollar barreras para evitar que afecten a los operarios. El problema del agua contaminada se puede solucionar con la purificación del agua ya sea de modo general, con el uso de filtros de alto o medio volumen como el Ecofiltro (Figura 32) o de modo personal, con el uso de productos personales como el Lifestraw (Figura 33) y eliminar todo microorganismo que pueda ser dañino al consumirlo. Para evitar picaduras de mosquito que puedan transmitir alguna enfermedad se recomienda el uso de prendas de vestir largas, para reducir el área del cuerpo que pueda ser picada por un mosquito. Otra solución sería aplicar cada cuatro horas repelentes de mosquito en forma de aerosol, reduciendo drásticamente la probabilidad de ser picados e infectados con alguna enfermedad transmitida por estos insectos.



*Figura 32. Ecofiltro utilizado para filtrar el agua, una secuencia de ecofiltros pueden ser utilizados para generar grandes volúmenes de agua potable. Extraída de ecofiltro.com*



*Figura 33. Lifestraw utilizada para filtrar agua de forma personal. Extraída de lifestraw.com*

Con estas mejoras a la seguridad se investigó la correcta aplicación, importancia y alcance de las mejoras a la seguridad (Cuadro 9). Se tuvo una reunión con personal del Ingenio Magdalena para evaluar estas mejoras y se dio una calificación de importancia según la mejora que cada propuesta entregaría a los operarios. Los niveles de importancia de estos se pueden encontrar en la segunda columna de este (Cuadro 9). También se visitó carpinteros y comerciantes del área quienes brindaron un precio aproximado del equipo de seguridad, estos precios se pueden encontrar en la cuarta columna de este (Cuadro 9).

Protección	Importancia (1-10)	Alcance	Costo (Q)	Costo por operario	Frecuencia de cambio	Costo anual por operario
Filtro de agua Ecofiltro	10	8 Operarios	600	75	2 años	37.50
Mesa de soporte para filtro de agua	8	8 Operarios	40	5	2 años	2.50
Bufanda para cabeza	6	1 Operario	10	10	1 año	10
Lentes protectores	7	1 Operario	15	15	1 año	15
Zapatos artesanales con protector de espinilla	8	1 Operario	75	75	1 año	75
Protector solar y contra mosquitos	7	4 Operario	40	10	1 año	10

*Cuadro 9. Desglose del equipo de protección personal recomendado para la operación.*

El resumen de los costos de la aplicación de estas mejoras de seguridad de pueden ver en el Cuadro 10. Para el cálculo de estos costos se utilizó el total de 5250 operarios, encontrados en los cálculos del Cuadro 8, y se encontró un costo total de Q787,500.00 por la implementación del equipo de seguridad para todos los operarios.

Costo anual por operario	Costo anual total
Q. 150.00	Q. 787,500.00

*Cuadro 10. Costo de aplicación anual por operario y costo de aplicación total.*

En la sección del ahorro económico se encontró que si se aplica esta mejora se llegaría a ahorrar hasta Q 36,000,000.00 y el costo de las mejoras en seguridad es menor que el 3% de este ahorro. Por esto se puede justificar la aplicación en la totalidad de estas mejoras. El aumento en la calidad de vida de los operarios no se puede cuantificar, pero la ayuda para evitar accidentes y darles una oportunidad para una mejor calidad de vida a los colaboradores se puede dar invirtiendo en estas mejoras de seguridad.

Para la aplicación de las mejoras de seguridad y el uso del equipo de protección personal se incluirá como política de la operación el uso correcto del equipo de protección, así como una revisión semanal del estado de su equipo, en caso se necesite reparaciones o reposición del equipo, y que estarán sujetos a observaciones y calificaciones de parte de los jefes de corte sobre su uso del equipo de protección. También se implementará un sistema de incentivos como vales de comida y vales de rifas para regalos o electrodomésticos a los operarios que al final de un mes de trabajo tengan calificaciones perfectas en su equipo de protección personal.

Para cumplir con el uso de este equipo se requerirán inspecciones aleatorias para que los operarios tengan un incentivo para utilizar su seguridad completa. El inspector llevará uno o más formatos (Figura 34) con los que revisará el nivel en el cual cada operario está utilizando su equipo de protección personal. Se sumará el total de las notas finales por cada frente de corte y de esta forma se dará el reconocimiento al frente con mayor uso de su equipo de protección personal. Esta evaluación será realizada por el jefe de un frente de corte ajeno al del operador evaluado, de esta forma se asegura una calificación más imparcial y una revisión del equipo más efectiva. Se deben realizar 5 revisiones por turno, los formatos llenos se deben de entregar al jefe de cosecha para su correcta tabulación y planeación de regalos incentivos de ese mes.

# Control de equipo de protección personal

Su nombre: \_\_\_\_\_ Código del evaluado: \_\_\_\_\_

Día/hora: \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del \_\_\_\_ : \_\_\_\_ AM PM Frente: \_\_\_\_\_  
día mes año hr min

		Uso	Estado
<b>Calificación del uso</b> 1. No se usa 2. Uso pésimo 3. Uso intermedio 4. Uso bueno 5. Uso perfecto	A. Técnica correcta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B. Zapatos con protector de epinilla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	C. Bufanda de cabeza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Calificación del estado</b> 1. No se tiene 2. Mal estado 3. Intermedio 4. Buen estado 5. Perfecto estado	D. Protector de ojos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			Nota final: <input style="width: 50px; height: 30px;" type="text"/>

*Figura 34. Formato de control de equipo de protección personal.*

Para la implementación de este sistema de seguridad se iniciará con una campaña de concientización donde se presentará a los operarios con los riesgos más comunes y los accidentes que estos generan. Luego se dará a los operarios una explicación y demostración del nuevo equipo de protección personal y se les enseñará el uso correcto del mismo. Se brindará el equipo de protección a los operarios y se hará una revisión general de este al inicio de cada mes para corroborar el estado en que se encuentra. Se recomienda el llenado de un contrato en el cual el operario confirma la recepción del equipo de protección personal y se compromete a utilizarlo de la mejor manera.

## XI. CONCLUSIONES

Se definió el método de corte de caña según se hace actualmente con las siete operaciones en las que se separó el proceso según las observaciones durante la investigación.

Se propusieron mejoras al método como la separación de las operaciones, la creación del puesto del cortador de puntas y la reducción de la cantidad de surcos por operario de seis a tres.

Se modeló efectivamente una versión simplificada del proceso actual con la que se obtuvo un resultado de 442 unidades producidas en 4 horas.

Se modeló el método propuesto de corte de caña de azúcar y se obtuvo un resultado de 993 unidades producidas por un operario encargado del corte de caña y un operario encargado del corte de puntas.

Se calculó que el Ingenio Magdalena tendría un ahorro económico de hasta Q. 29,250,000.00 con la reducción del 22.41% de la fuerza laboral utilizando el método propuesto de corte de caña de azúcar.

Se analizó de forma crítica el proceso para entender sus fallas de seguridad y dar propuestas para estas fallas con una política de protección personal y brindarle al personal zapatos protectores con espinillera, bufanda para cabeza, protección ocular, filtro purificador de agua y un protector solar y contra mosquitos a un costo de Q. 787,500.00 a lo largo de un año de operación.

Se logró aumentar la producción de caña de azúcar y comprobar hasta un aumento del 30% con el método de tres operarios encargados del corte de caña de azúcar y un operario encargado del corte de puntas, aumentando su seguridad mientras realizan su trabajo y utilizando el trabajo en equipo para dividir de forma más eficiente las operaciones y aprovechar el tiempo de una mejor manera.

## XII. RECOMENDACIONES

Esta investigación brinda a la luz las siguientes posibles investigaciones para poder mejorar aún más el método propuesto por esta investigación:

1. Comparar la efectividad del operario encargado de corte de puntas y recolección de basura con distintos tipos de machetes o herramientas de corte.
2. Encontrar qué características de los operarios, como altura, fuerza y experiencia en corte de caña, son mejores para ser seleccionados al puesto de corte de puntas y recolección de basura.
3. Buscar una mejor configuración para la distribución de cortadores de puntas para aumentar la producción del método propuesto por esta investigación.
4. Buscar distintas mejoras a la seguridad de los operarios como continuación o coexistencia de las descritas en esta investigación para darle a los operarios un equipo de protección mejor o distintas opciones según su preferencia.

### XIII. BIBLIOGRAFÍA

1. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (5th ed.). (2013). Sydney, NSW: SAI Global.
2. AMCA (n.d.). Mosquito-Borne Diseases. Retrieved September 28, 2016, from <http://www.mosquito.org/mosquito-borne-diseases>
3. Bronceado Shemagh Ligeros árabe Tactical Desierto Keffiyeh Bufanda (n.d.). Retrieved October 1, 2016, from <http://www.ebay.com/itm/Tan-Shemagh-Lightweight-Arab-Tactical-Desert-Keffiyeh-Scarf-/161071751974>  
Únicamente se utilizó para una fotografía
4. Donis García, R. D. (2014). Eficiencia del Corte Manual de Caña de Azúcar a Granel Quemado y en Verde Limpio; Ingenio el Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla (2002-2003) Estudio de Caso. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
5. Ecofiltro (n.d.). Retrieved October 1, 2016, from <http://www.ecofiltro.com/es/ecofiltro-blanco-completo-ecofiltro-de-barro-completo-ecofiltro-ceramico-unidad-filtrante>  
Únicamente se utilizó para una fotografía
6. Estadísticas sobre el Azúcar en Guatemala (n.d.). Retrieved August 25, 2016, from <http://www.azucar.com.gt/economia.html>
7. Iguarán, J. C., Martínez, L. F., Ortiz, A. E., Rodríguez, M., & Potes, A. (1991). Diseño y Experimentación de un Machete Ergonómico para el Corte de la Caña de Azúcar en el Ingenio Central Castilla S.A. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
8. Lifestraw (n.d.). Retrieved October 1, 2016, from <http://lifestraw.com/products/lifestraw/>  
Únicamente se utilizó para una fotografía
9. Manejo de la Cosecha (n.d.). Retrieved August 21, 2016, from [http://www.sugarcane crops.com/s/agronomic\\_practices/harvesting\\_management/](http://www.sugarcane crops.com/s/agronomic_practices/harvesting_management/)
10. Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., & Espinosa, R. (Eds.). (2012). Sugarcane Crop in Guatemala. Guatemala: Artemis Edinter.
11. Niebel, B. W., & Freivalds, A. (n.d.). Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño de trabajo (12th ed.). México: McGraw Hill.
12. Robles, E. (2012, November 26). El azúcar en Guatemala, su producción y exportación. Retrieved August 15, 2016, from [http://www.dequate.com/artman/publish/produccion-guatemala/El-azucar-en-guatemala-su-produccion-y-exportacion.shtml#.V\\_3xGCgrKhd](http://www.dequate.com/artman/publish/produccion-guatemala/El-azucar-en-guatemala-su-produccion-y-exportacion.shtml#.V_3xGCgrKhd)
13. Stone, C. (1996, October 1). The Dye that Binds. Saudi Amarco World, 47(5), 38-43.

14. *Un Machete a su Medida*. (n.d.). Agencia Universitaria De Periodismo Científico. Retrieved August 20, 2016, from <http://aupec.univalle.edu.co/informes/abril97/machete.htmlmi>
15. Wang, S. Q., MD. (2010, March). *Does a higher-SPF (sun protection factor) sunscreen always protect your skin better?* *Sun & Skin News*, 1(1)



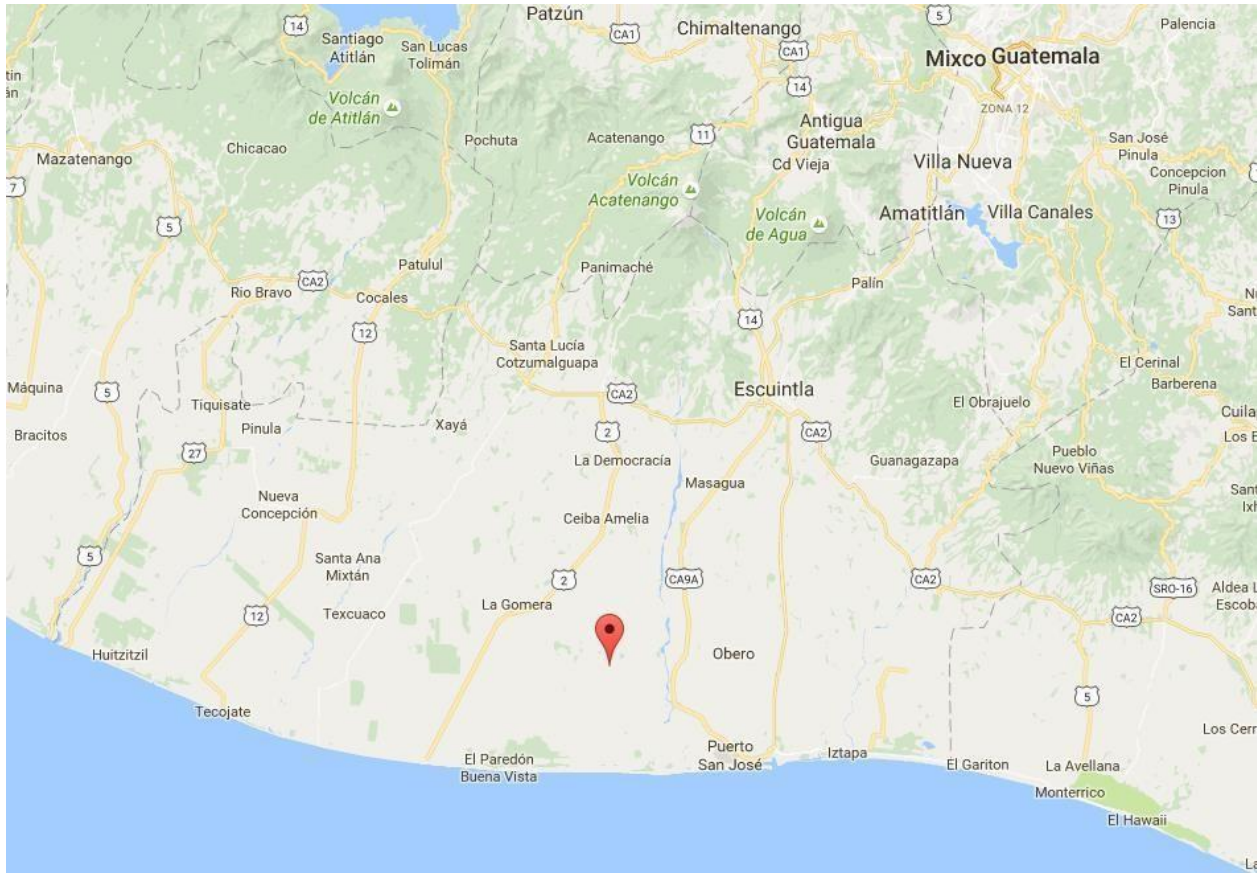


Figura 36. Posición geográfica exacta de Finca Santa Fe.







Número de elemento y Nota	Número de estudio: Operación												Fecha Operador												8/22/06											
	Operación de corte				Recolección de café				Corte de Culo de azúcar				Depositar café en chorra				Corte de puntas y basura				Transporte a área de basura				Transporte a la zapatera área de											
	C	TC	TD	TN	C	TC	TD	TN	C	TC	TD	TN	C	TC	TD	TN	C	TC	TD	TN	C	TC	TD	TN	C	TC	TD	TN								
1	90	341	341	341	95	588	217	216	95	107	512	488	95	1206	136	129	80	152	314	251	60	2099	579	347	100	2423	324	324								
2	100	2717	2394	2394	100	29102	1951	1951	80	3338	436	349	100	3435	097	097	100	3547	112	112	75	5474	321	241	100	4175	629	471								
3	95	4511	3336	3138	100	4685	174	174	95	4895	214	203	100	5039	14	133	100	5153	114	114	75	5474	321	241	100	5912	438	416								
4	90	6157	4451	2333	80	6482	325	260	90	6923	341	307	100	6946	123	123	60	9689	514	308	80	9893	321	257	100	10357	367	374								
5	80	10744	451	337	100	11013	269	269	95	11434	421	400	100	11695	221	177	80	11976	321	257	80	12363	387	310	90	12878	516	454								
6	85	15169	2391	247	95	13479	311	295	75	14153	674	506	100	1434	137	137	80	14607	267	214	95	14788	181	172	100	16117	328	329								
7	90	16385	2481	223	100	16596	231	231	85	16885	653	502	85	1832	134	114	80	18596	236	189	90	18777	221	199	100	19007	223	230								
8	75	17395	378	284	85	17939	574	488	95	18542	583	594	100	18653	121	121	95	18834	371	162	90	19181	347	312	85	19684	488	410								
9	85	20115	411	382	85	20494	513	420	100	20739	484	420	100	21036	426	384	95	21368	540	322	90	21611	371	359	90	22139	239	239								
10	90	24788	331	328	90	25321	534	434	85	25739	485	434	95	26254	148	148	70	23358	332	274	95	246	241	225	100	25878	134	134								
11	85	26321	343	352	90	26705	384	346	80	27317	610	491	90	27414	097	097	100	28491	136	136	100	28925	334	301	100	30189	364	364								
12	95	27951	307	352	95	28472	521	495	75	29119	647	485	100	29395	236	236	100	31691	147	147	100	32002	264	264	100	32328	324	324								
13	90	30434	245	221	85	30818	384	326	95	3125	432	410	80	31691	341	273	100	31738	147	147	100	32002	264	264	100	32328	324	324								
14	85	327	374	318	80	33054	354	293	301	354	531	478	95	35585	147	140	80	35951	386	309	95	3632	369	351	100	3859	347	330								
15	70	34457	322	228	70	34887	433	301	90	35418	531	444	440	100	37915	133	130	95	38052	137	130	100	38299	247	247	80	39788	469	379							
16	60	37021	431	259	95	37445	324	308	100	37765	444	440	100	39802	134	121	100	40077	168	168	95	40416	345	326	85	40779	364	309								
17	90	38088	32	288	100	39333	245	245	80	41936	531	425	100	42091	095	095	90	4233	229	215	95	42566	236	224	95	428	234	222								
18	100	41142	363	363	100	41465	323	323	85	43925	536	456	95	44036	161	153	90	4416	274	247	95	44634	274	260	90	44984	333	297								
19	100	45199	235	238	85	45519	314	267	90	46945	432	388	100	48072	127	121	85	46433	361	307	100	46553	472	420	100	46894	241	241								
20	82	47132	241	216	95	47603	314	326	80	48304	536	384	85	48165	451	224	84	48338	374	249	100	48749	371	371	95	49222	268	228								
21	90	49639	274	211	100	49816	284	284	85	50716	436	301	95	50859	336	310	94	50968	169	143	90	51171	436	378	85	51639	367	313								
22	90	53638	274	211	100	54031	284	284	85	54716	436	301	95	54959	336	310	100	54986	169	143	90	55171	436	378	85	55839	367	313								
23	75	57333	254	191	100	58082	288	269	85	58571	436	373	100	58716	436	373	90	58986	169	143	90	59256	316	288	80	59836	316	288								
24	95	58033	339	371	90	58384	331	298	90	58921	447	147	100	59173	121	109	100	59307	134	134	90	59575	321	288	75	59843	336	309								
25	85	58075	432	281	100	58511	236	236	100	58847	236	236	100	58821	074	074	100	58785	134	134	90	59075	321	288	75	59843	336	309								
26	100	58807	2	200	95	60154	347	330	90	60588	432	388	100	60754	168	168	100	60819	136	136	95	61236	436	414	80	61762	436	349								
27	100	62003	241	241	100	62139	136	136	100	62315	176	176	100	62419	104	104	100	6279	371	371	95	63137	347	330	100	63137	347	330								
Resumen																																				
TO total	9506				10239				15602				4807				6309								8249			10425								
TN total	8060				9149				11797				4627				5354								7312			9446								
Num. Observaciones	30				30				28				30				27							26			30									
TN Promedio	2.69				3.05				4.21				1.54				1.98							2.81			3.16									
% de holgura	26%				26%				26%				26%				26%							26%			26%									
Tiempo estándar elemental	3.39				3.84				5.31				1.94				2.80							3.54			3.97									
Tiempo Estándar Total																																				
24.49																																				

Cuadro 14. Toma de tiempos 4.

Número de elemento y Código	Número de estudio										Fecha										Transporte a las siguientes áreas de									
	Operación					Corte de Café de Azúcar					Operador					Transporte a áreas de bosques					Transporte a las siguientes áreas de									
	C	TC	TD	TN	TC	C	TC	TD	TN	TC	C	TC	TD	TN	TC	C	TC	TD	TN	TC	C	TC	TD	TN	TC					
1	95	145	153	335	95	158	171	375	235	100	175	185	375	235	100	175	185	375	235	100	175	185	375	235						
2	95	205	455	334	90	254	475	475	527	355	3455	384	271	135	95	3455	384	271	135	95	3455	384	271	135						
3	80	427	538	430	80	484	672	458	503	234	234	234	234	234	100	5242	152	152	152	85	5879	637	547	85	6374					
4	70	75.9	743	520	70	82.25	637	448	70	87.64	538	377	95	88.98	234	234	234	234	234	95	94.95	437	472	95	94.95					
5	60	104.3	534	560	95	108.03	374	355	95	117.37	334	377	100	102.7	133	133	133	133	133	100	133.01	257	257	80	144.26					
6	85	123.6	548	468	80	128.79	524	478	85	135.13	634	538	100	136.44	133	133	133	133	133	100	138.01	257	257	80	144.26					
7	85	157.9	535	456	80	163.83	527	478	80	165.86	203	203	100	169.16	32	288	288	288	288	85	184.1	521	443	85	184.1					
8	65	16.8	834	542	95	20.97	382	363	100	23.57	3	3	100	24.94	137	137	137	137	137	100	24.94	137	137	70	31.93					
9	70	38.3	736	515	75	46.06	677	508	95	52.07	164	164	100	52.07	164	164	164	164	164	75	59.42	735	551	80	65.88					
10	80	98.8	657	526	100	102.13	237	237	100	104.44	231	231	100	106.11	167	167	167	167	167	100	109.19	362	362	100	109.19					
11	80	98.8	657	526	100	102.13	237	237	100	104.44	231	231	100	106.11	167	167	167	167	167	100	109.19	362	362	100	109.19					
12	95	114.7	324	308	85	118.99	428	364	95	122.34	335	335	100	124.38	204	204	204	204	204	100	128.72	234	234	90	144.65					
13	90	131.1	430	394	80	136.48	538	430	80	147.4	526	427	95	143.97	210	202	202	202	202	100	158.72	234	234	90	144.65					
14	80	154.51	535	425	75	160.81	62	465	100	163.18	192	192	100	163.18	192	192	192	192	192	100	168.03	1078	538	100	171.7					
15	100	147.32	327	327	75	154.74	682	512	100	157.25	251	251	100	157.25	251	251	251	251	251	50	168.03	1078	538	100	171.7					
16	80	182.54	637	510	100	186.29	375	375	100	188.63	234	234	100	192.27	364	364	364	364	364	100	194.61	234	234	100	198.27					
17	90	206.9	432	388	100	210.72	382	382	100	213.4	268	268	95	216.91	351	333	333	333	333	60	223.53	662	397	100	226.87					
18	80	238.45	634	507	100	241.62	337	337	100	244.16	234	234	100	246.46	23	230	230	230	230	95	258.57	334	317	90	280.8					
19	80	255.21	441	353	95	259.59	438	438	100	262.23	364	364	95	266.57	334	317	317	317	317	100	271.78	521	489	90	271.78					
20	95	275.15	337	320	95	281.52	637	541	95	285.87	435	413	95	288.51	364	346	346	346	346	100	312.53	333	330	100	315.68					
21	80	300.06	432	346	90	304.27	421	375	100	306.62	235	235	100	309.23	251	245	245	245	245	100	330.98	245	245	95	334.45					
22	95	321.45	365	347	100	324.67	342	342	95	328.13	326	310	100	330.98	245	245	245	245	245	100	330.98	245	245	95	334.45					
23	95	321.45	365	347	100	324.67	342	342	95	328.13	326	310	100	330.98	245	245	245	245	245	100	330.98	245	245	95	334.45					
24	100	337.75	333	330	100	341.09	334	334	95	344.5	341	324	100	346.72	222	222	222	222	222	100	365.62	334	310	100	368.74					
25	95	354.14	371	352	95	358.61	457	444	95	362.48	367	349	90	365.62	334	310	310	310	310	95	388.87	467	444	100	391.76					
26	100	371.97	323	323	95	376.43	446	424	95	379.85	342	325	95	384.2	435	370	370	370	370	85	448.78	538	457	100	451.75					
27	100	388.31	354	354	100	401.99	388	388	95	405.92	331	342	75	410.73	514	386	386	386	386	100	425.51	236	236	85	415.48					
28	80	438.76	688	590	100	441.1	234	234	100	444.1	234	234	100	447.3	23	230	230	230	230	100	470.61	334	334	80	475.43					
29	80	438.76	688	590	100	441.1	234	234	100	444.1	234	234	100	447.3	23	230	230	230	230	100	470.61	334	334	80	475.43					
30	100	475.77	334	334	95	484.03	637	510	100	487.27	324	324	100	490.61	334	334	334	334	334	100	510.01	237	237	100	515.68					
31	95	496.61	381	345	100	502.31	431	431	100	505.65	534	424	85	510.84	435	373	373	373	373	100	510.01	237	237	100	515.68					
32	90	523.81	381	348	100	527.42	351	351	85	530.76	534	424	100	534.08	132	132	132	132	132	90	542.75	432	388	100	547.31					
33	95	551.46	434	385	95	556.13	467	444	90	560.32	433	394	100	562.86	234	234	234	234	234	100	562.86	234	234	85	567.87					
34	65	551.46	434	385	95	556.13	467	444	90	560.32	433	394	100	562.86	234	234	234	234	234	100	562.86	234	234	85	567.87					
Resumen																														
TC total	131.9	156.95	190.3	190.3	156.95	190.3	190.3	190.3	190.3	156.95	190.3	190.3	190.3	190.3	156.95	190.3	190.3	190.3	190.3	156.95	190.3	190.3	190.3	190.3	156.95					
TN total	194.77	193.01	164.42	164.42	193.01	164.42	164.42	164.42	164.42	193.01	164.42	164.42	164.42	164.42	193.01	164.42	164.42	164.42	164.42	193.01	164.42	164.42	164.42	164.42	193.01					
Num. Observaciones	24	30	30	30	24	30	30	30	30	24	30	30	30	30	24	30	30	30	30	24	30	30	30	30	24					
TN promedio	8.11	6.33	5.48	5.48	8.11	6.33	5.48	5.48	5.48	8.11	6.33	5.48	5.48	5.48	8.11	6.33	5.48	5.48	5.48	8.11	6.33	5.48	5.48	5.48	8.11					
% de holgura	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%	26%					
Tiempo estándar elemental	6.00	5.64	4.69	4.69	6.00	5.64	4.69	4.69	4.69	6.00	5.64	4.69	4.69	4.69	6.00	5.64	4.69	4.69	4.69	6.00	5.64	4.69	4.69	4.69	6.00					
Tiempo Estándar Total																														
58.1																														
43.75																														
30																														
4.73																														
26%																														
5.86																														
36.73																														

Cuadro 15. Toma de tiempos 5.