

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



**EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA COSECHA DE *Saccharum officinarum* L.
(CAÑA DE AZÚCAR) EN LA EMPRESA AGROPUCALÁ SAA**

Tesis

**Para optar el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

LILIANA TERESA RODRIGUEZ DELGADO

ASESOR:

Dr. SEGUNDO CLEMENTE RODRIGUEZ DELGADO

Tingo María – Perú

2019



"Año de la lucha de la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 003-2019-FA-UNAS

BACHILLER : Liliana Teresa RODRIGUEZ DELGADO

TÍTULO : EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA
COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum
offinarum* L) EN LA EMPRESA AGRO PUCALÁ
SAA.

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Ing. M.Sc. Fausto SILVA CARDENAS

VOCAL : Ing. Jorge CERON CHAVEZ

VOCAL : Ing. Jaime J. CHÁVEZ MATIAS

ASESOR : Dr. Segundo C. RODRIGUEZ DELGADO

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 15 de enero del 2019

HORA DE SUSTENTACIÓN : 7:00 pm

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

CALIFICATIVO : MUY BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS: EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 15 de enero del 2019.

Ing. M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS
PRESIDENTE

Ing. JORGE CERON CHAVEZ
VOCAL

Ing. JAIME J. CHAVEZ MATIAS
VOCAL

Dr. SEGUNDO C. RODRIGUEZ DELGADO
ASESOR



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 226 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA COSECHA DE <i>Saccharum officinarum</i> L. (CAÑA DE AZÚCAR) EN LA EMPRESA AGROPUCALÁ SAA	LILIANA TERESA RODRIGUEZ DELGADO	21 % Veintiuno

Tingo María, 30 de julio de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomás Menacho Malqui

Jefe

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



Título	: EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA COSECHA DE <i>Saccharum officinarum</i> L. (CAÑA DE AZÚCAR) EN LA EMPRESA AGROPUCALÁ SAA
Autor	: Liliana Teresa RODRIGUEZ DELGADO
Asesor	: Dr. Segundo Clemente RODRIGUEZ DELGADO
Área de investigación	: Ingeniería Agrícola
Línea de investigación	: Maquinaria Agrícola
Eje temático	: Cosecha mecanizada
Lugar de ejecución	: Empresa Agropucalá SAA - Distrito de Pucalá
Duración	: 8 meses
Financiamiento	: S/. 4,500.00

Tingo María – Perú - Julio. 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE TITULO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Agronomía
Título de Tesis	: Evaluación operacional de la cosecha de <i>Saccharum officinarum</i> L. (Caña de Azúcar) en la Empresa Agropucalá SAA.
Autor	: Liliana Teresa RODRIGUEZ DELGADO
DNI	: 16587554
Correo electrónico	: rodriguezdelgadolilianateresa@gmail.com
Asesor	: Dr. Segundo Clemente RODRIGUEZ DELGADO
Escuela Profesional	: Agronomía
Área de Investigación	: Ingeniería Agrícola
Línea (s) de Investigación	: Maquinaria Agrícola
Eje temático de investigación	: Cosecha mecanizada
Lugar de Ejecución	: Empresa Agropucalá SAA - Distrito de Pucalá
Duración del trabajo	: 8 meses
Fecha de Inicio	: 02/05/2017
Término	: 31/12/2017
Financiamiento	: S/. 4,500.00
FEDU	: NO
Propio	: SI
Otros	: NO

Tingo María - Perú - Julio, 2024

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y sabiduría,

A mis Padres Clemente Rodriguez Ramírez y
Julia Alejandrina Delgado Fernández, por
darme la vida y por la paciencia que tuvieron
conmigo. Que Dios los tenga en su Gloria.

A mi hija Zoila Fabiana Sánchez
Rodríguez.

Con mucho cariño a mis hermanos; José
Manuel, Rosa Isabel, Emilia, Juana Rosa,
Amelia, Julio Hernán, Segundo Clemente,
Ítalo Martín, María Elena, María Yovane,
Juan José y Alicia; por su apoyo
incondicional en todo el tiempo de mi
carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía y al grupo de Docentes por su incondicional apoyo, que contribuyeron en mi formación profesional.

Al Dr. Segundo Clemente Rodriguez Delgado, mi asesor, por su voluntad de enseñanza, y dedicación; su apoyo en situaciones que enfrenté, y sobre todo su orientación en la elaboración de la tesis.

A los miembros del Jurado de Tesis al Ing. Fausto Silva, Ing. Jaime Chávez Matías y al Ing. Jorge Cerón por su colaboración en el presente trabajo.

Al Gerente General de la Empresa Agropucalá SAA, por su apoyo en el traslado a los campos para la evaluación de la presente tesis.

Al Ingeniero Hugo Cepeda por su apoyo incondicional para la toma de datos en los campos de estudio.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar) y el proceso industrial.....	3
2.2. Labores involucradas en la cosecha de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar).....	4
2.1.1. Quema de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar).....	4
2.1.2. Corte manual.....	5
2.1.3. Corte mecánico y carguío.....	6
2.1.4. Carga o alzada y transporte.....	7
2.3. Maquinaria de cosecha de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar).....	8
2.3.1. Capacidad y eficiencia del tiempo en el trabajo con máquinas.....	8
2.4. Análisis de costos operativos de la maquinaria agrícola.....	11
2.4.1. Costos fijos o de posesión.....	11
2.4.2. Costos variables o de operación.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1. Lugar de ejecución.....	18
3.1.1. Ubicación y extensión de la empresa Agropucalá SAA.....	18
3.1.2. Características morfoagronómicas de las variedades de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) cosechadas.....	19
3.1.3. Topografía y fisiografía.....	21
3.1.4. Clima.....	21
3.1.5. Características de los suelos.....	21
3.1.6. Características físicas y de producción de los campos estudiados....	21

3.1.7.	Descripción de las operaciones que se realizan en la cosecha de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar).....	22
3.2.	Material y métodos.....	30
3.2.1.	Tiempos del personal/maquinaria en las operaciones de cosecha	30
3.2.2.	Toma de muestras y discriminación de los tiempos de evaluación...	31
3.2.3.	Análisis estadístico de los datos de campo.....	33
3.2.4.	Fórmulas empleadas para la evaluación de operaciones y determinación de capacidades y rendimientos.....	33
3.2.5.	Requerimiento de mano de obra para el corte manual.....	34
3.2.6.	Requerimiento de maquinaria.....	35
3.2.7.	Costos operativos de la cosecha de caña de azúcar.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
4.1.	Tiempos del personal/maquinaria que intervienen en las operaciones de cosecha.....	38
4.2.	Rendimientos y capacidades del personal/maquinaria que intervienen en las operaciones de cosecha.....	44
4.3.	Requerimientos de personal/maquinaria para las labores de cosecha de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar).....	49
4.4.	Costos operativos de las labores involucradas en la cosecha de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar).....	50
4.5.	Sobre la documentación de los datos y uso en tiempo real.....	50
V.	CONCLUSIONES.....	52
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	53
VII.	REFERENCIAS.....	54
	ANEXO.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1. Coeficientes de valor de reventa	13
2. Factores de reparación y mantenimiento	15
3. Características físicas y de producción de los campos en estudio	23
4. Base de datos de tiempos (minutos) y movimientos en las operaciones de cosecha de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar)	39
5. Promedios de tiempos y movimientos y análisis estadístico	41
6. ANVA del tiempo de ida (Ti) y la distancia del campo al ingenio	43
7. ANVA del tiempo de retorno (Tr) y la distancia del ingenio al campo	44
8. Rendimientos y capacidades de las labores que se realizan en la cosecha de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar)	46
9. Costos operativos de la cosecha de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar)	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Mapa de ubicación del estudio	18
2. Inicio de la quema de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar) del campo a cosechar	24
3. Cortadores en pleno corte de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar)	25
4. <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) cortada en rumas para el arrumado mecanizado	26
5. Arrumador-Cargador John Deere 1850	27
6. Arrumador-Cargador cargando la carreta de un tráiler	27
7. Tráiler para el transporte de <i>S. officinarum</i> (caña de azúcar)	28
8. Remolques en pleno proceso de carga	30
9. Curva de regresión del tiempo de ida (Ti) vs distancia	43
10. Curva de regresión del tiempo de retorno (Tr) vs distancia	45
11. Evaluación de corte de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) en campo “La Francisca	58
12. Observación de relieve del campo después de la cosecha	58
13. Engavillado de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) para su recojo en “Vega Ramos”	59
14. Supervisión de tesis, Ing. Fausto Silva e Ing. Hugo Cepeda	59
Supervisión de corte de <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) del campo “Vega entre	
15. Ríos”	60
16. Tráiler cargado con <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) listo para su ida al ingenio	60
17. Evaluación de arrume y carga del campo “La Rivera”	61
18. Evaluación del carguío y transporte en el campo “Faycal”	61
19. <i>S. officinarum</i> L. (caña de azúcar) despuntada antes de su traslado al ingenio	62
20. Verificación de cuaderno de apuntes por el Ing. Fausto Silva	62

RESUMEN

En la empresa Agropucalá SAA, ubicada en la región Lambayeque, se llevó a cabo el presente estudio con la finalidad de evaluar el comportamiento del personal y la maquinaria utilizados en la cosecha de caña de azúcar. Se utilizó la técnica de tiempos y movimientos para determinar los rendimientos y capacidades de las operaciones que se realizan en el proceso de cosecha y a partir de ellos las calcular necesidades reales de personal y maquinaria. Los rendimientos de tiempo (R_t) y de trabajo (R_w) para el corte fueron 91% y 95%, respectivamente; para el arrume-carguío se obtuvieron 74% de R_t y 93% de R_w . Las capacidades efectivas para corte y arrume-carguío fueron de 0.92ton/h y 25.44 ton/h, respectivamente. La capacidad efectiva promedio de los vehículos de transporte fue de 10.45ton/h. Para una capacidad de molienda de 3000 toneladas por día de la fábrica, se requirió 491 cortadores, 7 arrumadores - cargadores de caña y 16 tráileres de 45 toneladas cada uno. Asimismo, se elaboró una hoja electrónica para evaluar los costos operativos de las operaciones, arrojando costos de: 8.65 NS/ton y 7.88 NS/h para el corte; 19.17 NS/ton y 487.76 NS/h para el arrume-carguío; 39.82 NS/ton y 416.09 NS/h para el transporte. En total se confeccionaron cuatro hojas electrónicas vinculadas para su uso en tiempo real en la administración de las operaciones de cosecha.

Palabras clave: Cosecha de caña de azúcar, técnicas de tiempos y movimientos, capacidad y rendimiento, costos operativos.

ABSTRACT

In the company Agropucalá SAA, located in the Lambayeque region, the present study was carried out with the purpose of evaluating the behavior of the personnel and the machinery used in the harvesting of sugarcane. The technique of times and movements was used to determine the performance and capabilities of the operations that are carried out in the collection process and, from them, calculate the real needs of personnel and machinery. The yields of time (R_t) and work (R_w) for the cut were 91% and 95%, respectively; For load support, 74% R_t and 93% R_w were obtained. The effective cutting and loading-loading capacities were 0.92 t/h and 25.44 t/h, respectively. The average effective capacity of the transport vehicles was 10.45 t/h. For a milling capacity of 3000 tons per day of the factory, 491 cutters, 7 cane loaders and 16 trailers of 45 tons each were required. Likewise, an electronic sheet was prepared to evaluate the operational costs of the operations, which yielded costs of: 8.65 NS / ton and 7.88 NS / h for the cut; 19.17 NS / ton and 487.76 NS / h for stowage; DK 39.82 / t and DK 416.09 / h for transport. In total, four linked electronic sheets were made for real-time use in the management of harvest operations.

Key words: Sugarcane harvesting, times and movements techniques, work rates and performance, operating costs.

I. INTRODUCCIÓN

Saccharum officinarum L. (caña de azúcar) es uno de los principales cultivos agroindustriales en el Perú que genera un aporte importante al valor bruto de la producción agropecuaria y en especial en el sub sector agrícola, con una superficie cosechada aproximada de 81,149 ha (la mayor superficie al año 2013, registrada en 30 años) y con una tendencia creciente de 1.8% (MINAG, 2013).

La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de *S. officinarum* L. (caña de azúcar). Una buena cosecha implica recolectar la materia prima disponible en el campo con mínimas pérdidas y una alta eficiencia, garantizando el suministro de caña oportuno y en cantidad suficiente a la fábrica, con el menor tiempo entre cosecha y molienda, con bajos niveles de materias extrañas (especialmente de hojas, despunte y tierra) y con los menores costos; todo esto con el propósito de obtener azúcar de alta calidad y a precios competitivos. Su incidencia en los costos de producción siempre ha tenido alta significación, por lo que cualquier variación que se registre en esta etapa resultará de gran impacto en la rentabilidad del cultivo (VARGAS, 2014).

La tecnología utilizada en la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) en las empresas azucareras del Perú es del tipo semi mecanizada, es decir se utilizan tanto mano de obra como maquinaria; por ejemplo, en algunos lugares el corte de la caña se hace en forma manual y en otros con cosechadoras mecánicas, decisiones que dependen de patrones socio-culturales y técnicos.

Agropucalá SAA es una empresa agroindustrial ubicada en la región Lambayeque a 28 km al noreste de la ciudad de Chiclayo, dedicada a la producción de *S. officinarum* L. (caña de azúcar), con una capacidad de molienda diaria aproximada de 3 mil toneladas métricas, de las que se obtiene un promedio de 8 mil bolsas de azúcar de 50 kilos cada una. De una tonelada de caña molida se obtiene entre 100 y 110 kilos de azúcar y de 20 a 30 kilos de melaza.

El proceso de cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) en la empresa Agropucalá SAA, incluye las operaciones de quema, corte, arrumado y carga o alzado en una sola operación, transporte al ingenio y descarga. Los tallos quemados se cortan a mano y se colocan en gavillas a lo largo de los surcos, los mismos que son arrumados y cargados con una sola máquina que realiza las labores de arrume y carga en una sola operación; el transporte se realiza con trailers

(o camiones adaptados para este fin) de una capacidad que coincide con la capacidad de levante de la mesa receptora en fábrica, esto es 45 toneladas.

En la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) con el sistema semi mecanizado practicado en la empresa Agropucalá SAA, no sólo importa la performance de la maquinaria y equipo involucrados, sino también cabe conocer más de cerca la eficiencia de las labores manuales que se realizan, puesto que son un rubro importante cuando se calculan los costos de producción, a fin de proponer alternativas viables distintas al insumo mano de obra. En Agropucalá SAA existe escasa información al respecto (o en todo caso no está sistematizada, ni actualizada) que permita su uso en tiempo real por parte de los que deban tomar decisiones sobre los requerimientos reales de maquinaria y mano de obra para esta etapa del proceso productivo.

Entendiendo que un sistema eficiente de cosecha debe satisfacer el flujo promedio de caña que requiere la fábrica según su capacidad de molienda, y considerando lo expuesto en el párrafo anterior, en el presente estudio se plantea evaluar tanto técnica como económicamente las operaciones que comprende la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) en la empresa Agropucalá SAA a fin de mejorar los estándares actuales.

Objetivos

1. Determinar los rendimientos y capacidades de la maquinaria y mano de obra que intervienen en la cosecha de *S. officinarum* (caña de azúcar).
2. Determinar las necesidades reales de maquinaria, equipo y mano de obra utilizados en la cosecha de *S. officinarum* (caña de azúcar).
3. Determinar los costos operativos de la cosecha de *S. officinarum* (caña de azúcar).
4. Documentación de la información para uso en tiempo real para la toma de decisiones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) y el proceso industrial

S. officinarum L. (caña de azúcar) es una gramínea con un tallo grueso y fibroso que crece hasta alcanzar los 6 m de altura; las variedades comerciales son híbridos complejos de varias especies dentro del género *Saccharum*, la especie más conocida es *Saccharum officinarum*. Desarrolla dos tipos de tallos: el subterráneo, denominado rizoma, y el aéreo que es un tallo cilíndrico dividido en nudos y entrenudos (canutos), que es el que se aprovecha para la extracción del azúcar. Sus hábitos de desarrollo son diferentes, en general producen tallos 2 a 3 m de longitud y de 1 a 23 tallos por cepa según la variedad (DÍAZ y PORTOCARRERO, 2002). El tallo es la parte más importante porque representa aproximadamente el 89% de la masa verde total, está compuesto por epidermis o corteza, tejidos y fibra; posee el 75% de agua, con una concentración mayor de sacarosa en las partes inferiores, la misma que va disminuyendo a medida que asciende a las puntas, razón por la que siempre se elimina una parte del tallo al cortar el cogollo (PINO, 2007).

S. officinarum L. (caña de azúcar) almacena sacarosa en la savia del tallo para llenar las semillas luego de la floración. Sin embargo, es importante que los cultivos de caña de azúcar no florezcan para que den altos rendimientos. En el momento de la cosecha, la caña contiene aproximadamente 10% de azúcar, lo cual cambia según la variedad, la estación y el lugar. La extracción de azúcar cristalina comprende la molienda de la caña recién cosechada para producir azúcar en bruto que luego se purifica para elaborar azúcar blanca refinada que es 99% sacarosa. Definitivamente que la cantidad de azúcar que se obtenga por tonelada está en función de la calidad de la caña molida; por ejemplo, para obtener más de 100 kilos de azúcar de una tonelada de caña, ésta debe estar en un porcentaje promedio de sacarosa de 13% (CASTILLO *et al.*, 2015).

En la molienda, se lava, corta y tritura la caña, luego se mezcla varias veces con agua y se presiona con rodillos. El jugo obtenido ('guarapo') contiene hasta 15% de sacarosa, mientras que los sólidos fibrosos restantes ('bagazo') constituyen una útil fuente de energía, alimento para animales o se usan para fabricar papel. El agregado de cal neutraliza el pH del jugo de la caña. Esto detiene la división de la sacarosa en glucosa y fructosa y precipita algunas impurezas. Se deja que los sólidos en suspensión se asienten antes de que se evapore el jugo para hacer un jarabe. El jarabe se concentra bajo vacío y el azúcar sale cristalizado de las 'melazas' líquidas cuando se lo grana con azúcar cristalina. El azúcar en bruto se refina lavando para sacar el recubrimiento exterior contaminado de los cristales. Luego el azúcar que queda se

disuelve para elaborar un jarabe con 70% de sacarosa. Las impurezas filtradas y las siguientes rondas de concentración y cristalización dan como resultado azúcar blanca refinada. Los cristales de azúcar se vuelven a separar de las melazas en una centrífuga, el resto del azúcar se recupera como azúcar negra, pero ya no se puede recuperar azúcar con fines económicos, las melazas finales siguen conteniendo 20–30% de sacarosa y también 15–25% de glucosa y fructosa. El azúcar granulado se elabora secando el azúcar en una secadora rotatoria caliente y luego se la acondiciona secándola con aire frío durante varios días (DÍAZ y PORTOCARRERO, 2002).

2.2. Labores involucradas en la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Las etapas principales de la cosecha son, en su orden secuencial: la quema, el corte, el arrume, la carga o alzada y el transporte de la caña. Una práctica común es realizar la maduración anticipada de la caña por aplicación aérea de un producto químico que estimula el desarrollo de sacarosa en la planta. Alrededor de 6 semanas después de la aplicación de dicho estimulante, se alcanza el máximo contenido de sacarosa. Tradicionalmente, donde sea posible, se quema la caña antes del corte, para controlar plagas y sobre todo para eliminar las hojas secas, facilitando el corte y reduciendo el porcentaje de materia no aprovechable en la cosecha. El corte de la caña es casi siempre manual, aunque existe también la posibilidad del corte mecánico; es el proceso más intenso en cuanto al recurso humano, un ingenio puede ocupar alrededor de 2.000 cortadores adicional al personal requerido para la organización y supervisión del corte (un cortador alcanza a cortar entre 7 y 12 toneladas de caña quemada en una jornada, su rendimiento en caña verde es más bajo) (DÍAZ y PORTOCARRERO, 2002). El proceso de carga o alzada se realiza con maquinaria y constituye el cuello de botella de todo el proceso de cosecha. El sistema de transporte de caña es el más susceptible a variaciones, siendo uno de los problemas de la cosecha la asignación y reasignación de los equipos de transporte. El personal y los recursos de alce y transporte están agrupados en frentes de cosecha, ya que trabajan juntos. Según el tamaño de la fábrica se manejan entre 2 y 7 frentes de cosecha (TISCHER y CARRIÓN, 2003).

2.2.1. Quema de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Se realiza un día antes de ser cortada, con la finalidad de eliminar las hojas de la caña, que por tener bordes dentados producen cortaduras. La quema la realiza un equipo especializado; se inicia a favor del viento y se sigue contra la dirección del viento. La hora más apropiada para quemar la caña es por la mañana (AGROPUCALA, 2018).

Con la quema de las plantaciones de caña, se trata de facilitar la cosecha manual pues se eliminan residuos vegetales, malezas y ciertos animales riesgosos para los cortadores de la caña. Si bien la quema de la caña de azúcar se efectúa para eliminar residuos vegetales, malezas y alimañas que interfieren en la cosecha de tallos, aumentando la eficiencia de la labor de recolección, ya que se suprime el deshoje manual y consecuentemente disminuye el costo de la mano de obra; vale decir que esta práctica prevalece por un propósito eminentemente económico. Siendo la quema de la caña de azúcar en la mayoría de los países productores, una práctica generalizada y hasta considerada necesaria, sin embargo es innegable la serie de conflictos de intereses entre productores, ambientalistas y por supuesto la población en general, no resulta extraño que los últimos dos, soliciten a las autoridades competentes que se regule o se elimine de una vez por todas dicha práctica que tanto daño causa al ambiente (DANCE y SÁENZ, 2016).

2.2.2. Corte manual

Se realiza utilizando diversos tipos de instrumentos, fundamentalmente el machete o la mocha. Los pasos básicos del corte manual son: el corte del tallo, la separación del cogollo, la limpieza del tallo, el trozado del tallo y la formación del tercio en la superficie del suelo para su posterior carga al medio de transporte. Esta labor requiere de obreros calificados para minimizar las pérdidas. El corte manual en verde puede ser de dos tipos: el corte convencional y el corte limpio. En el corte convencional, el cortador realiza el corte del tallo por la base, lo despunta eliminando el cogollo y lo coloca en forma perpendicular a los surcos formando un motón, para que más tarde sea cargado a la unidad de transporte por una cargadora o "jaiba". En este sistema los tallos de caña de azúcar llevan las hojas adheridas a este. En el corte limpio el cortador remueve las hojas adheridas al tallo, corta el tallo en la base, descogolla y coloca la caña en el montón; adicionalmente realiza una completa limpieza de la cama y de la zona lateral entre los montones de caña para evitar que los residuos sean cargados junto con los tallos (BERNHARDT, PILLAY AND SIMPSON, 2000).

GRISALES (2006), define siete etapas del proceso de corte manual: 1) localización del tajo, 2) despejado, 3) hacer el nido, 4) cortado de tallos al ras, 5) descogollado, 6) enchorrado y 7) marcado del tajo. Este mismo autor indica que las evaluaciones de calidad del corte manual de caña buscan reducir la cantidad de materia extraña en la fábrica y, además, facilitar el carguío; de ahí la importancia de establecer estos controles, pudiéndose determinar quiénes están fallando y en qué aspectos. Este control es necesario ya que seguido del corte se carga y transporta la materia prima, y si la chorra contiene materia extraña esta se traslada a la fábrica; además, si el nido no tiene la distancia requerida a la acequia se dificulta el paso de la

maquinaria de carga y si la chora no está alineada se perderá caña al momento de la alzada. La labor del cortador no sólo es cortar la caña, también verá por la correcta disposición de los residuos y la ubicación adecuada de la caña, por eso el control debe hacerse tanto al interior como al exterior de la chorra. Fuera de la chorra se evalúa, limpieza, alineación y enchorre de la caña, hojas en el tallo y distancia del nido a la acequia. En el interior de la chorra se observa la limpieza de la cama, el cogollo en la caña, tallos secos, tocones, cogollo en la chorra y caña en el cogollo.

2.2.3. Corte mecánico y carguío

Para el corte mecánico se disponen modernas máquinas llamadas cosechadoras combinadas de caña de azúcar que operan con equipos auto volcables (8 a 12 toneladas) para el trasbordo de la materia prima a unidades de transporte de alta capacidad de carga, halados por tractores y/o camiones, según la distancia a la fábrica. En otros casos, la cosechadora carga directamente sobre el equipo de transporte, evitando el costo del auto vuelco, pero con mayor riesgo de daño sobre el cañaveral. La expansión de este sistema estuvo fuertemente asociada a la sustancial reducción del costo de cosecha y su significativo efecto en la rentabilidad del cultivo (DÍAZ y PORTOCARRERO, 2002). Las ventajas operativas de las cosechadoras disponibles permiten una mejor planificación y organización de la zafra, una operación más eficiente de cosecha y una entrega adecuada de caña al ingenio, además de contribuir a la mejora de la calidad de la materia prima por una significativa reducción del “trash”, y una menor pérdida de azúcar por el hecho de procesar caña fresca. También es importante destacar que las nuevas cosechadoras son capaces de dejar una mínima cantidad de caña en el campo y se evidencian mejoras en la eficiencia y costo del transporte, ya que la caña en trozos ocupa menos espacio que la caña larga y por lo tanto se incrementa la capacidad de carga de los equipos de transporte.

MANTILLA (2010), indica que el corte mecanizado integral de la caña de azúcar depende del diseño del campo, de los atributos de las variedades sembradas, del tipo de cosechadora combinada, del mantenimiento y operador de la maquinaria y de la logística del corte y el transporte; en la medida que se logre una buena integración de estas variables se podrá alcanzar el éxito de este tipo de cosecha. A su vez, se debe señalar, que la gran capacidad de los frentes de cosecha permite priorizar las áreas de cosecha según necesidades, logrando un beneficio importante al anticipar la recolección de grandes sectores fuertemente afectados por heladas y minimizar el decrecimiento de la calidad. Además, la alternativa de cosechar la caña en verde, permite reducir los efectos negativos de la quema sobre el medio ambiente. El sistema

de limpieza de las cosechadoras modernas está capacitado para obtener una baja cantidad de materias extrañas aun operando sobre cañaverales no quemados previamente. Otra ventaja operativa radica en los costos, en este sentido es de esperar que el costo de mano de obra se incremente con los años, y con ello se incrementa la diferencia de los costos totales de ambos sistemas. Entre las desventajas de la cosecha integral, se puede señalar que por las características de los equipos que participan en las operaciones de cosecha, existen mayores posibilidades de afectar los cañaverales, aumentando los problemas de compactación, los riesgos de daño a las cepas y la probabilidad de una menor longevidad del cañaveral. Asimismo, este sistema tiene mayores exigencias en cuanto a las dimensiones y a la sistematización de los campos que el sistema semi mecánico, surgiendo limitaciones para el uso de las cosechadoras en campos pequeños, de dimensiones irregulares, cañaverales dispersos y en lotes de relieve accidentado o pendientes elevadas.

2.2.4. Carga o alzada y transporte

Las alzadoras de *S. officinarum* L. (caña de azúcar), son una alternativa a las cosechadoras combinadas cuando la irregularidad del terreno, el peso de las cosechadoras o la capacidad adquisitiva del agricultor hacen inviable el cosechado automático. En este caso se recurre al corte manual con recolección mediante la alzadora. Un cortador (machetero o zafrero) es capaz de llegar a cortar siete toneladas de caña de azúcar diariamente, la cual es depositada en hileras y luego la máquina alzadora con la jaiba las atrapa, las levanta y las deposita en el camión o tráiler contenedor. La alzadora es también útil para recoger el cogollo que tira la cosechadora combinada. La jaiba completa está compuesta por: dos garras (fija y móvil), un cilindro situado en la parte media de las dos garras que se utiliza para la apertura y un cilindro a cada lado para el movimiento de rotación, además de uniones y elementos que permiten el correcto ensamblaje del conjunto. Cuanto menor sea el tiempo que transcurre entre la quema, corte y llegada a la fábrica se logra mayor eficiencia en el proceso. Lo ideal es que el tiempo no sea mayor de 36 horas para evitar pérdidas de sacarosa en la planta (GRISALES, 2006).

Las pérdidas de tiempo originadas por la falta de transporte, constituyen uno de los factores de mayor incidencia en la eficiencia de las cosechadoras, constituyendo uno de los puntos críticos del sistema integral. También los problemas de descarga afectarán directamente todo el diseño y funcionamiento del transporte, provocando sobredimensionamientos o importantes pérdidas de tiempo, influyendo directamente en la capacidad operativa de las cosechadoras e incrementando su costo. Por lo tanto, un

ordenamiento eficiente de la recepción de la caña integral permitirá disminuir los tiempos de espera. Este aspecto es prioritario en la materia prima proveniente de este sistema de cosecha, por su gran dependencia del transporte y por trabajar con caña troceada, más susceptible al deterioro por estacionamiento (CASTILLO *et al.*, 2015).

VARGAS (2014), menciona que es muy difícil eliminar el desperdicio de caña en el campo por efecto de la cosecha mecánica o manual; sin embargo, es de vital importancia identificar estas fugas de caña y concientizar al personal para minimizar dichas pérdidas.

2.3. Maquinaria de cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

La efectividad de un sistema de mecanización, como lo comenta POLANCO (2007), radica en ajustar la potencia disponible de la maquinaria al tiempo disponible para realizar las operaciones, a un nivel aceptable de costos; un error en la selección de maquinaria, equipo y mano de obra puede ocasionar cuantiosas pérdidas y, en ocasiones, el fracaso de la empresa.

El propósito de medir el trabajo es determinar los hechos sobre la forma como se realiza una operación individual o un grupo de operaciones dentro del lugar de trabajo. Estos datos proporcionan a la administración la información clave que puede utilizarse para evaluar la efectividad de la gente y de las maquinas empleadas dentro de la organización. Luego estos datos actúan como medios para que la administración aumente la productividad por medio de la mejora de los métodos, el entrenamiento de las habilidades, el impulso del rendimiento y la eliminación o reducción de los problemas (TEJADA-DÍAZ, 2017).

En la administración de la maquinaria, el tiempo tiene gran importancia por su incidencia en la planificación, mantenimiento, capacidad, costos, y otros; por lo tanto, el conocimiento y control de los tiempos que insumen las máquinas en desarrollar una labor específica son fundamentales (ÁLVAREZ, 2004).

2.3.1. Capacidad y eficiencia del tiempo en el trabajo con máquinas.

Según RODRÍGUEZ (2018), el trabajo efectivo de una máquina se evalúa con la eficiencia de campo o el rendimiento del tiempo (R_t), que relaciona el tiempo que emplea una máquina para realizar el trabajo para la cual fue diseñada (T_e) y el tiempo total (T_t) que involucra realizar toda la operación; es decir, el tiempo total (T_t) incluye el tiempo efectivo (T_e), más los tiempos perdidos (T_p) debido a detenciones durante el trabajo tales como ajustes, averías, atascamientos, esperas, descanso, etc., más el tiempo en vacío (T_v) que es el tiempo

empleado en dar vueltas en las cabeceras y otros lugares no trabajados, y cualquier otro tiempo que es parte de la operación pero que no es ni tiempo efectivo ni perdido. En ese sentido, el rendimiento del tiempo (R_t) se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$R_t(\%) = \frac{T_e}{T_t} \times 100$$

RODRÍGUEZ (2018), indica que, en el trabajo de las máquinas, a menudo, existen tiempos improductivos que no necesariamente son tiempos perdidos porque se refieren a actividades que forman parte del mismo trabajo; esto significa que habrá una eficiencia o rendimiento de trabajo (R_w) que se calcula así:

$$R_w(\%) = \frac{T_e + T_v}{T_t} \times 100$$

La maquinaria, desde que comprende elementos manejados por el ser humano, nunca va a tener una producción óptima o de punta (Pop), o sea la mejor producción alcanzable trabajando los 60 minutos de cada hora; en la práctica, sólo se trabaja 45 ó 50 minutos de la hora, que genera una producción normal $P_n = (50/60) * Pop$. El factor $(50/60)$ se denomina eficiencia horaria, tiempo productivo o factor operacional (Efh). Este factor interviene en el cálculo de la capacidad efectiva (RODRÍGUEZ, 2018).

La capacidad de una máquina está especificada por la cantidad producida en la unidad de tiempo, esta depende de su tamaño y de otras variables independientes propias de cada tipo de máquina. La capacidad de las máquinas puede ser teórica (C_t) o efectiva (C_e). La capacidad teórica es la relación del trabajo realizado por la máquina en la unidad de tiempo, sin afectación de las pérdidas de tiempo. La capacidad efectiva, en cambio, es la capacidad teórica afectada por las pérdidas de tiempo, es decir la eficiencia horaria y el rendimiento de trabajo (RODRÍGUEZ y SÁNCHEZ, 2006).

$$C_t = \frac{Q_p}{T_e + T_v}$$

Donde Q_p es la cantidad producida, que puede expresarse en hectáreas, toneladas, u otra unidad, dependiendo de la operación que se esté realizando.

La capacidad efectiva normal (C_{en}), entonces, se calcula así:

$$C_{en} = \frac{C_t * R_w * Efh}{10^4}$$

El tiempo del ciclo de transporte comprende un tiempo de carguío, un tiempo de viaje cargado (ida), un tiempo de descarga, un tiempo de viaje vacío (retorno), tiempos de culateo y demoras asociadas a las colas y a la congestión (CARVAJAL-IRRIBARREN, 2015).

RODRÍGUEZ (2018), evalúa la capacidad de los elementos de transporte con las siguientes fórmulas:

Coeficiente de ocupación (c): Es la relación existente entre la distancia recorrida con carga completa y la distancia total cubierta por el vehículo.

$$c = \left(\frac{Q_i}{Q_t} * 0.5 \right) + \left(\frac{Q_r}{Q_t} * 0.5 \right)$$

Q_i : Carga en la ida

Q_t : Carga total

Q_r : Carga en el regreso

Por ejemplo, un camión que va con carga completa y regresa vacío tendrá un $c=1/2=0.5$; pero si pudiendo cargar 20 toneladas, sólo transporta 8 toneladas de ida y regresa vacío, su $c=(8/20)*0.5=0.2$; en el caso que el camión va con 8 toneladas pero regresa con 10 toneladas, $c = [8/20]*0.5 + (10/20)*0.5 = 0.45$. Esto significa que el coeficiente de ocupación se debe determinar en cada caso.

Cálculo de la capacidad

$$C_e = Q * V * E_f * c$$

C_e : Capacidad efectiva del vehículo (ton-Km/h)

Q : Carga máxima del vehículo (ton)

V : Velocidad (kph)

E_f : Eficiencia de campo (decimal)

c : Coeficiente de ocupación (decimal)

A veces resulta más práctico medir la capacidad de los vehículos de transporte en ton/h, esto ocurre cuando la distancia está prefijada y, además, cuando se da una demanda continua de transporte; por ejemplo, el transporte a granel en la cosecha, desde el campo al ingenio. En este caso, la capacidad efectiva del vehículo de transporte es:

$$C_e = \frac{Q * N}{\frac{2d}{V} + dem}$$

- C_e : Capacidad efectiva (ton/h)
 Q : Carga de cada vehículo (ton)
 N : Número de vehículos
 d : Distancia entre el lugar de carga y el de descarga (Km)
 V : Velocidad promedio de transporte (Km/h)
 dem : Demoras debido a esperas, carga, descarga y otros (h)

La fórmula anterior supone un coeficiente de ocupación igual a 0.5 y que la velocidad es la misma en la ida y en el regreso. Si la velocidad difiere, la expresión $2d/v$ se convierte en $(d/V_i) + (d/V_r)$, donde V_i es la velocidad del vehículo en la ida y V_r es la velocidad en el regreso.

2.4. Análisis de costos operativos de la maquinaria agrícola.

RODRÍGUEZ Y CHACÓN (1997), mencionan que la evaluación de los costos de maquinaria, siempre se hace sobre la base de un periodo productivo (usualmente un año calendario), de ahí que cobren particular importancia los costos operativos estimativos de la maquinaria agrícola. Estos costos se refieren a tres categorías: 1) Costos fijos o de posesión, 2) Costos variables o de operación y 3) Costos de las demoras. A continuación, se define a estas tres categorías de la siguiente manera:

2.4.1. Costos fijos o de posesión

Son aquellas erogaciones que no varían con el uso de la maquinaria, y siempre están presentes se use esta o no. Una terminología alternativa que se utiliza es “costos de posesión” o “gastos generales”. Los costos fijos incluyen:

2.4.1.1. Depreciación (D)

Es la pérdida de valor de la maquinaria debido a la edad, obsolescencia y a su uso. Algunos argumentan que, siendo un costo dependiente de su uso, la depreciación debe clasificarse como un costo variable; sin embargo, investigaciones han demostrado que la edad es el factor principal en este tipo de costo, consecuentemente “D” es esencialmente un costo fijo, y se balancea con la amortización.

$$D = \frac{P - VR}{N}$$

- P : precio de compra de la máquina
 VR : valor de reventa o residual de la máquina
 N : vida útil de la máquina (años)

El valor residual puede ser: a) Valor residual activo (VRA), cuando se consigue un valor de mercado para la máquina en uso; b) Valor residual pasivo (VRP), cuando la máquina sólo puede valorizarse como chatarra o por el valor de los órganos recuperables de ella.

$$VR = 78.2(0.826)^N * P \dots \text{Tractores}$$

$$VR = 97.0(0.760)^N * P \dots \text{Cosechadoras}$$

$$VR = 0.60(0.885)^N * P \dots \text{Otras máquinas}$$

$$N = \frac{\left(\frac{U + A}{1000} \right) + A}{2}$$

N : vida útil (años)

U : uso anual (h/año)

A : años de uso, estimado

El valor de reventa también se puede calcular en función de los coeficientes que se dan en la siguiente fórmula y contenidos en el **Tabla 1**.

$$VR = 100 * [C_1 - C_2 (N^{0.5}) - C_3 (U)^{0.5}]^2$$

La fórmula ha sido desarrollada de una evaluación realizada en Estados Unidos en el periodo 1984 y 1993. VR se expresa como porcentaje del precio de compra de la maquinaria al final de “N” años de vida útil y después de un uso anual “U”. El efecto de la inflación se incluye multiplicando el precio de compra de la maquinaria por $(1+i)^N$, donde “i” es la tasa de inflación anual.

La depreciación se puede producir a diferente ritmo y a consecuencia directa de la apreciación que hace el mercado sobre el valor de la máquina, pudiendo ser: a) Depreciación decreciente, que asigna un valor cada vez menor a medida que envejece la máquina; en maquinaria es evidente este tipo de depreciación; b) Depreciación uniforme o constante, en la práctica no se da este tipo de depreciación, pero para casos de costos estimativos se acostumbra a suponer una depreciación constante; c) Depreciación creciente, en la práctica no se ha comprobado este tipo de depreciación.

Tabla 1. Coeficientes de valor de reventa.

TIPO DE MAQUINARIA/EQUIPO	C ₁	C ₂	C ₃
Tractores agrícolas			
- Pequeños: <60kw (<80hp)	0.961	0.093	0.0058
- Medianos: 60-112kw (80-150hp)	0.942	0.1	0.0008
- Grandes: >112kw (>150hp)	0.976	0.119	0.0019
Equipo de cosecha			
- Combinadas	1.132	0.165	0.0079
- Segadoras	0.756	0.067	-
- Enfardadoras	0.862	0.101	-
- Hileradoras y otros	0.791	0.091	-
Equipo de labranza			
- Arado de vertederas	0.738	0.051	-
- Discos y otros	0.891	0.11	-
Equipos varios			
- Minicargadores y similares	0.786	0.063	0.003
- Sembradoras	0.883	0.078	-
- Estercoladoras y otros	0.943	0.111	-

Fuente: Witney (1988)

2.4.1.2. Interés (I)

Es un costo porcentual que se deduce sobre la inversión, considerando que el capital se presta a un banco, por lo tanto, hay que determinar un monto que pueda pagar el interés que cobra el banco por este préstamo.

$$I = \frac{in(P + VR)}{2}$$

$$in = ii - ij$$

$$ir = \frac{(1 + \frac{ii}{100})}{(1 + \frac{ij}{100})} - 1$$

- In : Interés neto
P : recio de compra
VR : Valor de reventa
Ii : Tasa de interés por la inversión (%)
Ij : Tasa de inflación (%)
Ir : Interés real afectado por la inflación

2.4.1.3. Seguros, impuestos y resguardo (SIR)

Los productores comúnmente tratan de proteger el capital invertido en maquinaria contra pérdidas debido a incendios, robos, accidentes, etc. a través de un seguro que obtiene de entidades financieras. Asimismo, las máquinas son resguardadas en establecimientos especiales para protegerlas de la intemperie y de esa forma obtener mayor vida útil, menor costo de RyM, entre otros beneficios.

$$SIR = 2\%P$$

2.4.2. Costos variables o de operación

Son aquellos costos que varían con el uso de la maquinaria.

2.4.2.1. Reparación y mantenimiento (RyM)

Es un costo anual que se incrementa con el uso de la máquina; sin embargo, es difícil predecir con precisión este tipo de costo. Aun cuando se trate de máquinas idénticas, que se usan el mismo número de horas al año, el costo de reparación y mantenimiento siempre varía porque las condiciones de trabajo varían. La ASAE proporciona la siguiente fórmula para estimar reparación y mantenimiento, donde R_1 y R_2 son factores de reparación que se pueden observar en el **Tabla 2**.

$$RyM(\%P) = \frac{R_1 \left(\frac{VU + \frac{U * VU}{1000}}{2} \right)^{R_2}}{VU}$$

Basado en un análisis estadístico de datos obtenidos a nivel de finca en EEUU, la relación entre reparación acumulada y uso anual de la máquina está dada por los factores de reparación y mantenimiento (R_1 y R_2) que se presentan en el cuadro 2. Estos

valores incluyen el costo de partes de reemplazo y mano de obra por el servicio. R_1 y R_2 normalmente se incluyen como datos adicionales en las tablas de cálculo de costos.

Tabla 2. Factores de reparación y mantenimiento.

Maquinaria	Eficie. Campo (%)		Velocidad (km/h)		VU h	Costo R&M %P	Fact. Repar.	
	Rango	Típica	Rango	Típica			R ₁	R ₂
Tractores								
- 2WD					12000	100	0.007	2
- 4WD y de orugas					16000	80	0.003	2
Labranza y Siembra								
- Arado de vertedera	70-90	85	5.0-10.0	7	2000	100	0.29	1.8
- Arado de discos pesado	70-90	85	5.5-10.0	7	2000	60	0.18	1.7
- Rastra de discos excént.	70-90	80	6.5-11.0	10	2000	60	0.18	1.7
- Arado cincel	70-90	85	6.5-10.5	8	2000	75	0.28	1.4
- Cutivador de campo	70-90	85	8.0-13.0	11	2000	70	0.27	1.4
- Rastra de dientes	70-90	85	8.0-13.0	11	2000	70	0.27	1.4
- Rodillo compactador	70-90	80	7.0-12.0	10	2000	40	0.16	1.3
- Azadón rotativo	70-85	80	13.0-22.5	19	2000	60	0.23	1.4
- Rotocultor	70-90	85	2.0 - 7.0	5	1500	80	0.36	2
- Sembradora en hileras	50-75	65	6.5-11.0	9	1500	75	0.32	2.1
- Sembradora de precisión	55-80	70	6.5-11.0	8	1500	75	0.32	2.1
Cosecha								
- Cosechadora-desgranadora de maíz	60-75	65	3.0-6.5	4	2000	70	0.14	2.3
- Combinada estacionaria	60-75	65	3.0-6.5	5	2000	60	0.12	2.3
- Combinada autopropulsada	65-80	70	3.0-6.5	5	3000	40	0.04	2.1
- Segadora	75-85	80	5.0-10.0	8	2000	150	0.46	1.7
- Segadora rotativa	75-90	80	8.0-19.0	11	2000	175	0.44	2
- Hileradora autopropulsada	70-85	80	5.0-13.0	8	3000	55	0.06	2
- Rastrilo lateral	70-90	80	6.5-13.0	10	2500	60	0.17	1.4
- Enfardadora rectangular	60-85	75	4.0-10.0	6.5	2000	80	0.23	1.8
- Enfardadora rectangular grande	70-90	80	6.5-13.0	8	3000	75	0.1	1.8
- Enfardadora cilíndrica grande	55-75	85	5.0-13.0	8	1500	90	0.43	1.8
- Cosechadora de forraje estacionaria	60-85	70	2.5-8.0	5	2500	65	0.15	1.6
- Cosechadora forraje autopropulsada	60-85	70	2.5-10.0	5.5	4000	50	0.03	2
- Cosechadora remolacha azucarera	50-70	60	6.5-10.0	8	1500	100	0.59	1.3
- Cosechadora de papas	55-70	60	2.5-6.5	4	2500	70	0.19	1.4
- Cosechador algodón autopropulsada	60-75	70	3.0-6.0	4.5	3000	80	0.11	1.8
Operaciones Varias								
- Distribuidora de fertilizante	60-80	70	8.0-16.0	11	1200	80	0.63	1.3
- Asperjadora de aguilón	50-80	65	5.0-11.5	10.5	1500	70	0.41	1.3
- Pulverizadora	55-70	60	3.0-8.0	5	2000	60	0.2	1
- Soplador de forraje	-	-	-	-	1500	45	0.22	1.8
- Remolque para forraje	-	-	-	-	2000	50	0.16	1.6
- Remolque	-	-	-	-	3000	80	0.19	1.3

Fuente: Witney (1988)

Es necesario enfatizar que los cálculos mostrados a través de fórmulas y factores, son estimativos; sin embargo, si se dispusieran de datos detallados y confiables sobre este rubro, la predicción a que nos hemos referido sería más cercana a la realidad.

2.4.2.2. Combustibles y lubricantes

La eficiencia del combustible varía con el tipo de combustible y con el factor de carga solicitada al motor. El motor típico de un tractor o una combinada que son exigidos por encima del 20% de carga está regido por las ecuaciones que se dan debajo.

Para motores gasolineros:

$$Q_c = 2.47fp + 3.15 - 0.203\sqrt{967fp + 173} \quad (l/kw - h)$$

$$Q_c = 0.54fp + 0.62 - 0.04\sqrt{967fp + 173} \quad (gal/hp - h)$$

Para motores diésel:

$$Q_c = 2.64fp + 3.91 - 0.2\sqrt{738fp + 173} \quad (l/kw - h)$$

$$Q_c = 0.52fp + 0.77 - 0.04\sqrt{738fp + 173} \quad (gal/hp - h)$$

El consumo de combustible para una operación específica, está expresado en l/Kw-h (gal/hp-h). El factor de carga “fp” es la relación entre la potencia equivalente en el PTF requerido por una operación y la máxima potencia disponible en él.

Estas ecuaciones dan consumos 15% mayores a los que registran las pruebas de Nebraska para reflejar con mayor acierto las pérdidas de potencia bajo condiciones de campo.

El consumo de lubricantes corresponde al volumen del cárter en cada recambio, de acuerdo al periodo de cambio recomendado por el fabricante. Se utilizan las siguientes fórmulas:

Para motores gasolineros:

$$Q_l = 0.2457 + 0.000566 \cdot P_{\text{máx}} \quad (l/h); \quad Q_l = 0.0657 + 0.00011 \cdot P_{\text{máx}} \quad (gal/h)$$

Para motores diésel:

$$Q_l = 0.02 + 0.00041 \cdot P_{\text{máx}} \quad (l/h); \quad Q_l = 0.00755 + 0.00008 \cdot P_{\text{máx}} \quad (gal/h)$$

El costo de combustible y lubricantes se puede calcular así:

$$Cl \text{ (NS/h)} = Qc * P_o * pc + Ql * pl$$

Para las fórmulas de este acápite:

Qc : Consumo específico de combustible (l/kw-h; gal/hp-h)

Ql : Consumo de lubricantes (l/h; gal/h)

fp : Factor de potencia utilizada (decimal, según John Deere es 0.56)

$P_{m\acute{a}x.}$: Potencia máxima (kw; hp)

P_o : Potencia equivalente en el eje toma de fuerza (kw; hp)

pc : Precio del combustible (NS/l; NS/gal)

pl : Precio del lubricante (NS/l; NS/gal)

No obstante, el costo de lubricantes suele ser el 15 ó 20 % del costo de combustibles.

2.4.2.3. Mano de obra (MO)

Es un costo muy variable, pero no es cualquier costo sino se trata del salario por hora que se le puede pagar a un operador de maquinaria agrícola calificado, y depende del costo de oportunidad que se le asigna a esta mano de obra en un lugar determinado. Por lo tanto, no obedece a ningún cálculo en especial, sí a un valor específico.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente estudio se realizó en la Región de Lambayeque, Provincia de Chiclayo, Distrito de Pucalá. Empresa Agropucalá SAA. Las coordenadas geográficas UTM de ubicación son, 17M 653401 m E; 9250438 m N, a una altitud de 89 msnm.



Figura 1. Mapa de ubicación del estudio

3.1.1. Ubicación y extensión de la empresa Agropucalá SAA

Hasta 1853, Pucalá, como antes se le conocía a la hoy empresa Agropucalá SAA, fue un simple y desconocido fundo agrícola de los muchos que existían en el valle Lambayeque, de allí que no haya mayores referencias sobre este antes de esa fecha. Es en la época republicana cuando al fundo Pucalá se le denomina "Hacienda Pucalá". En 1908, la Hacienda Pucalá se constituyó en Sociedad Agrícola Pucalá Limitada S.A., comprendiendo los siguientes predios rústicos: Pucalá, Tabernas, San José, Tablazos, Huaca blanca y Pátapo; años después se anexó Batan Grande. La época de Hacienda duró hasta marzo de 1970, en que se promulgó un Decreto Supremo dentro del proceso de Reforma Agraria, mediante el cual la Hacienda Pucalá pasa a constituirse en Empresa Cooperativa. Sin embargo, los verdaderos fines y objetivos de la Reforma Agraria y el Cooperativismo se perdieron de vista por parte de sus trabajadores y después de casi 30 años de vida cooperativa, las empresas azucareras se

sumergieron en profunda crisis social, económica y financiera, que dio lugar a que en el gobierno de Alberto Fujimori Fujimori se optara por la participación de inversionistas privados en la conducción de estas empresas, situación que se mantiene hasta nuestros días (INDUSTRIAL PUCALÁ, 2016).

Agropucalá SAA se encuentra ubicada en la región Lambayeque a 28 km al noreste de la ciudad de Chiclayo. Cuenta con 5 mil 500 hectáreas de *S. officinarum* L. (caña de azúcar), distribuidas en los centros poblados de Pucalá, Pátapo, Batangrande, La Cría y Cuculí. Las variedades de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) que se cultivan en esta empresa son: CH32, CH-37, México 72, RB72-454, Azul Casagrande, RB72-454 y H39-5803 (AGROPUCALA, 2017).

3.1.2. Características morfoagronómicas de las variedades de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) cosechadas

Las características de las variedades de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) cosechadas y que son materia de estudio se describen a continuación (INIA, 2014):

a. CH32 - 8560 (Chicama 32)

Caracteres morfológicos

Tallo: Erecto hasta los 11 meses, color cenizo, de 9 a 12 tallos/cepa.

Hoja: Larga, color verde oscuro, de buen deshoje natural.

Caracteres agronómicos

Brotamiento: moderada, crecimiento vigoroso erecto.

Floración: Muy escasa.

Reacción a factores bióticos y abióticos

Susceptible al carbón de la caña; moderadamente resistente a la roya, virus del mosaico y raquitismo de la soca.

Producción

Caña: 108,56 toneladas de caña / ha/año.

Sacarosa: 13,9 % a la edad de 17 meses.

b. México 72-458

Caracteres morfológicos

Tallo: Erecto, color verde amarillento, de 12 a 14 tallos/cepa.

Hoja: Corta, color verde normal, de regular deshoje.

Caracteres agronómicos

Brotamiento: Buena; de macollamiento rápido y no se quiebra.

Floración: Escasa.

Reacción a factores bióticos y abióticos

Resistente al carbón, roya y al virus del mosaico.

Producción

Caña: 108,15 toneladas de caña / ha/año.

Sacarosa: 15,12 % a la edad de 18 meses.

c. RB72-454 (Brasilera)

Caracteres morfológicos

Tallo: Erecto, color verde morado con visos amarillentos, de 11 a 12 tallos/cepa.

Hoja: Mediana; de regular deshoje.

Caracteres agronómicos

Brotamiento: Excelente; crecimiento vigoroso erecto.

Floración: Escasa.

Reacción a factores bióticos y abióticos

Moderadamente resistente al carbón de la caña.

Producción

Caña: 98,89 toneladas de caña / ha/año.

Sacarosa: 13,20% a la edad de 18 meses.

d. Azul Casagrande

Caracteres morfológicos

Tallo: Erecto, color verde azulado, de 10 a 12 tallos/cepa.

Hoja: Larga, color verde azulado, de fácil deshoje.

Caracteres agronómicos

Brotamiento: Excelente; crecimiento vigoroso, erecto, tardío para cerrar.

Floración: abundante.

Reacción a factores bióticos y abióticos

Moderadamente resistente al carbón; susceptible a la roya, pisoteo, barrenador y pudrición roja.

Producción

Caña: 154,44 toneladas de caña / ha/año.

Sacarosa: 13,68% a la edad de 17 meses

3.1.3. Topografía y fisiografía

Agropucalá SAA, al igual que todas las empresas azucareras del corte del país, presenta una fisiografía y topografía adecuadas para el cultivo de *S. officinarum* L. (caña de azúcar); su relieve es relativamente plano, presenta valles y pampas con pendientes que no superan el 3% en la parte alta y el 2% en la baja (BUSTAMANTE, 1982).

3.1.4. Clima

La zona en estudio está ubicada en la región de la costa central, específicamente forma parte del Valle Chancay-La Leche, con clima sub tropical árido cuyas temperaturas van desde 19°C a 27°C y una media de 22.5°C. En esta zona casi no llueve, sin embargo el nivel de pluviosidad puede aumentar con la ocurrencia del fenómeno del niño costero, que ha sido causante de varias inundaciones en los últimos años. La humedad relativa es alta, alcanzándose niveles que superan el 90%, con promedios mensuales de 75% (BUSTAMANTE, 1982).

3.1.5. Características de los suelos

Los suelos de Agropucalá SAA son de origen aluvial donde se desarrolla la agricultura intensiva por sus fértiles tierras, destacando el cultivo de *S. officinarum* L. (caña de azúcar), el mismo que se industrializa para obtener el azúcar para consumo interno y para exportación. Los suelos son en su mayoría de textura media, que van de franco a franco arcilloso, y en menor proporción los de textura ligera (BUSTAMANTE, 1982).

3.1.6. Características físicas y de producción de los campos estudiados

La selección de los campos se hizo en base a la programación de la operación de cosecha en la empresa y del tiempo proyectado para ejecutar el trabajo de campo en el presente estudio. Los campos seleccionados y sus características físicas y de producción se muestran en el **Tabla 3**, extraídos de planos y planillones con que cuenta la empresa como parte del aservo documentario de la superintendencia de campo y en los que se basan todas las labores de producción (BUSTAMANTE, 1982).

Las coordenadas de cada uno de los campos se presentan a continuación:

a. Campo “La Francisca”: Patapo

-17M 650909m E-9254156 m.s elevación 83m.

b. Campo “Ramos”: Patapo

-17M 652978m E-9253941 m.s elevación 94m.

c. Campo “Caravaca”: La Cría

-17M 661118m E-9254021 m.s elevación 107m

d. Vega “Santa Isabel”: Pucala.

-17M 653215m E-9215604 m.s elevación 80m

e. Campo “Entre Rios” Pucala.

-17M 660513m E-9252864 m.s elevación 102m

f. Campo “La Rivera” Cuculí

-17M 669501m E-9259450 m.s elevación 148m

g. Campo “Faical” Cuculí

-17M 669956m E-9259804 m.s elevación 149m

3.1.7. Descripción de las operaciones que se realizan en *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

DONIS-GARCÍA (2014) dice que planificar la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) es gravitante para la empresa azucarera; se requiere contar previamente con información básica como: altitud, clasificación de los lotes en función del tipo de cosecha, número de cortes por lote, distancia a la fábrica, accesos y rutas, presencia de tendidos eléctricos, presencia de piedras y obstáculos similares, tipo de riego, tipo de suelo, tipo de maduración de cada variedad, capacidad de molienda de la fábrica, horarios de quema, etc. Tomar en cuenta esta información, ayuda a determinar la mejor distribución geográfica de los frentes de cosecha a lo largo de la zafra, ya que muchos de los ajustes en los programas se originan por las quemas no programadas o quemas accidentales que se dan dentro del periodo de zafra.

El sistema de cosecha empleado en la empresa Agropucalá SAA es semi mecanizado en el que se combina la fuerza del hombre con la maquinaria. El corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) se realiza en forma manual, el arrume y carguío con una máquina que realiza las labores de arrumado y carga en forma intermitente, y el transporte a través de trailers compuestos de dos carretas cada uno.

3.1.7.1. Quema

La quema es el acto de prenderle fuego al follaje de la caña con el fin de favorecer la cosecha manual, no incrementar la basura y permitir mayor despeje del

Tabla 3. Características físicas y de producción de los campos en estudio

Campo	Área* (ha)	Textura suelo	Variedad	N° cuarteles	Edad (meses)	N° corte	N° Obre.	Q (t)	Nv	Y (t/ha)	D (km)
La Francisca	40.01	Fco-Ar	CH-32	16	24.0	2do	481	4801.2	48	120	5.0
Caravaca	17.70	Fco-Ao	CH32-México 72	7	22.0	2do	179	1616.0	17	110	7.5
Vega Santa Isabel	30.00	Fco-Ao	RB72-454	15	24.5	2do	328	2960.0	32	100	1.5
Vega Ramos	10.71	Fco-Ao	CH-32	4	25.0	2do	131	1178.1	13	110	4.0
Vega Entre Ríos	15.76	Fco-Ar	Azul Casagrande	7	33.0	3er	210	1891.2	21	120	8.0
Faycal	16.17	Fco-Ar	RB72-454	6	23.0	2do	215	1940.4	21	120	25.0
La Rivera	14.53	FcoAo	CH-32	9	22.0	2do	129	1162.4	12	80	24.0

Fuente: Agropucalá SAA

* Area cosechada

N° obre.: Número de cortadores

Q: Toneladas cosechadas

Nv: Número de trailers utilizados

Y: Rendimiento del cultivo

D: Distancia al ingenio

área de trabajo; esta debe estar programada según el estado de maduración de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) y la capacidad de molienda del ingenio. El análisis de maduración se hace en el laboratorio sobre muestras cada 10 a 15 días, donde se obtienen los porcentajes permisibles de pol, brix, humedad, fibra, azúcares reductores, pureza y pH.



Figura 2. Inicio de la quema de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) del campo a cosechar

Para realizar la quema se determina el área de corte por día de acuerdo a la necesidad de molienda; se lleva a cabo cuartel por cuartel, comenzando por la parte superior del mismo, luego se pasa a los costados y siempre contra la dirección del viento. Esta labor es realizada por personal experimentado y generalmente por la mañana o por la tarde, teniendo cuidado que el fuego no alcance los cuarteles adyacentes.

3.1.7.2. Corte manual

Dada la orden de corte, como este es manual, durante el tiempo que el cortador emplea en ejecutar el corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) en la superficie de evaluación se registró lo siguiente: Accesibilidad y limpieza del área de corte, calidad de la quema, número de corte si no es caña planta, calidad del corte (al ras del suelo es deseable), calidad del despunte y limpieza del tallo, nivel de impurezas (tierra, hojas, puntas tiernas con

corcho), colocación de la caña cortada (ordenada). Además, se registraron los tiempos empleados en realizar la operación.



Figura 3. Cortadores en pleno corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

3.1.7.3. Arrume y carguío

El arrume y carguío se realiza con una sola máquina que ejecuta estas dos operaciones juntas e intermitentemente.

Las características técnicas del arrumador-cargador de la **Figura 5** son:

Motor: Diésel con arranque

Eléctrico directo: John Deere 6068T de 200 hp

Sistema de propulsión: Bombas y motores hidrostáticos con una válvula selectora para tracción velocidad variable.

Operación: 12 Km/h máx. en tres rangos.

Traslado: 29 Km/h max

Sistema de Apilador bomba Simple: 87 l/min (23 g/m) 2200 rpm.

Presión máxima: 1750 psi

Sistema de carga: “Dos válvulas direccionales, una de tres bancos para giro, extensión, independiente, de dos bancos para las funciones le levante y tenaza”

Bomba doble: (132 y 87 l/min) (35 y 14 g/m), 2200 rpm

Presión Máxima: 2250 psi

Dirección: Hidráulica en el tren trasero

Llantas delanteras: 23,1x34, R1 – 8 lonas

Llantas traseras: 18,4x26, R1 – 8 lonas

Equipamiento común: “Incluye cabina aclimatada, apilador tipo pelota de fútbol, luces, bocinas multifuncionales, alarmas e indicadores de alta temperatura del agua y aceite”

Equipamiento opcional: Vía ancha de (3m) para una buena estabilidad, techo de seguridad, junto paralelo de la tenaza, y ampliador convencional con cadena tracción y ruedas.



Figura 4. *S. officinarum* L. (caña de azúcar) cortada en rumas para el arrumado mecanizado

Detrás del arrumador-cargador se dispone de algunos ayudantes, provistos de machetes, que se encargan de repicar y recoger la caña que no pudo ser atrapada por la máquina, para colocarla en la gavilla siguiente. Depende mucho de la habilidad del operador de la máquina de que haya menos caña para el “recojo” y que el acomodo de la caña levantada en los trailers sea el más adecuado.



Figura 5. Arrumador-cargador John Deere 1850



Figura 6. Arrumador-Cargador cargando la carreta de un tráiler

3.1.7.4. Transporte.

El transporte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) se realiza por medio de “trailers” o camiones acondicionados para esta labor. Lo ideal sería que los trailers sean llenados tan luego lleguen al lugar de carga; sin embargo, esto no es posible, observándose tiempos de espera que se deben tener en cuenta para mejorar la eficiencia del equipo de transporte. También es posible que, después de cargar los trailers, queden cañas saliendo del cubículo; estas se deben plomear o cortar al ras, cortes que son recogidos por el personal de recojo y puestas en la gavilla vecina.

Las características técnicas y de circulación de los vehículos de transporte se muestran a continuación:



Figura 7. Tráiler para el transporte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Especificaciones técnicas del trailer

Capacidad: Clase 6 - Peso Bruto Vehicular de 25,000 lb (11,339 k).

Embrague: Cerámico Amortiguado Sachs 365 mm tipo empuje.

Sistema de enfriamiento: Radiador de 805 in². Embrague de ventilador viscoso Eaton.

Dirección: TRW THP-45 Power Steering.

Filtro de aire: Donaldson montado en la pared de fuego.

Transmisión: Mercedes-Benz Modelo MBT520S-6D de (6) velocidades. Opcional: Eaton Fuller y Allison.

Eje delantero: Propietario DA-F-8.0-2 de 8,000 lb (3,629 Kg).

Eje trasero: Propietario DA-RS-17.5-2 de 17,500 lb (7,938 Kg).

Frenos delanteros: Detroit AF-8.0-3 8,000 lb (3,628 Kg). Relación 4.31:1 Opcional: Meritor.

Frenos traseros: Detroit ARS-17.5-2 17,500 lb (7,937 Kg). Relación 4.31:1. Opcional: Meritor.

Suspensión delantera: 8,000 lbs/3,636 Kg. Freightliner tipo Taperleaf con amortiguadores telescópicos.

Suspensión trasera: 18,000/8,182 Kg. lbs tipo Multileaf Spring Suspensión 52 " con muelle auxiliar.

Distancia entre ejes: 192 plg (4,877 mm).

Tanque de combustible: Tanque de aluminio de 30 Galones (113 litros). Montado al lado derecho. Sistema de combustible Equiflo.

Llantas delanteras: Michelin XZE 255/80R 22.5 14 capas Opcional: Goodyear.

Llantas traseras: Michelin XZE 255/80R 22.5 14 capas Opcional: Goodyear.

Bastidor: Largueros tipo "C" 9/32" x 3-7/16" x 10-1/16" (7.14 mm x 87.3 mm x 255.58 mm). Esfuerzo de cedencia de 80 KPSI. Resistencia a la flexión (RBM) de 1'006,000 lb-in.

Escape: Silenciador horizontal individual (simple) con tubo de escape posterior horizontal, instalado en el lado derecho.

Especificaciones técnicas de los remolques

Modelo :ATA 18000 SR

Max . Anchura : 2.600 mm

Min. Altura : 3.730 mm

Altura de inclinación: 4.900 mm

Longitud total : 11.100 mm

Peso : 8.300 Kg

Peso total (ensamblado): 16.100 Kg

Calibre estándar: 2.000 mm
Capacidad de volumen: 53 m³
Capacidad de carga: 25 ton
Potencia del tractor Requerido 280 Hp



Figura 8. Remolques en pleno proceso de carga.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Tiempos del personal / maquinaria en las operaciones de cosecha.

El estudio de tiempos y movimientos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, realizada en condiciones determinadas y en la que se analizan los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida (TEJADA-DÍAZ *et al.*, 2017).

MATOS-RAMÍREZ (2014) manifiesta que los tiempos que insumen las operaciones involucradas en la cosecha, transporte y recepción en fábrica, representan indicadores que a la larga posibilitan explotar con mayor efectividad estos medios de producción; para ello hace una discriminación muy detallada de los tiempos, como queriendo ajustarlos individualmente a efectos de mejorar cada componente mecánico del proceso. El

presente estudio, que es a nivel exploratorio, más bien, trata de conjuntar los elementos para observar sus incidencias en cada etapa del proceso.

Las principales técnicas que se utilizaron en la obtención de datos del trabajo de campo en la presente investigación fueron: Estudio de tiempos con cronómetro, métodos de observación instantáneos (muestreo del trabajo), algunas normas predeterminadas de tiempos y movimientos, (MTM: Medición de tiempos y movimientos; MODAPS-**Modular Arrangement of Predetermined Time Standards**: Arreglo modular de tiempos estándar predeterminados), empleo de películas, síntesis de datos tipo y evaluación analítica (experiencia personal).

En una primera etapa se hizo un reconocimiento del trabajo realizado en cada una de las operaciones de cosecha, con la finalidad de caracterizar cada uno de los tiempos empleados. Se hicieron varias observaciones de campo y se convino en asignar un identificador para cada tipo de tiempo que se presenta en el proceso de cosecha, estos son:

Te: Tiempo efectivo, es el tiempo que emplea el cortador o arrumador-cargador en realizar efectivamente el corte o el arrume y carga, respectivamente.

Tp: Tiempo perdido, debido a detenciones no previstas durante el trabajo tales como ajustes, averías, atascamientos, descanso y otros que no son parte inherente al trabajo realizado.

Tv: Tiempo vacío, empleado en lugares no trabajados, y cualquier otro tiempo que sí es parte de la operación pero que no es ni tiempo efectivo ni perdido.

Tt: Tiempo total, o tiempo operativo, es el tiempo total empleado en ejecutar toda la operación.

dem: Tiempo de las demoras, corresponde al tiempo que se pierde en el trabajo de los vehículos de transporte.

3.2.2. Toma de muestras y discriminación de los tiempos de evaluación

Se utilizaron planos de ubicación de los campos y cuarteles para identificar las áreas a evaluar. En cada campo seleccionado se evaluaron las operaciones de cosecha en varios turnos hasta terminar toda el área del campo a cosechar. Con la finalidad de elegir aquellos representativos para la toma de muestras, se tomaron parcelas al azar dentro del cuartel seleccionado con una dimensión de 36 m por 48 m cada una, aproximadamente.

Para el corte, se eligió al azar una cuadrilla y se tomaron los tiempos empleados en cada actividad durante toda la jornada de trabajo, equivalente a la cosecha de 9 ó 10 toneladas de caña por cortador, realizadas en un promedio de 8 horas. En esta evaluación se ha considerado como tiempo efectivo (Te) a aquél tiempo que el cortador emplea para cortar efectivamente la caña. Por observación previa y directa, se determinó que cada 4 horas en promedio, el cortador afila, toma agua y micciona una sola vez; estos periodos, si bien es cierto no aportan trabajo efectivo, no se pueden eliminar porque se deben a una respuesta fisiológica al mismo trabajo y no debidos a malas prácticas o hábitos del cortador; por lo tanto, estos eventos se consideran como tiempos vacíos (Tv), con la salvedad que los tiempos que aparezcan más allá de esa convención se contabilicen como tiempos perdidos (Tp) debidos a malos hábitos del cortador o a interrupciones no previstas. También se han considerado tiempos vacíos a los cambios de gavilla.

Para el arrume-carguío se tomaron los tiempos de evaluación para el llenado de 04 trailers de dos carretas cada uno y de una capacidad máxima de 45 toneladas. Se ha considerado como tiempo efectivo (Te), igual que en el caso del corte, aquél en que el arrumador-cargador está arrumando o cargando la caña; los tiempos vacíos (Tv) son aquellos que la máquina utiliza para acomodar la carga, retroceder y acomodarse, y para la reubicación y salida de trailers. El primer ingreso desde la carretera al campo y habilitación del campo a cosechar aparece una sola vez por cada campo, el resto de tiempo improductivo es tiempo perdido (Tp).

El transporte se evaluó controlando los tiempos empleados por los trailers en recibir la carga, ir al ingenio, descargar y regresar vacío al campo para el siguiente llenado. En este caso, se deben identificar datos como: producción, número de vehículos empleados en el transporte, velocidades de ida y retorno del campo al ingenio y el tiempo de las demoras; en este sentido, se han discriminado en la secuencia a cómo ocurre el transporte, los siguientes tiempos de evaluación: 1) recorrido del campo a carretera, 2) parada para recortar cañas que sobresalen, 3) recorrido en carretera del campo al ingenio, 4) pesaje, espera y descarga, 5) recorrido de retorno en carretera del ingenio al campo, 6) ingreso al campo, 7) espera hasta el siguiente turno y 8) carga del tráiler.

En el **Tabla 4** del siguiente capítulo, se encuentran los datos de tiempos y movimientos del personal/maquinaria tomados en campo para cada una de las operaciones realizadas en la cosecha.

3.2.3. Análisis estadístico de los datos de campo

Los datos de corte y arrume-carguío se analizaron con la técnica de comparación de medias de los datos obtenidos de 3 pruebas para cada tipo de tiempo, por cada actividad realizada en cada operación en 7 campos seleccionados. Se obtuvo la desviación estándar y los coeficientes de variabilidad.

Para el caso del transporte se recurrió al método de regresión lineal, con el que se evaluó la distancia de ida y retorno del campo al ingenio vs el tiempo empleado en dichos recorridos, con la finalidad de encontrar la relación de estos pares de datos.

3.2.4. Fórmulas empleadas para la evaluación de operaciones y determinación de capacidades y rendimientos

Frecuentemente las empresas confunden los términos con los que corrientemente se realizan controles del trabajo producido por sus trabajadores, incluso por la maquinaria involucrada en un determinado proceso. A menudo se confunde producción con productividad, eficiencia con eficacia y efectividad, capacidad con rendimiento, etc. Por eso, es necesario explicar y referenciar lo que queremos decir con cada término.

Para el presente estudio, rendimiento es el beneficio proporcional de un elemento del proceso frente al proceso total, se le expresa en porcentaje, y a menudo se le vincula con la eficiencia y la efectividad. Capacidad es la cantidad producida en la unidad de tiempo.

3.2.4.1. Capacidad y rendimiento de las operaciones de corte y arrume-carguío de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Aun cuando el corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) se hace a mano y el arrume-carguío con maquinaria, con el criterio de que las unidades en que se expresan el rendimiento y la capacidad son independientes de la fuente de potencia que se utilice, ambas operaciones se han evaluado con las mismas fórmulas, expuestas en el ítem 2.3.1 de la presente tesis y que itenen como base teórica los trabajos de RODRIGUEZ y CHACÓN (1997); RODRÍGUEZ y SÁNCHEZ (2006) y CARVAJAL-IRRIBARREN (2015):

- a. Rendimiento del tiempo o Eficiencia de campo (R_t , %):

$$R_t(\%) = \frac{T_e}{T_t} \times 100 \dots\dots\dots 3.1$$

- b. Rendimiento de trabajo (R_w , %):

$$R_w(\%) = \frac{(T_e + T_v)}{T_t} \times 100 \dots\dots\dots 3.2$$

c. Capacidad teórica (Ct, ton/h):

$$Ct = \frac{Q}{Te+Tv} \dots\dots\dots 3.3$$

Q: Toneladas cosechadas

d. Capacidad efectiva normal (Cen, ton/h)

$$Cen \left(\frac{ha}{h} \right) = \frac{Ct * Rw * Efh}{100} \dots\dots\dots 3.4$$

Efh: Eficiencia horaria.

3.2.4.2. Capacidad del transporte

Igualmente, en la sección 2.3.1 se han mostrado las fórmulas para el cálculo de la capacidad efectiva de un tráiler, la fórmula de abajo incluye la modificación sugerida por (RODRÍGUEZ, 2018) para nuestro caso particular de transporte.

$$Ce = \frac{Q * N}{\left(\frac{d}{Vi} + \frac{d}{Vr} \right) + dem} \dots\dots\dots 3.5$$

Ce : Capacidad efectiva de la flota utilizada (ton/h)

Q : Carga de cada vehículo (ton)

N : Número de vehículos empleados.

d : Distancia entre el lugar de carga y el de descarga (Km)

Vi : Velocidad de ida (Km/h)

Vr : Velocidad de retorno (Km/h)

dem : Demoras debido a esperas, carga, descarga y otros (h)

3.2.5. Requerimiento de mano de obra para el corte manual

La fórmula 3.6, propuesta por RODRÍGUEZ (2018), permite calcular el requerimiento de cortadores para la labor de cosecha a mano:

$$N^{\circ} \text{cortadores/día} = \frac{Md}{Ce * Ht * Nt * Efh} \dots\dots 3.6$$

Md: Capacidad de molienda del ingenio (ton/día)

Ce: Capacidad efectiva de corte (ton/h)

Ht: Número de horas por turno (h)

Nt: Número de turnos

Efh: Eficiencia horaria ($50/60=0.83$)

3.2.6. Requerimiento de maquinaria

Las unidades motrices requeridas para las labores de cosecha se calculan teniendo en cuenta una molienda diaria promedio de 3,000 toneladas por día (AGROPUCALÄ, 2017). Se ha considerado, además, una eficiencia horaria (Efh) o rendimiento horario de $50/60=0.83$ (RODRÍGUEZ, 2018).

3.2.6.1. Cálculo de las unidades de arrume-carguío

En el cálculo del número de unidades para el arrume y carguío (Nac), se ha empleado la siguiente fórmula (RODRÍGUEZ, 2018):

$$Nac = \frac{Md}{Ce*Nh} (N^o \frac{unid}{día}) \dots\dots 3.7$$

Donde:

Md : Molienda diaria (ton/día).

Ce : Capacidad efectiva normal (ton/h)

Nh : Número de horas diarias de trabajo efectivo (h/día)

3.2.6.2. Cálculo de las unidades para el transporte

RODRÍGUEZ (2018) sugiere la siguiente fórmula para calcular las unidades de transporte (Ntr):

$$Ntr = \frac{Md}{Q*Nv} (N^o \frac{unid}{día}) \dots\dots\dots 3.8$$

Donde:

Md : Molienda diaria (ton/día).

Q : Carga transportada por el vehículo en cada viaje (ton/viaje).

Nv : Número de viajes realizados por día.

$$Nv = \frac{Tw}{Ts} (\frac{viajes}{día}) \dots\dots\dots 3.9$$

T_w : Tiempo de trabajo diario efectivo del transporte (h/día)

T_s : Tiempo del ciclo estándar del transporte (h/viaje)

3.2.7. Costos operativos de la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

La metodología empleada para evaluar los costos operativos de las operaciones de cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) ha sido expuesta ampliamente en la sección 2.4. Para el presente estudio se han determinado los costos operativos a través de las siguientes fórmulas, sugeridas por RODRÍGUEZ y CHACÓN (1997):

- a. Valor de reventa como porcentaje del precio de compra, $VR(\%P)$

- Para el arrumador-cargador y el tráiler:

$$VR(\%P) = 0.782 * (0.825)^{[(VU + UA/1000)/2]}$$

- Para el aditamento arrumador-cargador y remolque:

$$VR(\%P) = 0.60 * (0.885)^{[(VU + UA * VU/200)/2]}$$

- b. Reparación anual como porcentaje del precio de compra, $RA(\%P)$:

- Para el arrumador-cargador y el tráiler:

$$RA(\%P) = (R1 * ((VU + UA * VU/1000)/2)^{R2}) / VU$$

- Para el aditamento arrumador-cargador y remolque:

$$RA(\%P) = (R1 * (UA * VU/1000)/2)^{R2} / VU$$

- c. Costos fijos totales (CFT, en soles/año): $CFT = D + I + RSI$

- Depreciación (D):

$$D = (P - VR * P) / VU$$

- Interés (I):

$$I = ((P + VR * P) / 2) * i$$

Donde i es la tasa de interés anual (%)

- Resguardo, seguros e impuestos (RSI):

$$RSI = 0.01 * P$$

- d. Costos fijos totales por hora (CFh, en soles/h):

$$CFh = CFT / UA$$

- e. Costos variables por hora (CVh, en soles/h)

- Reparación y mantenimiento (RyM):

$$RyM = (P * RA) / UA$$

- Costo de combustible (Cc)

$$Cc = (2.64 * fpu + 3.91 - 0.203 * \sqrt{738 * fpu + 173}) * pd * Pr * fpu$$

fpu: factor de potencia utilizada

pd: precio del diésel (soles/litro)

Pr: potencia del vehículo utilizado

- Costo de lubricantes (Cl)

$$Cl = 0.15 * Cc$$

f. Costo operativo total (CTh, soles/h):

$$CTh = CFh + CVh$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tiempos del personal/maquinaria que intervienen en las operaciones de cosecha

Habiendo categorizado en la sección 3.2.1. los tipos de tiempos básicos que se presentan en las distintas operaciones de cosecha, que a su vez permiten el cálculo de rendimientos y capacidades de dichas operaciones, en la **Tabla 4** se muestran los componentes de los tiempos efectivo (T_e), vacío (T_v) y perdido (T_p) para las operaciones de corte y arrume-carguío, distribuidos en 3 pruebas por cada campo; en el caso del transporte se han contabilizado tres tipos de tiempos: El tiempo que emplea el tráiler en ir desde el campo al ingenio o tiempo de ida (T_i), el que emplea en retornar (T_r) y el tiempo de las demoras (dem). Las fuentes de variabilidad que pudieron haber afectado las operaciones de cosecha son: La variedad de caña, con relación a la dureza, que podría dificultar la labor de corte; la textura del suelo que afectaría el trabajo del cortador y de la maquinaria, básicamente en “Las Vegas” que son terrenos inundables ubicados en depresiones y en las riberas de los ríos; el número de cortes, por las enredaderas que se presentan cuando la cosecha es de caña planta. Sin embargo, las condiciones que se presentaron en la etapa de toma de datos y evaluación de las operaciones de campo en el presente trabajo hicieron desestimar estas fuentes por lo siguiente:

- a) Las variedades de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) fueron de una dureza similar, que no afectaron el ritmo de corte, esto lo corrobora la poca variabilidad de los tiempos efectivos en esta labor.
- b) “Las Vegas” evaluadas son áreas cercanas a la carretera que no alteraron fundamentalmente las labores de cosecha, igualmente, basado en una poca variabilidad de los datos de campo en las tareas de corte y arrume-carguío.
- c) El número de cortes tampoco constituyó una dificultad porque los campos evaluados estaban a partir del segundo corte; es decir, no se trataba de caña planta.

Tabla 4. Base de datos de tiempos (minutos) y movimientos en las operaciones de cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Operación	La Francisca			Caravaca			Vega Santa Isabel			Vega Ramos			Vega entre Ríos			El Faycal			La Rivera		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Corte																					
Corte efectivo (Te)	410.0	407.0	415.0	470.0	460.0	455.0	444.0	450.0	401.0	457.0	460.0	465.0	458.0	450.0	460.0	481.0	460.0	473.0	437.0	445.0	440.0
Tomar agua (Tv)	4.5	6.0	5.0	10.0	8.0	7.0	6.5	5.0	6.0	7.5	9.0	7.0	7.5	6.0	5.0	4.5	5.0	4.0	7.0	6.0	5.0
Miccionar (Tv)	4.5	4.0	5.0	6.0	5.0	6.0	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0	5.0	5.5	5.0	4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	4.0	4.0
Afilar machete (Tv)	7.5	9.0	8.0	5.0	7.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	7.0	6.0	4.0	6.0	5.0	3.0	5.0	4.0
Cambio de gavilla (Tv)	7.5	7.0	8.0	5.0	6.0	5.0	5.0	6.0	5.0	5.0	5.0	6.0	5.0	6.0	5.0	6.0	7.0	7.0	7.0	8.0	6.0
Descanso y otros (Tp)	24.0	21.0	18.0	24.0	20.0	25.0	17.0	20.0	18.0	20.0	17.0	19.0	29.0	25.0	28.0	7.0	10.0	8.0	24.0	20.0	22.0
Arrumado y Carguío																					
Arrume + Carga de caña cortada (Te)	208.0	215.0	210.0	110.0	105.0	118.0	213.0	210.0	215.0	245.0	247.0	250.0	302.0	300.0	310.0	225.0	230.0	228.0	205.0	210.0	207.0
Carga de paquetes de recojo (Te)	27.0	25.0	23.0	13.0	10.0	15.0	40.0	35.0	33.0	46.0	38.0	43.0	48.0	45.0	50.0	28.0	25.0	27.0	36.0	33.0	35.0
Ingreso y habilitación de camino (Tv)	15.0	12.0	14.0	22.0	20.0	21.0	10.0	8.0	9.0	10.0	11.0	13.0	15.0	13.0	15.0	11.0	10.0	12.0	10.0	9.0	11.0
Acomodo de carga carreta (Tv)	18.0	15.0	13.0	7.0	5.0	6.0	15.0	13.0	15.0	14.0	15.0	12.0	14.0	15.0	13.0	16.0	15.0	17.0	15.0	13.0	15.0
Reubicación y salida de tráilers (Tv)	32.0	28.0	30.0	15.0	11.0	13.0	30.0	32.0	29.0	33.0	31.0	30.0	38.0	35.0	40.0	37.0	35.0	40.0	29.0	26.0	28.0
Otras interrupciones (Tp)	15.0	18.0	20.0	35.0	25.0	30.0	15.0	18.0	20.0	17.0	20.0	18.0	33.0	30.0	32.0	17.0	15.0	20.0	29.0	30.0	25.0
Transporte																					
Recorrido en carretera al ingenio (Ti, h)	0.18	0.20	0.17	0.27	0.25	0.23	0.07	0.05	0.07	0.17	0.15	0.18	0.28	0.27	0.25	0.83	0.75	0.83	0.85	0.85	0.83
Retorno del ingenio al campo (Tr, h)	0.07	0.08	0.07	0.12	0.13	0.12	0.02	0.03	0.03	0.07	0.08	0.07	0.13	0.13	0.12	0.38	0.50	0.60	0.50	0.50	0.45
Ingreso al campo (dem)	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	3.0	2.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	3.0
Recorrido del campo a carretera (dem)	6.0	5.0	6.0	9.0	8.0	9.0	6.0	4.0	5.0	3.0	4.0	4.0	6.0	4.0	5.0	9.0	7.0	5.0	9.0	2.0	3.0
Parada para recortar cañas (dem)	3.0	4.0	3.0	4.0	5.0	4.0	6.0	7.0	8.0	3.0	5.0	5.0	5.0	7.0	6.0	3.0	6.0	5.0	3.0	5.0	4.0
Pesaje, espera, descarga y salida (dem)	46.0	43.0	45.0	109.0	107.0	5.0	51.0	94.0	87.0	109.0	155.0	110.0	111.0	115.0	110.0	46.0	55.0	79.0	55.0	87.0	84.0
Espera hasta siguiente turno (dem)	153.0	145.0	150.0	90.0	85.0	87.0	40.0	33.0	45.0	75.0	78.0	77.0	155.0	163.0	150.0	8.0	10.0	5.0	20.0	23.0	25.0
Carga de caña (dem)	63.0	60.0	65.0	61.0	58.0	60.0	55.0	60.0	57.0	64.0	61.0	60.0	55.0	47.0	50.0	53.0	45.0	40.0	57.0	43.0	46.0

Te: Tiempo efectivo

Tv: Tiempo vacío

Tp: Tiempo perdido

dem: Tiempo de las demoras

Ti: Tiempo de ida al ingenio en el transporte

Tr: Tiempo de retorno al campo en el transporte

P1, P2, P3: Pruebas de campo

4.1.1. Análisis estadístico de los datos

En la **Tabla 5** se presentan los promedios de los tiempos y movimientos, la desviación estándar (sd) y el coeficiente de variabilidad (cv) como indicadores de la homogeneidad o variabilidad de los datos.

El criterio adoptado para el análisis de los datos en la presente investigación, por el tipo de estudio que es descriptivo y de diagnóstico, por las condiciones en que fue realizado y porque no se trata de una evaluación relacionada con las ciencias exactas, es que los datos tomados pueden considerarse como aceptables si los márgenes de su coeficiente de variabilidad van hasta 35%, pero valores de 50% o más son menos consistentes porque representarían datos muy dispersos y alejados de la media (LINDO, 2018).

Para la labor de corte de caña, el coeficiente de variabilidad se encuentra entre 5% y 30%, correspondiendo el primer valor al corte efectivo y el segundo al descanso y otros. La variabilidad observada podría deberse a: a) El consumo de agua y descanso de los cortadores es variado por el cansancio, estado de salud y condiciones climáticas; b) No existen urinarios en lugares específicos y señalizados para que los cortadores puedan miccionar; c) Destreza variable en el afilado del machete y d) El tiempo de traslado de los cortadores entre las gavillas es variable.

Para la operación de arrume-carguío, el coeficiente de variabilidad está entre 25% y 35%, correspondiendo el primer valor al arrume más carga de caña cortada y el segundo valor a carga de paquetes de recojo, esta podría deberse a: a) Obstáculos en el arrume, ocasionado por piedras, mala ubicación de las cañas cortadas; b) Vías de acceso a los cuarteles en mal estado y c) Inestabilidad del aditamento cargador.

En la operación de transporte, el coeficiente de variabilidad está entre 13% y 96%, correspondiendo el primer valor a la carga de caña y el segundo valor al retorno del ingenio al campo, esta variación podría deberse a: a) Poco mantenimiento de las unidades de transporte de la caña, b) Vías internas de los cuarteles en mal estado, c) No existe un plan estructurado de provisión de las unidades de transporte, d) Distancia variable de los campos al ingenio y e) Tendencia de los conductores a hacer recorridos a mayor velocidad cuando la distancia del campo al ingenio es mayor, los que a su vez están afectados por la velocidad de molienda.

Observando la **Tabla 5**, la alta variabilidad encontrada en los tiempos empleados en el transporte corresponde a los recorridos de ida y retorno del campo al ingenio (82% y 96%) y a las esperas tanto para la carga en el campo a partir del siguiente turno (73%) como a la espera para la descarga en el ingenio (44%). En el caso de las esperas, la alta

Tabla 5. Promedios de tiempos y movimientos y análisis estadístico.

Operación	Francisca	Caravaca	Vega Santa Isabel	Vega Ramos	Vega Entre Ríos	Faycal	La Rivera	Análisis Estadístico		
								Promedio	sd	cv
Corte										
Corte efectivo (Te, min)	410.7	461.7	431.7	460.7	460.7	471.333	440.7	447.52	22.8	5%
Tomar agua (Tv, min)	5.2	8.3	5.8	7.8	7.8	4.5	6.0	6.26	1.56	25%
Miccionar (Tv, min)	4.5	5.7	3.2	5.2	5.2	4.2	3.7	4.45	1.00	22%
Afilar machete (Tv, min)	8.2	5.7	4.7	5.7	5.7	5.0	4.0	5.60	1.50	27%
Cambio de gavilla (Tv, min)	7.5	5.3	5.3	5.3	5.3	6.7	7.0	6.07	1.05	17%
Descanso y otros (Tp, min)	21.0	23.0	18.3	18.7	18.7	8.3	22.0	19.81	5.86	30%
Duración de la operación (h)	7.6	8.5	7.8	8.4	8.4	8.3	8.1	8.2	0.3	4%
Arrumado y Carguío										
Arrume + Carga de caña cortada (Te, min)	211.0	111.0	212.7	247.3	247.3	227.7	207.3	217.29	54.85	25%
Carga de paquetes de recojo (Te, min)	25.0	12.7	36.0	42.3	42.3	26.7	32.14	32.14	11.36	35%
Ingreso y habilitación de camino (Tv, min)	13.7	21.0	9.0	11.3	11.3	11.0	10.0	12.90	3.96	31%
Acomodo de carga carreta (Tv, min)	15.3	6.0	14.3	13.7	13.7	16.0	14.3	13.38	3.40	25%
Reubicación y salida de tráilers (Tv, min)	30.0	13.0	30.3	31.3	31.3	37.3	27.7	29.62	8.00	27%
Otras interrupciones (Tp, min)	17.7	30.0	17.7	18.3	18.3	17.3	28.0	22.95	6.67	29%
Duración de la operación (h)	5.2	3.2	5.3	6.1	6.1	5.6	5.4	5.3	1.0	18%
Transporte										
Recorrido en carretera al ingenio (Ti, min)	11.0	15.0	3.7	10.0	10.0	41.7	40.0	22.2	18.2	82%
Retorno de ingenio al campo (Tr, min)	4.3	7.3	1.8	4.3	4.3	24.0	23.3	12.0	11.5	96%
Ingreso al campo (dem, min)	3.7	4.7	2.7	3.7	3.7	3.3	3.7	3.57	0.75	21%
Recorrido del campo a carretera (dem, min)	5.7	8.7	5.0	3.7	3.7	7.0	4.7	5.67	2.15	38%
Parada para recortar cañas (dem, min)	3.3	4.3	7.0	4.3	4.3	4.7	4.0	4.81	1.47	31%
Pesaje, espera, descarga y salida (dem, min)	44.7	107.0	90.7	124.7	124.7	62.0	85.3	81.10	35.31	44%
Espera hasta siguiente turno (dem, min)	149.3	87.3	39.3	76.7	76.7	7.7	22.7	77.00	55.91	73%
Carga de caña (dem, min)	62.7	59.7	57.3	61.7	61.7	46.0	48.7	55.24	7.33	13%
Duración de la operación (h/viaje)	4.7	4.9	3.5	4.8	4.8	3.3	3.9	4.36	0.7	17%

Te: Tiempo efectivo

Tv: Tiempo Vacío

Tp: Tiempo perdido

Ti: Tiempo de ida en el transporte

Tr: Tiempo de retorno en el transporte

dem: Tiempo de las demoras

Promedio: Promedio de tiempos por campo

sd: Desviación estándar

cv: Coeficiente de variabilidad

variabilidad podría deberse a que el primer tráiler prácticamente no tiene un margen de espera para la carga de caña en el campo, pero este tiempo se va incrementando para los siguientes tráileres conforme avanza la jornada de trabajo, lo mismo sucede en el momento de la descarga de la caña en el ingenio; por lo que es necesario hacer un estudio más detallado de esta actividad a efecto de disminuir estos tiempos a través de métodos específicos como la “teoría de colas” por ejemplo. Para los tiempos de transporte en carretera, al ser variables las distancias, es lógico que sus coeficientes de variabilidad sean bastante altos. Sin embargo, obteniendo el promedio de los tiempos estándar por viaje para cada distancia y luego calculando el coeficiente de variabilidad de esos promedios, se obtiene un valor de 17%, que está dentro del margen aceptable convenido para el presente estudio y sugerido por LINDO (2018); además, es una respuesta a la coherencia de los datos. En este análisis también se obtiene un tiempo estándar de 4.36 hora/viaje, dato que se utilizará después en el cálculo del número de unidades requeridas para el transporte.

Asimismo, para el transporte, con la finalidad de ver el grado de dependencia que hay entre las distancias y los tiempos de ida y retorno del campo al ingenio, también se ha realizado un análisis de regresión lineal simple para los pares de datos de distancia de ida y vuelta versus el tiempo empleado en los recorridos.

En la **Tabla 6**, se puede observar que existe variabilidad significativa del tiempo de recorrido en carretera del campo al ingenio o tiempo de ida (Ti) con respecto a las distancias, con un 95% de confiabilidad.

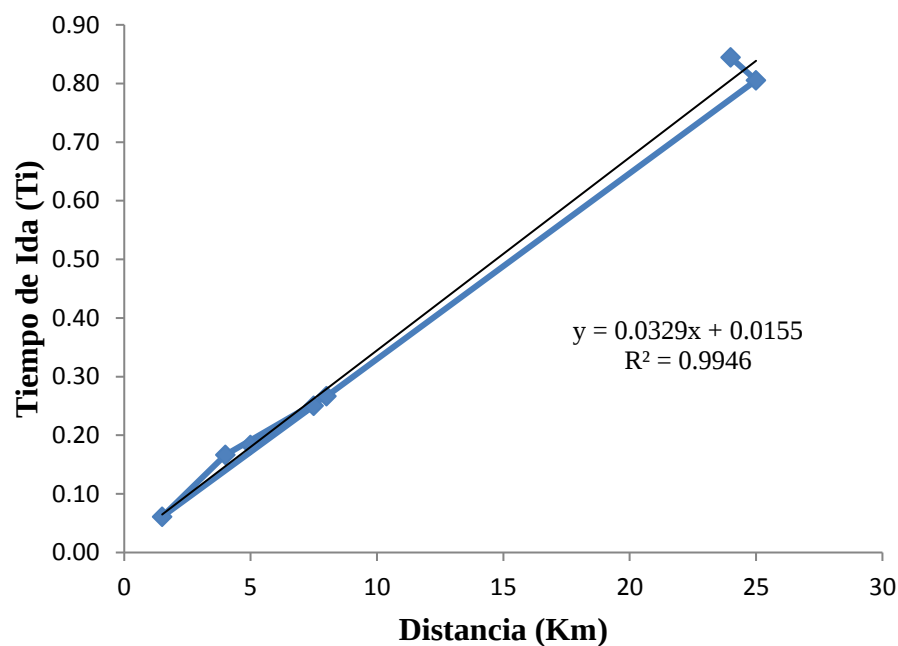
Las líneas de regresión se muestran en la **Figura 9**, donde podemos observar que existe correlación entre el recorrido en carretera del campo al ingenio o tiempo de ida (Ti) y la distancia, generando un coeficiente de determinación (R^2) de Pearson de 0.9946, lo cual indica fuerte relación positiva entre Ti y la distancia. Con respecto a la Intercepción, cuando la distancia es 0 km, el recorrido Ti es de 0.0155 horas, es decir a distancia cero hay un valor de tiempo; asimismo, si la distancia incrementa 1 km, el valor del Tiempo de ida (Ti) se incrementa adicionalmente en 0.0329 horas en promedio.

Significa que, cuando se tienen que cosechar campos muy alejados, una flota específica de tráileres tendría menor capacidad de transporte, lo que se traduciría en una provisión cada vez menor de caña al ingenio; por eso, es usual en Agropucalá que la programación de cosecha sea de campos de corta, media y larga distancia en un mismo periodo de tiempo para compensar esta variabilidad. Este patrón de cosecha es una práctica común en las empresas azucareras del norte, probablemente se deba al razonamiento empírico

Tabla 6. ANVA del tiempo de ida (Ti) y la distancia del campo al ingenio

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Regresión	1	0.6082	0.6082	920.74	<0.01*
Residuos	5	0.0033	0.0007		
Total	6	0.6115			

*: Diferenciación estadística a un nivel de probabilidad $\alpha=0.01$

**Figura 9.** Curva de regresión del tiempo de ida (Ti) vs distancia

de que una misma flota debe abastecer al ingenio permanentemente y se tienen que combinar la cosecha de campos de diferente distancia; sin embargo, también es común observar colas esperando turno tanto en la carga de caña en el campo como en la descarga en el ingenio, con el agravante adicional de que las demoras exageradas en el transporte pueden ocasionar una reversión permanente del nivel de sacarosa. En todo caso, lo que no se permite es que el ingenio deje de funcionar por falta de caña. Se dice que es una práctica empírica, porque no se han encontrado evidencias de que el procedimiento empleado sea producto de un trabajo científico; pero funciona, claro dentro de las expectativas que por tradición suele tenerse en esta operación desde las antiguas haciendas azucareras. Por eso, en el presente trabajo, se está recomendando

realizar un estudio más detallado de las demoras que se producen en la carga y en la descarga de caña, con el fin de confirmar esta práctica o arribar a mejores procedimientos.

En la **Tabla 7**, también puede observarse la existencia de variabilidad significativa del tiempo de retorno del ingenio al campo (Tr) debido a la variabilidad de las distancias, con un 95% de confiabilidad.

Tabla 7. ANVA del tiempo de retorno (Tr) y la distancia del ingenio al campo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Regresión	1	0.2389	0.2389	1111.45	<0.01*
Residuos	5	0.0011	0.0002		
Total	6	0.2400			

*: Diferenciación estadística a un nivel de probabilidad $\alpha=0.01$

Las líneas de regresión se muestran en la **Figura 10**, donde podemos observar que existe correlación entre el tiempo de retorno del ingenio al campo (Tr) y la distancia, generando un coeficiente de determinación (R^2) de Pearson cuyo valor fue 0.9955, lo cual indica una fuerte relación positiva entre el retorno del ingenio al campo (Tr) y la distancia. Con respecto a la Intercepción, cuando la distancia es 0 km, el retorno del ingenio al campo (Tr) es de -0.0209 horas. Asimismo, si la distancia incrementa 1 km, Tr se incrementa adicionalmente en 0.0206 horas en promedio.

4.2. Rendimientos y capacidades del personal/maquinaria que intervienen en las operaciones de cosecha

En la **Tabla 8** se puede observar un consolidado de los tiempos y movimientos; pero, además, los resultados de los rendimientos y capacidades del personal/maquinaria que intervienen en la ejecución de las labores involucradas en la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar), por campo.

4.2.1. En la operación de corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

El promedio del rendimiento de tiempo o eficiencia de campo para la labor de corte es de 91%, valor relativamente alto debido a que las pérdidas de tiempo en esta labor son bastante bajas. Se ha observado, asimismo, que el cambio de asignación de la tarea por

cortador ha influenciado grandemente en el incremento de la eficiencia, desde que el cortador tiene que cumplir ahora una tarea de 9 o 10 toneladas por jornada, obligando al cortador a ejecutar la tarea en el menor tiempo posible, lo que a su vez se ve traducida en pérdidas de tiempo menores.

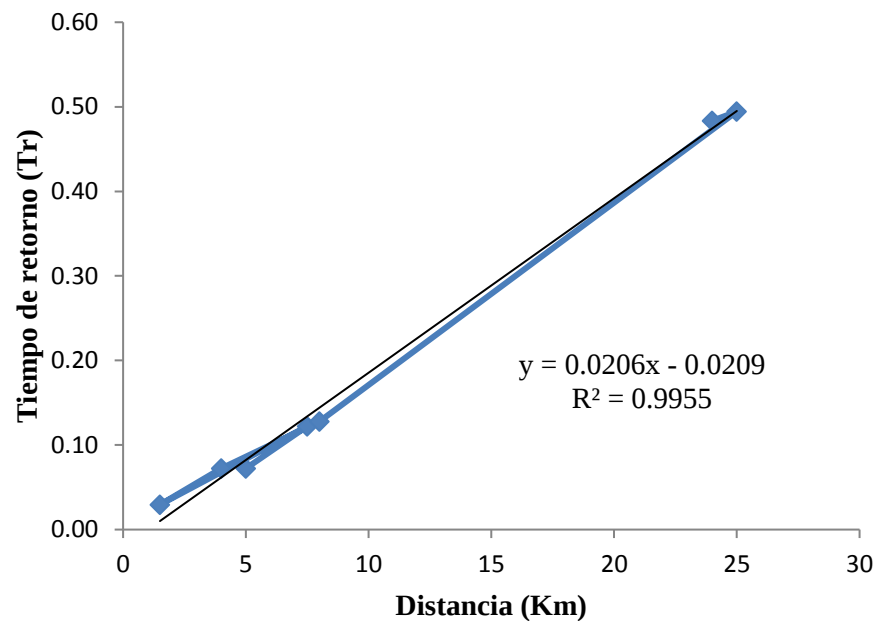


Figura 10. Curva de regresión del tiempo de retorno (Tr) vs distancia

Cabe indicar aquí el hecho de que el personal evaluado corresponde a contratados y no a personal nombrado; estos últimos tienen otro régimen de trabajo, el cual se evalúa en función del día de trabajo y no por tarea. El empleo de la mano de obra nombrada para estas labores se está cada vez dejando de lado por razones obvias, pues distorsiona no solo los datos que evalúan las capacidades y rendimientos sino también las expectativas de producción.

El rendimiento de trabajo en corte sube a 95%, debido a que los tiempos vacíos se han rescatado de los tiempos perdidos como una forma de reproducir el involucramiento del personal de campo (RODRIGUEZ, 2018); esta práctica hace que tengamos una capacidad disminuida, que es lo más prudente en este tipo de trabajos. Si no fuera así, el rendimiento de trabajo baja y la capacidad aumenta engañosamente; pero no se trata de que aumente o baje uno u otro valor sino de que estos cálculos reproduzcan lo que realmente sucede en el campo. En opinión de los expertos de campo de la empresa en

Tabla 8. Rendimientos y capacidades de las labores que se realizan en la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Actividad	N°	Campo	Qp (ton)	D (Km)	Vi (kph)	Vr (kph)	Dem (min)	Nv (N°)	Te (min)	Tv (min)	Tp (min)	Tt (min)	Rt (%)	Rw (%)	Ct (ton/h)	Ce (ton/h)	Cef (ton/h)
Corte (Manual)	1	La Francisca	9.0	5.0	-	-	-	-	410.7	25.4	43.3	479.4	86%	91%	1.24	0.94	-
	2	Caravaca	9.0	7.5	-	-	-	-	461.7	25.0	23.0	509.7	91%	95%	1.11	0.88	-
	3	Vega Sta. Isabel	9.0	1.5	-	-	-	-	431.7	19.0	18.3	469.0	92%	96%	1.20	0.96	-
	4	Vega Ramos	9.0	7.5	-	-	-	-	460.7	24.0	18.7	503.4	92%	96%	1.11	0.89	-
	5	Vega Entre Ríos	9.0	8.0	-	-	-	-	456.0	22.3	27.3	505.6	90%	95%	1.13	0.89	-
	6	El Faycal	9.0	25.0	-	-	-	-	471.3	20.4	8.3	500.0	94%	98%	1.10	0.90	-
	7	La Rivera	9.0	24.0	-	-	-	-	455.0	23.0	29.0	507.0	90%	94%	1.13	0.89	-
Promedios									449.6	22.7	24.0	496.3	91%	95%	1.15	0.91	
Arrume y carguío	1	La Francisca	180.0	5.0	-	-	-	-	235.0	80.0	15.0	330.0	71%	95%	34.29	27.27	-
	2	Caravaca	90.0	7.5	-	-	-	-	123.7	40.0	30.0	193.7	64%	85%	32.99	23.23	-
	3	Vega Sta. Isabel	180.0	1.5	-	-	-	-	248.7	53.6	17.7	320.0	78%	94%	35.73	28.13	-
	4	Vega Ramos	180.0	7.5	-	-	-	-	289.6	56.3	18.3	364.2	80%	95%	31.22	24.71	-
	5	Vega Entre Ríos	180.0	8.0	-	-	-	-	351.7	66.0	31.7	449.4	78%	93%	25.86	20.03	-
	6	El Faycal	180.0	25.0	-	-	-	-	254.4	64.3	17.3	336.0	76%	95%	33.89	26.79	-
	7	La Rivera	180.0	24.0	-	-	-	-	242.0	52.0	28.0	322.0	75%	91%	36.73	27.95	-
Promedios									249.3	58.9	22.6	330.8	74%	93%	32.96	25.44	
Transporte	1	La Francisca	45.0	5.0	27.3	69.8	269.3	48	-	-	-	-	-	-	-	9.49	455.37
	2	Caravaca	45.0	7.5	30	61.6	283.3	17	-	-	-	-	-	-	-	8.84	150.20
	3	Vega Sta. Isabel	45.0	1.5	24.3	50	192.7	32	-	-	-	-	-	-	-	13.62	435.92
	4	Vega Ramos	45.0	4.0	24	55.8	266.7	13	-	-	-	-	-	-	-	9.61	124.91
	5	Vega Entre Ríos	45.0	8.0	30	62.3	335.3	21	-	-	-	-	-	-	-	7.52	157.94
	6	El Faycal	45.0	25.0	31.1	50.5	130.0	21	-	-	-	-	-	-	-	12.98	272.61
	7	La Rivera	45.0	24.0	29	49.7	164.3	12	-	-	-	-	-	-	-	11.11	133.36
Promedios					28	57.1	234.5									10.45	247.19

Qp: Cantidad promedio producida por la operación**D:** Distancia del campo al ingenio**Vi:** Velocidad de ida del vehículo**Vr:** Velocidad de retorno del vehículo**Dem:** Tiempo de las demoras**Nv:** Número de vehículos para el área cosechada**Te:** Tiempo efectivo**Tv:** Tiempo de trabajo en vacío**Tp:** Tiempo perdido**Tt:** Tiempo total de evaluación**Rt:** Rendimiento del tiempo**Rw:** rendimiento de trabajo**Ct:** Capacidad teórica**Ce:** capacidad efectiva individual**Cef:** capacidad efectiva de la flota

este tipo de trabajos, la forma de discriminar los tiempos en la presente investigación cumple con este cometido; sin embargo, en el capítulo VI se está recomendando realizar un trabajo de tiempos y movimientos empleando técnicas específicas para este fin, que nos ayude a fundamentar aún más el criterio tomado en el presente estudio.

Los promedios de capacidad teórica y efectiva para la labor de corte son 1.15 t/h y 0.91 t/h, respectivamente. No se tienen datos publicados, ya sea a nivel de tesis o de trabajos técnicos realizados, sobre evaluaciones de la labor de corte manual de caña quemada en Agropucalá, tampoco en las empresas azucareras del mismo perfil en Perú. La tesis de PANTA-SAMILLÁN (1980) ofrece un dato de capacidad horaria para la operación de corte manual, pero en unidades de toneladas por “ruma”, entendiéndose este término como la cantidad de producto arrumado en un lote, que por la variabilidad del área de los lotes considerados sería inoficioso tratar de realizar comparaciones, por cuanto en el presente estudio las unidades de la capacidad horaria se dan en toneladas por hora. DONIS-GARCÍA (2014) reporta capacidades de 6.23 toneladas por día-hombre para el corte manual de caña quemada en Guatemala el que, considerando una eficiencia horaria de 0.83, resulta en una capacidad aproximada de 0.94 t/h que difiere en 3 centésimas de la capacidad efectiva de 0.91 t/h obtenida en el presente trabajo, máxime si a esto se le agrega la variabilidad que puede introducir el sistema de corte empleado. En el caso de Agropucalá, la tarea asignada es de 9 t/día frente a las 5 t/día mínimas exigidas en Guatemala, lo que de alguna forma le confiere capacidades más altas al primero por el mismo hecho de que los tiempos perdidos y vacíos se reducen.

4.2.2. En la operación de arrume-carguío de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Reportes de la labor de arrume y carguío en Agropucalá y otras empresas azucareras del mismo rubro (PANTA-SAMILLÁN, 1980 y BUSTAMANTE, 1982), hasta antes de la ejecución del presente trabajo, informan que el arrume de caña cortada y la carga a las unidades de transporte se hacían en forma independiente. El arrumado se hacía con un cargador frontal de ruedas con aditamento en el frente que consistía de un chasis que termina en 7 dientes metálicos en forma de “L” y la carga se ejecutaba con grúas de accionamiento mecánico y neumático montadas sobre orugas, con aditamento de garfio tipo araña movidos por poleas; estas máquinas son de desplazamiento lento. Asimismo, BUSTAMANTE (1982) concluye que casi la totalidad de la maquinaria de cosecha de la entonces CAA Tumán Ltda., donde hizo la evaluación, era obsoleta por el exceso de tiempo de uso transcurrido, que en algunos casos supera los 20 años de servicio. Estos hechos no son compatibles a efectos de realizar una comparación con la labor de arrume-carguío que se realiza en Agropucalá, donde

se utiliza una sola máquina para hacer las dos operaciones en forma intermitente, lo cual en cierto modo mejora la eficiencia y la capacidad de esta labor.

En la **Tabla 8**, se observa que el arrumador-cargador de Agropucalá tiene un rendimiento de tiempo promedio (R_t) o eficiencia de campo de 74% y un rendimiento de trabajo (R_w) de 93%, que están dentro de los márgenes aceptables de eficiencia. Aunque $R_w=93\%$ es un poco alto, esto se debe a considerables periodos de tiempos vacíos que ocurren, como ya se explicó; en estos espacios de tiempo no hay trabajo efectivo, pero son parte inherente al trabajo de arrume + carga y actúan positivamente incrementando este resultado, sería un error no tomarlos en cuenta o considerarlos como tiempos perdidos pues por su naturaleza siempre van a estar ahí, es decir no se les puede eliminar como sí es posible hacerlo con los tiempos perdidos, más bien deben ajustarse al mínimo para no resultar en una aparente distorsión de las fórmulas y datos. Observando el mismo cuadro 8, en el campo Caravaca los valores de 64% y 85% para R_t y R_w , respectivamente, disminuyen aproximadamente en un 10% respecto a los otros campos, esto puede deberse a la cantidad de caña producida en ese campo que es la mitad de lo que se produce en los otros campos.

Las capacidades horarias teórica y efectiva obtenidas en esta operación, son 32.96 t/h y 25.44 t/h, respectivamente. Igualmente, un sondeo de opinión entre los capataces, calificados como expertos en este tipo de tareas, indican que estas capacidades reproducen lo que realmente se obtiene en esta labor.

4.2.3. En la operación de transporte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

En la **Tabla 8**, aun cuando se observa una alta variabilidad de los tiempos para cada actividad desarrollada en la operación de transporte, al calcular el coeficiente de variabilidad de los promedios de tiempo que dura el transporte por viaje para todos los campos, este es 17%, el cual está dentro del margen aceptable convenido para el presente estudio (LINDO, 2018), entonces el tiempo del ciclo estándar del transporte es de 4.36 h/viaje como aparece en dicho cuadro.

La capacidad horaria efectiva promedio de los vehículos de transporte empleados en Agropucalá es de 10.45 t/h, tal como se observa en el Cuadro 8, BUSTAMANTE (1982) reporta resultados de capacidad horaria de transporte de 15 t/h en la antigua CAA Tumán Ltda. N°14, pero hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales, primero que la capacidad del tráiler de dos carretas utilizado en Tumán es de 60 toneladas mientras que en Agropucalá es de 45 toneladas y en segundo lugar que en Tumán las distancias evaluadas son menores de 11 km y en Agropucalá algunos campos se encuentra a 25 km de distancia; estas y otras

condiciones de transporte variables, consecuentemente, también hacen variar los resultados, pero que de ninguna manera significan incoherencias sino más bien sustentan los procedimientos empleados en la evaluación realizada en el presente trabajo.

4.3. Requerimientos de personal/maquinaria para las labores de cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Para efecto de los cálculos se ha considerado una capacidad de molienda de 3,000 t/día, que es la producción promedio de la fábrica de Agropucalá.

4.3.1. Número de cortadores por día de molienda.

Los cortadores trabajan un solo turno de 8 horas diarias, con una capacidad efectiva promedio de 0.92 t/h; entonces, aplicando la fórmula 3.6 de la sección 3.2.5, para la capacidad promedio de molienda de 3,000 t/día, se requerirán 491 cortadores de caña por día.

4.3.2. Número de unidades de arrume-carguío por día de molienda.

Aplicando la fórmula 3.7 del capítulo anterior, para una molienda de 3,000 toneladas por día, una capacidad efectiva normal para la operación de arrume-carguío de 25.44 t/h y un número de 20 horas diarias de trabajo efectivo, se requerirán 6 arrumadores-cargadores por día, para cubrir esa demanda de molienda. Se recomienda adicionar una unidad como reserva.

4.3.3. Número de unidades de transporte por día de molienda.

El requerimiento de unidades de transporte de caña se ha calculado empleando las fórmulas 3.8 y 3.9, del capítulo anterior. El criterio de obtener un solo resultado se funda en que el coeficiente de variabilidad del promedio del tiempo del ciclo de transporte es 17%, el mismo que se puede tomar como aceptable. Asimismo, se puede asegurar que el patrón de cosecha es similar todo el año; es decir, se cosechan campos de recorrido corto (hasta 5km de distancia), recorrido medio (entre 5 y 10 km de distancia) y de recorrido largo (mayor de 10km de distancia) en un mismo periodo, por lo que se ha tomado el promedio de tiempo de duración de un viaje, o ciclo estándar, equivalente a 4.36 h/viaje. La demanda de molienda es 3,000 toneladas diarias, la carga transportada por cada tráiler de dos carretas en cada viaje es 45 toneladas, para el tiempo de trabajo efectivo del transporte se ha considerado afectar las 24 horas que tiene el día por la eficiencia horaria y nos da 20 horas por día. Entonces, el número

de tráileres para satisfacer la demanda diaria de molienda de 3,000 toneladas es 15 unidades, más una de reserva.

4.4. Costos operativos de las labores involucradas en la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Las fórmulas mostradas en la sección 3.3 del capítulo anterior, han sido introducidas en una hoja electrónica y se ha obtenido la **Tabla 9**, en el que se pueden observar los costos operativos de las labores que se realizan en el proceso de cosecha. En la hoja electrónica, fuente de la **Tabla 9**, hay celdas que corresponden a datos y celdas de resultados (contienen fórmulas) que interactúan automáticamente para obtener los costos. Así, el corte cuesta 8.65 NS/t ó 7.88 NS/h; el arrume-carguío, 19.17 NS/t ó 487.76 NS/h; y el transporte 51.63 NS/t ó 539.57 NS/h. Estos costos, aparte de las características técnicas y precios de los componentes de la maquinaria y elementos del costo, dependen fundamentalmente de la capacidad efectiva de la operación considerada, de ahí que sea importante mejorar la performance de trabajadores y maquinaria, principalmente en cuanto al tiempo perdido y a las demoras. La importancia de determinar estos costos es que nos permitirían evaluar su comportamiento y ver la incidencia del costo de la cosecha dentro de los costos totales de producción de *S. officinarum* L. (caña de azúcar).

Por otro lado, al estar vinculadas las hojas electrónicas, el administrador de campo podría sugerir cambios en la asignación de tareas, provocar mejoras en el uso de la maquinaria o la utilización de mejores máquinas o mejorar los procedimientos, etc.; entonces, al introducir los datos de estas probables mejoras, las hojas interactuarán y se podrán observar en tiempo real los resultados.

4.5. Sobre la documentación de los datos y uso en tiempo real.

Los datos han sido tabulados y vinculados adecuadamente utilizando el software Excel con la finalidad de que sean recreados por los administradores de campo en procura de reproducir escenarios probables y de esa forma mejorar la performance de personal y maquinaria en las operaciones de cosecha.

Tabla 9. Costos operativos de la cosecha de *S. officinarum* L. (caña de azúcar)

Elementos del costo	Maquinaria		Operaciones		
	Arrumador-Cargador	Trayler	Corte	Arr + Carg	Transporte
	(JOHN DEERE 2254)		(Manual)	(J D 2254)	(ATA 18000 SR)
Potencia al motor (Kw)	149.2	209			
Ancho de trabajo (m)	*	*		*	*
Factor de potencia (N°)		*		0.56	0.56
Velocidad (KPH)	*	*		*	*
Eficiencia de campo (%)	*	*		*	*
Precio de compra (\$)	577500	316140		8500	24750
Valor de reventa (%P)	3.60%	3.60%		0.17%	0.17%
Vida útil (años)	16	16		16	16
Uso anual (horas)	1000	1000		1000	1000
Reparación anual (%P)	16.00%	16.00%		16.00%	16.00%
Interés (%)	0.12	0.12		0.12	0.12
Mano de obra (NS/h)			7.875	8.33	8.33
Precio diésel (NS/l)				3.29	3.29
Costos fijos (NS)					
Depreciación	34793.87	19047.16		530.34	1544.24
Interés	35897.88	19651.53		510.87	1487.53
Resg/Seg/Imp	5775.00	3161.40		85.00	247.50
TOTAL	76466.75	41860.09		1126.21	3279.27
COSTO FIJO (NS/h)	76.47	41.86		1.13	3.28
Máquina				76.47	41.86
Máquina + aditamento				77.59	45.14
Costos variables (NS/h)					
Reparación y mantenimiento	92.40	50.58		1.36	3.96
Combustible				267.89	375.27
Lubricante				40.18	56.29
Máquina + aditamento				401.84	486.10
Costo total maq (NS/h)				479.43	531.24
Capacidad efectiva (ton/h)			0.91	25.44	10.45
Resumen de costos (NS/ton)					
Maquinaria					
Costos fijos				3.05	4.32
Costos variables				15.80	46.52
Total				18.85	50.84
Mano de obra				0.33	0.80
Costo total operación (NS/ton)			8.65	19.17	51.63
Costo total operación (NS/h)			7.88	487.76	539.57

V. CONCLUSIONES

1. Existe variabilidad en los tiempos evaluados en cada operación, principalmente para el transporte; esto, debido a variabilidad considerable de las distancias en que se encuentran ubicados los campos cosechados; sin embargo, estos patrones de cosecha se dan todo el año y es una práctica común en las empresas azucareras del norte de nuestro país.
2. En el transporte, los tiempos son afectados por la velocidad de molienda y el número de unidades disponibles, que incrementan el tiempo de las demoras, lo cual afecta directamente la capacidad de los vehículos de transporte.
3. Las velocidades de transporte son variables debido a una interpretación empírica de los conductores acerca de la incidencia de las distancias y de las necesidades reales de molienda del ingenio sobre la velocidad más adecuada a la que pueden conducir.
4. El rendimiento de tiempo (R_t) para el corte es de 91% y el de trabajo (R_w) es 95% y para el arrume-carguío R_t es 74% y R_w es 93%. Las capacidades efectivas son 0.91 t/h para el corte y 25.44 t/h para el arrume-carguío. La capacidad efectiva promedio del transporte es 10.45 t/h.
5. Para la capacidad de molienda promedio del ingenio de 3000ton/día se requieren 491 cortadores, 7 arrumadores-cargadores y 16 trailers de 45 toneladas cada uno.
6. Los costos operativos son: 8.65 NS/t y 7.88 NS/h para el corte; 19.17 NS/t y 487.76 NS/h para el arrume-carguío; 51.63 NS/t y 539.57 NS/h para el transporte.
7. Se confeccionaron cuatro hojas electrónicas vinculadas para su uso en tiempo real en la administración de las operaciones de cosecha.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Elaborar un análisis más minucioso, empleando los métodos MTM, MODAPTS, GSD, o similares, para categorizar y diferenciar con más exactitud los tiempos vacíos (T_v) y los tiempos perdidos (T_p) en las labores de cosecha, que son fundamentales para calcular los estándares de rendimientos y capacidades para Agropucalá SAA. Para el caso del transporte es necesario analizar las demoras por la teoría de colas o por métodos similares.
- Estudiar las fuentes de variabilidad expuestas en la sección 4.1.1 a fin de identificar la afectación de las mismas en la cosecha de caña.
- Realizar una reevaluación de la operación de transporte, a fin de explicar con mayor detalle la variabilidad encontrada.
- Complementar las hojas electrónicas con un análisis técnico-financiero para todo el proceso productivo, en el que se incluyan los ingresos, a fin de observar la relación beneficio costo.
- Interactuar la información de las hojas electrónicas dentro de un sistema experto.

VII. REFERENCIAS

- AGROPUCALA. (2017). Productos. [En línea]: (<http://agropucala.com/productos>, consultado en diciembre de 2018).
- Alvarez-Cardona, C. A. (2004) Administración de maquinaria agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 258 p.
- Amú-Caicedo, L. G. (2011) Modelo de simulación y optimización para la gestión logística del sistema de abastecimiento de caña en un ingenio Sucro-Alcoholero colombiano. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Industrial. Universidad del Valle, Santiago de Cali-Colombia. 177 p.
- Bernhardt, H. W.; Pillay, V. y Simpson, A. (2000) Impacts of greencane harvesting on sugar factory operation at Sezela. Proc. S. Afr Sug Technol Ass 74: 369–372.
- Bustamante-Míñope, J.B. (1982). Estudio y evaluación técnico económico del sistema de carguío y transporte de la caña de azúcar de la C.A.A. Tumán Ltda. N° 14. Tesis para optar el título de Ing. Agrícola. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Lambayeque, Perú. 101 p.
- Carvajal-Irribarren, D. I. (2015) Evaluación de metodologías de estimación de tiempos de ciclo en minería escondida. Tesis para optar el título de Ingeniero civil de minas-Departamento de Ingeniería de Minas-Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas-Universidad de Chile, 84 p.
- Castillo, R. O. et al (2015) Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE. 9 p.
- Dance, J.J. y Sáenz, D.F. (2016). La cosecha de caña de azúcar: impacto económico, social y ambiental. Dirección de Investigación FCCEF – USMP. Lima, Perú. 18 p.
- Díaz, L.L. y Portocarrero, E.T. (2002). Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Tesis Ing. Agrónomo. Zamorano, Honduras. Universidad Zamorano. 131 p.
- Donis-García, R. J. (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). Tesis presentada para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Rafael Landívar. Guatemala de la Asunción-Campus central. 59 p.
- Frank R. G. (1977) Costos y administración de la maquinaria agrícola. Editorial hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina, 385 p.

- Frank R. G. y Frank L. (2003) El ajuste de los coeficientes de gastos de conservación y reparaciones de las máquinas agrícolas ante cambios de la relación de precios. *Rev. Fac. Agr.* 23(1): 71-75.
- Grisales, J. A. (2006) Diseño e implementación de un sistema de evaluación de la calidad del corte manual de la caña de azúcar en el Ingenio del Cauca, modalidad: Práctica Empresarial. Tesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Estudios Industriales y empresariales. Bucaramanga, Colombia. 126 p.
- INDUSTRIAL PUCALÁ. (2015). Historia. [En línea]: (<http://industrialpucala.com/historia/>, consultado en diciembre de 2018)
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2014). Variedades de caña de azúcar. Plegable N°1. Lambayeque, Perú. 2p.
- Lindo, F. (2018) Comunicación Personal. Docente de la Facultad de Ingeniería e Informática y Sistemas, especialista en Estadística. UNAS, Tingo María, Perú.
- Mantilla, L. (2010) Los sistemas de corte mecanizado de caña de azúcar. Equipos de cosecha. *Revista Técnicaña*, 26:21p. En línea: [http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec no26 2010 p23-26.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec%20no26%202010p23-26.pdf). Consultado en diciembre 2018.
- Matos-Ramírez, N. (2014) Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar en la empresa azucarera “Argentina”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, RNPS-0111. Vol.23, N°2 abril-mayo-junio, pp.27-33.
- Ministerio de Agricultura (MINAG). (2013) Caña de azúcar. Principales aspectos de la cadena agro productiva. Dirección General de Competitividad Agraria, Dirección de Información Agraria, MINAG, Lima, Perú. 155 p.
- Ortiz-Cañavate, J. et al (2012) Las máquinas agrícolas y su aplicación. 7ma. Edición revisada y ampliada, Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 545 p.
- Panta-Samillán (1980) Estudio de la capacidad horaria y máximo rendimiento de la cosecha semimecanizada de caña de azúcar en la Cooperativa Agraria de Producción Tumán Ltda. N° 14. Tesis para optar el título de Ing. Agrícola. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Lambayeque, Perú. 159
- Pino, J. C. (2007) Metodología para la evaluación de cosechadoras de caña de azúcar. Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 151 p.
- Polanco, M. F. (2007) Maquinaria y mecanización agrícola. Módulo de estudio, publicación interna de la Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD). 209 p.

- Rodríguez, S. C. y Chacón V. (1997) Uso de hojas electrónicas en la administración de maquinaria agrícola. *Tropicultura*, revista científica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, volumen IX, N°1 y 2. ISSN 0253-8504. Tingo María, Perú. pp. 7-29.
- Rodríguez, S. C. y Sánchez, H. D. (2006) Requerimientos de maquinaria agrícola: procedimiento paso a paso. Publicación interna-Facultad de Agronomía, UNAS, Tingo María, Perú. 30 p.
- Rodríguez, S. C. (2018) Cátedra de Maquinaria y Mecanización Agrícola. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Huánuco, Perú.
- Tejada-Díaz, N.L., Gisbert-Soler, V. y Pérez-Molina, A.I. (2017). Metodología de estudio de tiempo y movimiento; introducción al GSD. 3C Empresa, investigación y pensamiento crítico. Edición Especial, 39-49. DOI: <http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.39-49/>
- Tischer, I y Carrión, A (2003) La planificación jerárquica y su aplicación a la cosecha de la caña de azúcar en Colombia. *Rev. Ingeniería y competitividad* 4 (2), pp. 42-52.
- Valeiro, A. y Biaggi, M. (2019) Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina. INTA, *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 45, núm. 1, pp. 31-43.
- Vargas, J. (2014) Pérdidas de caña en el campo por efecto de la cosecha mecánica y su proceso de mejora continua en 11 zafras. Central azucarera Tempisque, S. A. Costa Rica. Departamento de Investigación, Central Azucarera Tempisque, S. A. Costa Rica. 12 p.
- Witney, B. D. (1995) *Choosing and using farm machines*. Publisher: Edinburgh, Scotland: Land Technology Ltd. ISBN: 0952559609. 412 p.

ANEXO

GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA LABOR DE COSECHA DE *S. officinarum* L. (CAÑA DE AZÚCAR)

Brasero: Recipiente de metal que funciona como fuente de energía

Calle: Vía de acceso para que los tráileres accedan a los cuarteles.

Campo: Unidades de área compuesta por varios carteles y que definen las unidades de cosecha.

Caña planta: Caña sembrada en campos rehabilitados para tal fin, se refiere a la caña de primer corte.

Cortador: Persona que realiza la labor de corte manual de la caña de azúcar.

Cuadrilla: Conjunto de personas que realizan la cosecha de caña.

Cuartel: Unidad de área en que están divididos los campos, su extensión es variable.

Gavilla: Corresponde a 4 surcos, asignados generalmente a una tarea por cortador.

Jirón: Calle en los cuarteles de caña.

Recojo: Actividad que realizan cuadrillas de 6 obreros generalmente y consiste en ir detrás de la máquina que arruma y carga para reacomodar las varillas de caña en sus respectivas gavillas o en montones independientes para su posterior carga.

Surco: Extensión lineal de tierra sobre la que se siembran los tercios de caña, a una cierta distancia entre puntos de siembra.

Tráiler: Unidad de transporte de la caña de azúcar que consiste, para el caso de Agropucalá, de dos carretas de 22.5 toneladas de capacidad cada una.



Figura 11. Evaluación de corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) en campo “La Francisca”



Figura 12. Observación de relieve del campo después de la cosecha



Figura 13. Engavillado de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) para su recojo en “Vega Ramos”



Figura 14. Supervisión de tesis, Ing. Fausto Silva e Ing. Hugo Cepeda



Figura 15. Supervisión de corte de *S. officinarum* L. (caña de azúcar) del campo “Vega entre Ríos”



Figura 16. Tráiler cargado con *S. officinarum* L. (caña de azúcar) listo para su ida al ingenio



Figura 17. Evaluación de arrume y carga del campo “La Rivera”



Figura 18. Evaluación del carguío y transporte en el campo “Faycal”



Figura 19. *S. officinarum* L. (caña de azúcar) despuntada antes de su traslado al ingenio



Figura 20. Verificación de cuaderno de apuntes por el Ing. Fausto Silva