



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL
MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE CORTE, EN EL
CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Leonel Rodrigo Arana Peña

Asesorado por el MSc. Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL
MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE CORTE, EN EL
CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LEONEL RODRIGO ARANA PEÑA

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDGAR LEONEL ORTIZ CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Soto
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Percy Rolando Díaz Ovalle
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE CORTE, EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 05 de julio de 2013.



Leonel Rodrigo Arana Peña



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0016-2013

Guatemala, 05 de julio de 2013.

Director:
Julio César Campos Paíz
Escuela de Ingeniería Mecánica
Presente.

Estimado Director:

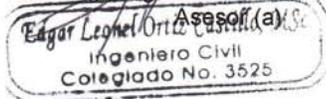
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de el estudiante **Leonel Rodrigo Arana Peña** con carné número **1998-19277**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

MSc. Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo



MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador de Área y de la Directora de la Escuela de Estudios de Posgrado al Diseño de Investigación titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE CORTE EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**, del estudiante **Leonel Rodrigo Arana Peña**, en la modalidad del proceso de graduación de pregrado de la Facultad de Ingeniería, opción Estudios de Postgrado, procede a la autorización del mismo

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio César Campos Paiz'.

Ing. Julio César Campos Paiz

DIRECTOR



Guatemala, julio de 2013



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE CORTE, EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**, presentado por el estudiante universitario Leonel Rodrigo Arana Peña, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy ~~Olympo~~ Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por estar siempre conmigo y ser mí guía en cada paso que doy.

Mis padres

Edgar Arana y María Elena de Arana, por su apoyo incondicional y ejemplo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme cumplir mis metas y nunca abandonarme.
Mi familia	Por su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.
Mis amigos	Por estar allí siempre en las tristezas y alegrías y sobre todo, por el apoyo y afecto brindado.
Facultad de Ingeniería	Por haberme formado profesionalmente, en especial a las escuelas de Ingeniería Mecánica y de Estudios de Posgrado por todo lo enseñado.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma máter.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. OBJETIVOS	7
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
6. ALCANCES DEL TEMA	13
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	15
7.1. Tierras dedicadas al cultivo de caña de azúcar	15
7.1.1. Mecanización de tierras	15
7.1.2. Cultivo	16
7.1.3. Cosecha	16
7.2. Maquinaria de corte de caña	16
7.3. Mantenimiento de maquinaria	17
7.3.1. Tipos de mantenimiento	17

7.3.2.	Costos de mantenimiento.....	18
7.3.3.	Tecnología de punta.....	18
7.4.	Impacto ambiental por contaminación de maquinaria	19
7.4.1.	Tecnología agrícola.....	22
7.5.	Control de desechos	22
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	23
9.	CONTENIDO	25
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	29
10.1.	Fase 1: Investigación preliminar.....	29
10.2.	Fase 2: Recolección de datos e investigación documental	29
10.3.	Fase 3: Análisis de la información.....	31
10.4.	Fase 4: Plan de mitigación	33
11.	RESULTADOS ESPERADOS	35
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	37
13.	RECURSOS NECESARIOS	39
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Alcances.....	13
2.	Variables	30
3.	Categorías.....	32
4.	Análisis de falla sistema eléctrico.....	32
5.	Relación causa-efecto, tipos de fallas	33

TABLAS

I.	Registro de fallas	30
II.	Registro de mantenimiento programado	31
III.	Registro de desechos.....	33
IV.	Cronograma	37
V.	Recursos	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kg	Kilogramo
l	Litro
m	Metro
%	Porcentaje

GLOSARIO

Alzadora	Máquina diseñada para levantar caña quemada cortada y aplicada en chorras desde el suelo, para cargar jaulas que transportan materia prima al ingenio.
Cañal	Extensión de tierra destinada al cultivo de caña de azúcar.
Caña de azúcar	Planta gramínea originaria de la India, con tallo leñoso, hojas largas y flores purpúreas en panoja piramidal
Chorra	Caña cortada y limpiada en su punta en ambos extremos, se le quitan las hojas y raíces para luego ser alineada transversalmente a los surcos en su parte central.
Cosechadora	Máquina especialmente diseñada para cortar caña verde o ya quemada desde su raíz, limpiándola y seccionándola en trozos de 1 pie hasta 2 pies. La carga directamente sobre las jaulas, gansos o carretones, para luego ser transportada como materia prima al ingenio.

Horómetro	Instrumento de medición ubicado en la maquinaria, que permite determinar las horas efectivas de trabajo de la misma.
Mecanización de tierra	Labores efectuadas sobre la tierra a fin de preparar la misma para la siembra de un cultivo.
Orden de trabajo	Documento que indica la necesidad de un trabajo sobre una máquina, y que contiene los datos básicos para su ubicación, operación y del problema, es indispensable para comenzar ejecución del trabajo y retirar repuestos de la bodega.

RESUMEN

La contaminación ambiental en Guatemala ocurre por diversas de razones y una de ellas, es la falta de prevención. Debido a que muchas actividades que existen en el país son agrícolas, las cuales involucran el uso de maquinaria agrícola y ello implica que existe algún tipo de contaminación en sus mismos procesos.

El mantenimiento de la maquinaria genera, en la mayoría de casos, una serie de desechos sólidos y líquidos los que, por ignorancia o negligencia en el peor de los casos, no se disponen correctamente. Los efectos que tienen los desechos que producen las máquinas cuando son vertidos en los campos de cultivo de caña son desconocidos, porque no se ha realizado algún estudio que determine el grado en que ocurre. Por ello, es de suma importancia analizarlos, conocerlos y se minimizar dichos efectos.

El presente trabajo hará un análisis de la contaminación ambiental producida por el mantenimiento de maquinaria, asimismo, recopilará información acerca de qué tipo de desechos se producen y cuáles son los que más impacto tienen en el ambiente.

Se presentará el plan de acción al final del trabajo. Se propondrá entonces, un procedimiento que mitigue el impacto ambiental que tiene el mantenimiento de estos equipos.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación sigue los lineamientos de la Maestría en Energía y Ambiente, de la Escuela de Postgrado y de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Principalmente en la línea investigativa de caracterización y contaminación de suelos, del área complementaria; así como tratamientos y estrategias en la gestión de residuos.

Se hará un análisis de la contaminación ambiental producida por el mantenimiento de maquinaria, asimismo, recopilar información acerca de qué tipo de desechos se producen y cuáles son los que más impacto tienen en el ambiente.

Para este análisis se clasificarán las máquinas involucradas en los mantenimientos, los tipos de fallas que presentan, los desechos que dichas fallas producen y la contaminación de los mismos en el ambiente. Con esto es posible aislar las fallas que ocurren con mayor frecuencia y que, por su naturaleza contaminante, dañan más el ambiente donde se desecha.

El objetivo planteado en la investigación es evaluar los efectos en el ambiente del mantenimiento de la maquinaria en los cultivos de caña de azúcar y presentar un plan de mitigación para minimizar dichos efectos.

El proceso experimental se realizará en cuatro fases, siendo estas: investigación preliminar cualitativa, recolección de datos, análisis de fallas y la propuesta del plan de mitigación.

La primera fase consiste en una investigación preliminar cualitativa, en el cual se pretende establecer la estructura organizacional del taller; conocer los procesos que se siguen para las distintas labores de mantenimiento de maquinaria (revisiones diarias, servicios programados, reparaciones en campo y en taller). Se realizará un censo de la maquinaria agrícola utilizada (tractores, alzadoras y cosechadoras); se analizará el entrenamiento del personal, y el manejo de los desechos producto del mantenimiento.

La segunda fase, de recolección de datos, será la encargada de obtener la información que dará vida al informe. Puesto que se llevará un registro de las distintas fallas de las máquinas agrícolas, su frecuencia y grado de severidad; clasificando el desecho que produzcan. Un cuestionario al personal, dará a conocer los procesos internos del taller de mantenimiento. Finalmente se estudiarán casos similares, que, juntamente con la información obtenida en la tercera fase, servirá para la elaboración del plan de mitigación.

La tercera fase es el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la fase anterior.

Finalmente, la cuarta fase presentará el plan de acción con base en la información obtenida. Se propondrá entonces, un procedimiento que mitigue el impacto ambiental que tiene el mantenimiento de estos equipos.

El análisis va dirigido a identificar la contaminación en función de:

- Modelo de máquina
- Tipo de sistema
- Tipo de falla
- Relación causa-efecto

Al hacer un diagrama de Pareto, se pretende visualizar la relación causa-efecto, para elaborar el plan de mitigación con esta información.

2. ANTECEDENTES

En el estudio Fundamento teórico para determinar la efectividad de mantenimiento técnico (Fundamento teórico para determinar la efectividad de mantenimiento técnico, 2004), se analiza la necesidad de asegurar la ejecución del proceso tecnológico agrícola con calidad y en el menor tiempo, considerando la participación del personal de mantenimiento técnico, personal de servicio, etc.

En el escrito de Las buenas prácticas medioambientales en talleres mecánicos (Generalitat Valenciana, 2010) se encuentran las buenas prácticas a seguir en talleres mecánicos modernos. Aborda el tema desde el punto de vista del cuidado del medio ambiente, desde la recepción y almacenamiento de materiales, repuestos y piezas; reparaciones, pintura; manejo de líquidos, baterías, lubricantes; hasta la legislación medioambiental aplicable. Se toma en consideración desde las buenas prácticas que deben llevarse en un taller, escogiendo detenidamente los insumos, hasta la puesta en marcha de los mantenimientos preventivos y cómo tratar los desechos de dichos servicios.

La contaminación, debido a desechos de productos derivados del petróleo en los suelos de cultivos como el algodón y avena, son tratados en la investigación Soil Compaction in Sugarcane Fields Induced by Mechanization (Soil Compaction in Sugarcane Fields Induced by Mechanization, 2011) y en Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón (Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón,

2010). En ellas se estudió la influencia de dicha contaminación en el crecimiento de las plantas y el efecto de los químicos en cultivos transgénicos.

La frecuencia de fallas en maquinaria y el análisis de métodos de mantenimiento, fueron analizados en el trabajo Rediseño de rutas y logística de mantenimiento preventivo de tractores, en una empresa de la industria azucarera (Oliva Alonso, 2009). Dicho trabajo es importante en la elaboración de métodos de mitigación de fallas de maquinaria, reducción de sus tiempos muertos y aumento de la producción.

En Santiago de Cali, Colombia, fue implementado un diseño de programa de gestión ambiental para el área de mantenimiento de la maquinaria agrícola en el ingenio La Cabaña, presentado en el trabajo Diseño e implementación de un programa de gestión ambiental en el área de mantenimiento de maquinaria agrícola en el ingenio La Cabaña (Moreno, 2011). Con ello se logró evitar, reducir o mitigar los impactos ambientales al evaluar los aspectos ambientales del área, diseñando estrategias de control, planteando actividades y realizando el seguimiento y medición para observar su eficacia.

En Cuba se estudió la necesidad de tener mejores prácticas de mantenimiento para tener un bajo impacto en el medio ambiente, debido al derrame de líquidos, desechos sólidos, emisiones atmosféricas y ruidos, por medio del trabajo Las prácticas medioambientales en los talleres de mantenimiento y reparación de las empresas agropecuarias: una necesidad para el cuidado del medio ambiente (Fernández, y otros, 2013).

3. OBJETIVOS

General

Evaluar los efectos del mantenimiento de la maquinaria agrícola en cultivos de caña de azúcar, sus consecuencias en el ambiente y presentar una propuesta de un plan de mitigación.

Específicos

1. Establecer el tipo de mantenimiento actual, empleado para atender los requerimientos de la maquinaria agrícola, en un taller dedicado al cultivo de caña de azúcar en la costa sur de Escuintla.
2. Evaluar el impacto que tiene en el ambiente, los desechos producidos por el mantenimiento (sólidos, líquidos, emisiones); en los frentes de corte, ubicados en la finca Limones, y en el taller ubicado en Tiquisate, Escuintla.
3. Elaborar un plan de mitigación en los procesos de mantenimiento, para reducir las fallas de las máquinas y la contaminación en el ambiente a causa del mantenimiento de las mismas.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La contaminación ambiental en Guatemala ocurre por diversas de razones y una de ellas, quizás la más recurrente, es la falta de prevención. Debido a que muchas actividades que existen en el país son agrícolas, las cuales involucran el uso de maquinaria agrícola y ello implica que existe algún tipo de contaminación en sus mismos procesos.

El mantenimiento de la maquinaria genera, en la mayoría de casos, una serie de desechos sólidos y líquidos los que, por ignorancia o negligencia en el peor de los casos, no se disponen correctamente. Los efectos que tienen los desechos que producen las máquinas cuando son vertidos en los campos de cultivo de caña son desconocidos, porque no se ha realizado algún estudio que determine el grado en que ocurre. Por ello, es de suma importancia analizarlos, conocerlos y se minimizar dichos efectos.

Siguiendo las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente, en la *Caracterización y contaminación de suelos*, del área Complementaria; así como *Tratamientos y estrategias en la gestión de residuos*; la presente investigación tiene como objetivo principal: evaluar los efectos del mantenimiento de la maquinaria agrícola en cultivos de caña de azúcar, sus consecuencias en el ambiente y presentar una propuesta de un plan de mitigación.

Inicialmente se hará un trabajo de campo para recolectar la información, luego se analizará y con base en los resultados que se obtengan, se procederá a plantear un plan de mitigación. Esta será una investigación

descriptiva y una parte exploratoria. Debido a esto, no se tienen expectativas sobre los resultados, por lo que no se justifica el planteamiento de una hipótesis en el trabajo.

Las variables del trabajo comprenden de variables categóricas, numéricas, discretas y continuas (los tipos de fallas y desechos; mantenimiento de tractores, motores; litros/día, litros/evento, kilogramos, litros).

Lo que si se puede afirmar es que el uso de mejores prácticas de mantenimiento de la maquinaria en el campo, significará un beneficio fundamental para el ambiente y para la salud del ser humano. Además, puede ser un significativo aporte a la economía, al evitar la degradación de los suelos. Estos conceptos justifican la realización de este proyecto.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala es un país agricultor y el cultivo de la caña de azúcar se ha vuelto parte del diario vivir, especialmente, en la costa sur. La demanda de azúcar mundial crece cada día, por lo que el terreno para cultivarlo crece de igual manera.

Cada vez hay más fincas que convierten sus tierras en campos para el cultivo de la caña de azúcar. El número de máquinas trabajando la tierra aumenta con cada zafra. Esto implica una mayor producción de desechos producto del mantenimiento de estas máquinas. Por esto, el presente trabajo pretende analizar el impacto ambiental de los desechos de las máquinas agrícolas, debido a su mantenimiento, en fincas de Tiquisate, Escuintla.

Las máquinas producen diversos desechos a causa de su mantenimiento: filtros, correas, lubricantes usados, toallas de limpieza, cartón, plástico, etc. Cuando el mantenimiento es correctivo, debido a una falla no programada, los desechos aumentan y el riesgo que contaminen el ambiente es mayor. Una fuga de una manguera de aceite cae directamente en el suelo y lo contamina. El aceite puede llegar al manto freático y contaminarlo. Además, la tierra se puede volver infértil y, finalmente, la cepa de la caña puede ser afectada, por enfermedad, alterar su crecimiento y su capacidad de reproducción.

Debido a esto surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es el impacto ambiental que provocan los desechos producidos por el mantenimiento de las máquinas en el campo?

- ¿Cuáles son las prácticas de mantenimiento que se llevan a cabo para atender a las máquinas?
- ¿Existe un plan para reducir dicha contaminación y, por lo tanto, las fallas de las máquinas?

6. ALCANCES DEL TEMA

Los alcances de la presente investigación están enfocados específicamente a las áreas investigativas como:

- Descubrir la influencia de la maquinaria agrícola en el cultivo.
- Explicar los impactos ambientales en la operación y mantenimiento de la maquinaria agrícola en el cultivo de la caña de azúcar.

Abarcando la problemática del mantenimiento de la maquinaria agrícola en el campo, y facilitando una solución que mitigue su huella en el medio, se presenta en la figura 1.

Figura 1. **Alcances**

Problema	Alcance de la solución
Maquinaria mal preparada	Mejores procesos de mantenimiento, ahorro en recursos.
Herramienta no adecuada	Implementar buenas prácticas en el taller, menor tiempo de trabajo, optimizar procesos.
Entrenamiento pobre del personal	Capacitación constante, personal actualizado. Hacer consciencia ambiental.
Contaminación ambiental por desechos	Adiestramiento y correcta disposición de desechos producto del mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

Así como en áreas de técnicas de mantenimiento que incluyen:

- Talleres de mantenimiento y reparación de maquinaria agrícola y pesada.
- Personal (gerentes de taller, supervisores, personal administrativo, mecánicos).
- Instituciones educativas como:
 - El Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, INTECAP.
 - Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, CENGICAÑA.
- Talleres de mantenimiento de maquinaria agrícola de ingenios azucareros.
- Departamentos de servicio, repuestos y administrativos.
- Ingenieros Mecánicos e Ingenieros Agrónomos en general.
- Estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Así como de otras universidades.

Proyectos de investigación de estudiantes de la Escuela de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala e instituciones afines.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

7.1. Tierras dedicadas al cultivo de caña de azúcar

La industria azucarera centroamericana ha tenido un importante dinamismo a lo largo de la última década, producto de avances en las tecnologías y prácticas agrícolas, impulsadas por el aumento en el mercado local, el mercado internacional y los precios pagados por los países importadores (Sagastume Chacón, 2012). Según esta tesis, en Guatemala aumentó la producción de azúcar en la última década en un 38 por ciento. Es un claro indicativo del crecimiento de la industria en el país y de la importancia que tiene en el desarrollo de Guatemala.

7.1.1. Mecanización de tierras

La preparación del suelo que se va a dedicar al cultivo de la caña de azúcar, se caracteriza por la mecanización de estas tierras. Esta mecanización contribuye a una acción erosiva de la capa vegetal al quedar al descubierto el campo, sin ningún tipo de cobertura vegetal, y sujeto a las acciones meteorológicas del viento, el sol y el agua. También, la mecanización está asociada a la compactación de los suelos que, a su vez, disminuye los rendimientos del cultivo por dificultad de las raíces de penetrar adecuadamente el suelo en busca de nutrientes para su máximo desarrollo. (Pérez, y otros, 1997). De acuerdo a este trabajo afecta la densidad del suelo al compactarlo, disminuye su permeabilidad y capacidad de retener humedad.

7.1.2. Cultivo

Luego de la mecanización de la tierra, se llega al cultivo de la misma, posteriormente la cosecha o zafra, como comúnmente se conoce. En las etapas del cultivo de la caña de azúcar, que comprenden desde la mecanización de la tierra, hasta su cosecha, en su proceso intervienen distintos tipos de herramienta o maquinaria. Maquinaria que ha empleado el hombre en sus múltiples formas desde muchos años, para facilitar su existencia. Para optimizar su uso, debe conocerla a fondo para poder operarla correctamente, darle mantenimiento y una reparación apropiada. (Polanco Puerta, 2007).

7.1.3. Cosecha

El corte de la caña de azúcar manual ha sido utilizado ampliamente, debido a los bajos costos de la mano de obra. Sin embargo, por la demanda de la caña de azúcar y escasez de mano de obra en diferentes partes del mundo, se ha popularizado el corte mecanizado de la caña. El intenso uso de maquinaria pesada puede causar daños a la estructura del suelo, afectando la habilidad de este para sostener y conducir agua, nutrientes y el aire necesario para la actividad de la raíz de la planta. Reduciendo así la capacidad productiva de los campos (Soil Compaction in Sugarcane Fields Induced by Mechanization, 2011).

7.2. Maquinaria de corte de caña

Las cosechadoras de caña de azúcar son equipos muy importantes en el proceso del corte de la caña. Estas máquinas trabajan turnos de 24 horas y es de vital importancia que continúen en operación durante el período de la zafra, con la menor cantidad de paradas no programadas. De lo contrario se vuelven

ineficientes y producen pérdidas. La planificación de las piezas de recambio para estas y otras máquinas es muy significativo, puesto que, como se menciona en el trabajo Principales aspectos sobre la metódica para la planificación de piezas de repuesto de las máquinas cosechadoras, (Principales aspectos sobre la metódica para la planificación de piezas de repuesto de las maquinas cosechadoras, 2000); la planificación de las piezas de repuesto se ha hecho con base en la experiencia y no satisfacen los comportamientos reales de los consumos durante las reparaciones operativas de las principales máquinas agrícolas. En repetidas ocasiones ocurren faltantes o, por el contrario, sobrantes en diferentes renglones. Por lo que, su adecuación práctica permitiría resultados muy favorables a la hora de ejecutar los ciclos de mantenimiento y reparación de las diferentes máquinas (Principales aspectos sobre la metódica para la planificación de piezas de repuesto de las maquinas cosechadoras, 2000).

Es de relevancia elaborar una secuencia racional de factores y acciones a realizar para la evaluación de las máquinas agrícolas desde el punto de vista de la innovación tecnológica: la realización del diagnóstico, la implementación de las pruebas de validación de la metodología de evaluación y adopción; para poder elegir la máquina más adecuada para la labor requerida (Salazar, 2011).

7.3. Mantenimiento de maquinaria

7.3.1. Tipos de mantenimiento

El análisis de las fallas de la maquinaria es muy importante para poder determinar con mayor precisión, las decisiones a tomar con base en los datos obtenidos de frecuencia de fallas (Oliva Alonso, 2009).

Juntamente con el análisis de fallas se debe proponer un plan general en la realización de los mantenimientos técnicos y reparaciones para el parque de maquinaria. Este determinará el volumen anual de trabajos que podrá llevar a cabo el taller, la cantidad de obreros necesarios directos de producción y puestos de trabajo. Estas medidas organizativas lograrán una gestión más eficiente en el Departamento de Mantenimiento (Fernández Sánchez, y otros, 2013).

7.3.2. Costos de mantenimiento

Teniendo en cuenta esto es de suma importancia tener estimaciones de los costos de mantenimiento de la maquinaria, ya que es parte primordial en la toma de decisiones para las reparaciones del equipo, así como en el presupuesto del taller, finca o ingenio. En el estudio presentado por Khodabakhshian R. y Shakeri M., de las universidades de Mashland, Irán; a finales del 2010, hacen una comparación entre los costos de reparación y mantenimiento; y el mantenimiento preventivo de tres modelos de tractores agrícolas. Los resultados muestran que los costos aumentan con la edad del equipo (Prediction of repair and maintenance costs of farm tractors by using of Preventive Maintenance, 2011).

7.3.3. Tecnología de punta

Actualmente, el mundo exige cada vez más recursos, por lo que se deben optimizar el uso de los mismos, ya que cada día se busca la manera de obtener más provecho a las riquezas de las que se disponen. Para optimizar estos recursos tanto físicos como humanos, se hace uso de la tecnología informática y de telecomunicaciones. El concepto de agricultura de precisión toma cada vez más fuerza, a medida que se vuelve más accesible y común.

Además, tiene un menor impacto ambiental, debido a que aplica menos sustancias nocivas (pesticidas o abonos), y con el uso de esta tecnología pueden realizarse prescripciones que se adapten a cada zona de terreno (Stable, 2010).

7.4. Impacto ambiental por contaminación de maquinaria

Los costos ambientales se definen como los costos de las medidas de mitigación necesarias para disminuir el nivel de impacto, hasta el grado que hubiese generado el empleo de la mejor tecnología disponible (Costos ambientales en plantaciones, 1996). Este estudio propone un método de evaluación ambiental cuantitativa, consistente en la modelación de los costos ambientales generados por las operaciones de cosecha forestal en bosques de plantación de *Pinus radiata D.Don.*, bajo el concepto de conservación del capital natural de los recursos suelo y agua. Con esto se puede obtener un modelo matemático que puede estimar costos ambientales, jerarquizar los principales impactos y actividades que lo originan. Está basado para la industria forestal, pero como es de los primeros estudios metodológicos cuantitativos de su género, tiene una base de comparación con modelos aplicados para calcular la depreciación del suelo en la agricultura.

Debe existir un mejoramiento en la gestión de producción; que contemple la toma de medidas internas para la mejora en aspectos como: la organización de procesos, el control de las fuentes de contaminación, el manejo del agua, materias primas y productos. Según el trabajo Diseño e implementación de un programa de gestión ambiental en el área de mantenimiento de maquinaria agrícola en el ingenio La Cabaña, (Moreno, 2011); las medidas internas a tomar pueden ser:

- Uso eficiente del agua: para consumir menos agua es necesario cerrar los sistemas, recircular las aguas de proceso, realizar la recogida en seco de desperdicios y garantizar el buen estado de los sistemas de conducción y los depósitos de almacenamiento.
- Separación y tratamiento independiente de los residuos: implica la separación en la fuente de los diversos residuos generados en la instalación, para permitir su manejo diferenciado de acuerdo con su peligrosidad, grado de contaminación y posibilidades de tratamiento y aprovechamiento, reduciendo volúmenes y costos de manejo.
- Mantenimiento preventivo y correctivo: inspecciones regulares, limpiezas, pruebas y sustitución de partes desgastadas o descompuestas, a fin de limitar las posibilidades de fugas o derrames debido al mal funcionamiento y las fallas de equipos; evitando que sustancias tóxicas lleguen a los sistemas de alcantarillado y tratamiento, o se produzcan contaminaciones cruzadas.
- Reciclaje o reuso de residuos: el posible reuso o aprovechamiento de residuos sin afectar al ambiente, la calidad del producto o el proceso receptor de los mismos. Por ejemplo, los impactos negativos sobre los suelos sometidos a fertirriego es indispensable tomar un conjunto de medidas internas como: la segregación y recolección independiente de los ácidos y bases usados en la limpieza de equipos tecnológicos de los centrales azucareros.
- Educación y capacitación de los recursos humanos, quizá es la técnica de prevención de la contaminación más elemental. Es importante que conozcan y entiendan los beneficios económicos, ambientales y sanitarios

de lograr una producción más limpia. Higiene industrial, control eficiente de los procesos, la eliminación de errores operativos que impliquen la liberación al ambiente de corrientes contaminantes, entre otros; complementan los impactos positivos que pudieran tener los cambios tecnológicos.

- Modificaciones en los procesos productivos. Los cambios tecnológicos en los procesos de producción, promueven el reuso del agua, la sustitución de algunos materiales utilizados en los procesos y la recuperación de determinadas sustancias que previamente se vertían en los efluentes y que a partir de los cambios se pueden utilizar dentro del mismo proceso tecnológico.

La prevención de la contaminación debe estar dirigida al uso de procesos, prácticas, materiales o productos que eviten, reduzcan o controlen la contaminación. Los beneficios potenciales de la prevención de la contaminación incluyen la reducción de impactos ambientales adversos, el mejoramiento de la eficiencia y la reducción de costos.(Moreno, 2011).

El concepto de Producción más Limpia ha alcanzado reconocimiento a nivel mundial, como una estrategia preventiva para la protección del medio ambiente en las empresas. De acuerdo al Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA), la Producción más Limpia (PML) es la aplicación continua a los procesos, productos y servicios de una estrategia integrada y preventiva, con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente.(Moreno, 2011).

7.4.1. Tecnología agrícola

El uso de diferentes tecnologías agrícolas es la base para la producción de alimentos. Esto puede causar problemas entre el medio ambiente y la agricultura, por lo que es importante estudiar el impacto de estas nuevas tecnologías en la agricultura. La más importante, según el artículo de investigación Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón, (Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón, 2010); es la transgénesis. Esta tecnología transfiere genes a un organismo, lo cual controla algunas plagas de lepidópteros en los cultivos de algodón (Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón, 2010). Con esto se evita la utilización excesiva de plaguicidas que, como se mencionó con anterioridad, contaminan los suelos. La reducción en el número de aplicaciones de agroquímicos significa menor uso de maquinaria en las labores agrícolas, lo que implica menor emisión de gases de efecto invernadero, y menores procesos de compactación y degradación de suelo (Global Impact of Biotech Crops: Socio-Economic and Environmental Effects in the First Ten Years of Commercial Use, 2006).

7.5. Control de desechos

La degradación del ambiente natural es una causa de la contaminación del suelo por el petróleo y sus derivados. El combustible diesel puede tener un efecto negativo en los microorganismos del suelo. Sin embargo, no influye directamente en el crecimiento y desarrollo de la avena (The influence of diesel oil contamination on soil microorganisms and oat growth, 2002).

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Debido a que el presente trabajo será una investigación descriptiva y una parte exploratoria; no se tienen expectativas sobre los resultados, por lo que no se justifica el planteamiento de una hipótesis en el trabajo.

9. CONTENIDO

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
 2. LISTA DE SÍMBOLOS
 3. GLOSARIO
 4. RESUMEN
 5. OBJETIVOS
 6. INTRODUCCIÓN
-
1. ANTECEDENTES

 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
 - 2.1 Descripción
 - 2.1.1 Antecedentes del taller agrícola
 - 2.2 Formulación
 - 2.3 Delimitación

 3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL
 - 3.1 Tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar
 - 3.1.1 Mecanización de tierras
 - 3.1.2 Cultivo
 - 3.1.3 Cosecha
 - 3.1.3.1 Corte a mano
 - 3.1.3.2 Corte mecanizado
 - 3.2 Maquinaria de corte de caña
 - 3.2.1 Tractores agrícolas
 - 3.2.2 Alzadoras de caña

- 3.2.3 Cosechadoras de caña
- 3.3 Mantenimiento de maquinaria
 - 3.3.1 Mantenimiento correctivo
 - 3.3.2 Mantenimiento preventivo
 - 3.3.3 Mantenimiento proactivo
- 3.4 Impacto ambiental por contaminación de maquinaria
 - 3.4.1 Suelos
 - 3.4.2 Cuerpos de agua
 - 3.4.3 Aire
 - 3.4.4 Tratamiento de residuos
 - 3.4.5 Educación y capacitación del recurso humano
- 3.5 Control de desechos
 - 3.5.1 Reutilización y reciclaje
 - 3.5.2 Disposición final

4. METODOLOGÍA

- 4.1 Fase 1. Investigación preliminar
 - 4.1.1 Estructura organizacional de taller
 - 4.1.2 Evaluación de procesos
 - 4.1.2.1 Diagramas de flujo
 - 4.1.2.1.1 Mantenimiento diario
 - 4.1.2.1.2 Servicios programados
 - 4.1.2.1.3 Reparaciones en campo
 - 4.1.2.1.4 Reparaciones en taller
 - 4.1.3 Entrenamiento de personal
 - 4.1.4 Manejo de desechos
- 4.2 Fase 2. Recolección de datos e investigación documental
 - 4.2.1 Mediciones
 - 4.2.1.1 Variable

- 4.2.1.2 Método
 - 4.2.1.3 Instrumentación
 - 4.2.2 Diseño de la muestra
 - 4.2.2.1 Tamaño
 - 4.2.2.2 Método
 - 4.2.3 Mantenimiento en campo
 - 4.2.3.1 Programado
 - 4.2.3.2 No programado
 - 4.2.4 Cuestionario
 - 4.2.5 Investigación documental
 - 4.2.5.1 Caso 1 – Ingenio A
 - 4.2.5.2 Caso 2 – Ingenio B
 - 4.2.5.3 Caso 3 – Ingenio C
- 4.3 Fase 3. Análisis de información
 - 4.3.1 Análisis de fallas
 - 4.3.1.1 Análisis de fallas por sistema
 - 4.3.2 Relación causa-efecto
 - 4.3.2.1 Falla-operacional
 - 4.3.2.2 Falla-mantenimiento
 - 4.3.2.3 Falla-repuesto
 - 4.3.2.4 Falla-otro
 - 4.3.3 Estadística de fallas
 - 4.3.4 Deficiencias detectadas
 - 4.3.5 Contaminación producto del mantenimiento
 - 4.3.5.1 Desechos sólidos
 - 4.3.5.2 Desechos líquidos
 - 4.3.5.3 Emisiones
- 4.4 Fase 4. Plan de mitigación

5. RESULTADOS
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES
8. RECOMENDACIONES
9. BIBLIOGRAFÍA
10. APÉNDICES

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

10.1. Fase 1: Investigación preliminar

Se hará una investigación preliminar cualitativa del taller de mantenimiento de una empresa dedicada al cultivo de la caña de azúcar (mecanización, siembra y corte), para los ingenios azucareros. Evaluando los procesos que actualmente se llevan a cabo, como órdenes de trabajo, pedido de repuestos, recolección de materiales de desecho, entre otros. Se realizará un censo de la maquinaria agrícola utilizada (tractores, alzadoras y cosechadoras); así como el proceso de entrenamiento del personal, y el manejo de los desechos producto del mantenimiento.

10.2. Fase 2: Recolección de datos e investigación documental

Se llevará un registro de las distintas fallas de las máquinas agrícolas, su frecuencia y grado de severidad. Se clasificarán en el tipo de desecho que estas produzcan. Se pasará un cuestionario al personal de taller involucrado en el mantenimiento de la maquinaria agrícola (mecánicos de campo y de taller; supervisores y jefes de mantenimiento), con el cual se busca conocer los procesos internos del taller de mantenimiento, la influencia de las políticas laborales en el mantenimiento. Los encuestados serán elegidos de forma aleatoria, por área de trabajo. Dos personas por área (mecánicos de taller, de campo, supervisores y jefe de mantenimiento). Se diseñará según el modelo propuesto en La Metodología de la Investigación (Hernández Sampieri, y otros, 2006), codificando las respuestas de los sujetos a las preguntas del cuestionario, las cuales serán abiertas y cerradas.

Se hará una investigación documental donde se estudiarán casos similares, para obtener información relativa a las metodologías utilizadas, y las conclusiones alcanzadas. Esto servirá para la elaboración del plan de mitigación en la fase 4.

Las variables de la investigación se describen en la figura 2.

Figura 2. **Variables**

Variables categóricas:	Fallas: mecánicas, hidráulicas, eléctricas
	Desechos: sólidos, líquidos, emisiones
Variable numéricas:	Kg, litros/día, litros/evento.
Variables discretas:	Mantenimiento (tractores, motores, etc.)
Variables continuas:	Cantidades utilizadas (“x” litros, “y” kg).

Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Registro de fallas**

Semana del 1 al 7 de marzo	Sistema hidráulico			Sistema eléctrico			Sistema mecánico		
	Fuga en sellos	Fuga de manguera	Bomba hidráulica	Batería	Motor de arranque	Arnés eléctrico	Motor	Transmisión	Ejes
Tractor 90-140hp									
Tractor 150-235hp									
Alzadora 1850									
Alzadora 2254									
Cosechadora 3520									

Fuente: elaboración propia

Tabla II. **Registro de mantenimiento programado**

	Programa de mantenimiento							
	100 horas	250 horas	500 horas	1000 horas	1250 horas	1500 horas	1750 horas	2000 horas
Tractor A1	7 mar	12 mar	30 mar					
Tractor A2								
Alzadora B1								
Alzadora B2								
Cosechadora								

Fuente: elaboración propia.

10.3. Fase 3: Análisis de la información

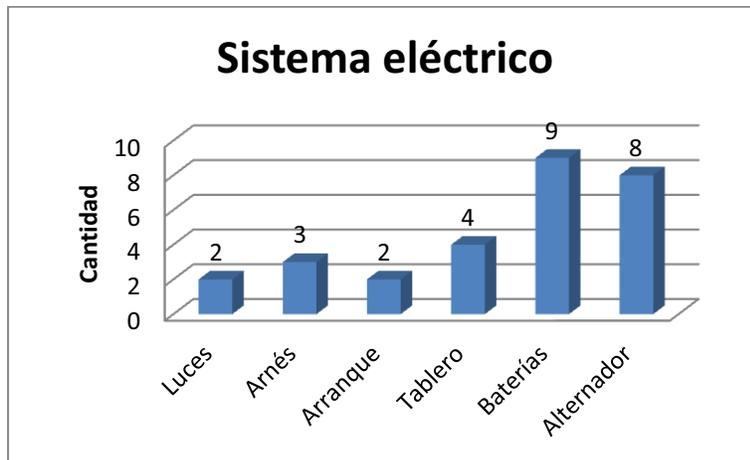
Se utilizarán parámetros de tendencia central del análisis estadístico descriptivo, moda, mediana, media y rangos, para obtener los valores más repetitivos, centrales, promedio y valores máximos y mínimos en un conjunto de rangos. Esto se hará en las fallas por sistema; así como su grado de severidad e impacto en el medio ambiente; y relacionándolas con un diagrama de Pareto (relación causa-efecto) para su mayor comprensión. El análisis del cuestionario será según los pasos planteados en Metodología de la Investigación (Hernández Sampieri, y otros, 2006). Utilizando un universo, categorías y subcategorías, codificando y elaborando hojas de codificación.

Figura 3. **Categorías**

Universo	Categorías	Subcategorías	Subcategoría	Subcategoría
Parque de maquinaria agrícola.	<ul style="list-style-type: none"> • Tractores agrícolas • Cosechadoras de caña • Alzadoras de caña 	Fallas, por sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Eléctrica • Mecánica • Hidráulica • Operación • Mantenimiento 	Eléctrica: luces, arnés, tablero, baterías, alternador, sistema de arranque, etc. Mecánica: motor, transmisión, ejes, mandos finales. Hidráulica: mangueras, cilindros, control de válvulas, bomba hidráulica. Operación: entrenamiento, veteranía. Mantenimiento: programado, no programado.	Producción de contaminantes (por sistema): <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos • Líquidos • Gaseosos

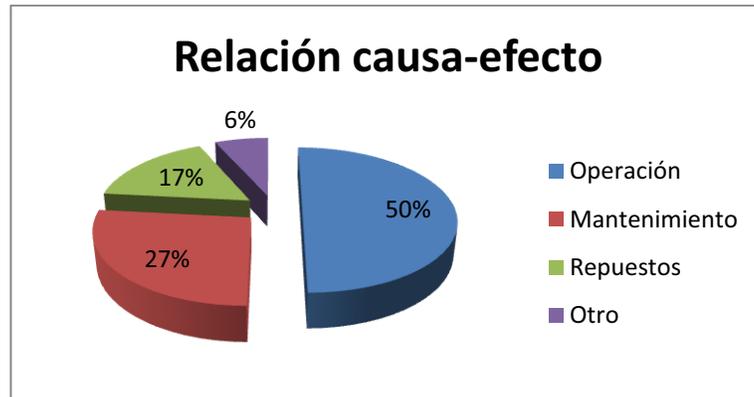
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Análisis de falla sistema eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Relación causa-efecto, tipos de fallas**



Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Registro de desechos**

	Mantenimiento programado			Mantenimiento No programado		
	Sólido (kg)	Líquido (L)	Emisiones (sí/no)	Sólido (kg)	Líquido (L)	Emisiones (sí/no)
Tractor A						
Tractor B						
Alzadora A						
Alzadora B						
Cosechadora						

Fuente: elaboración propia.

10.4. Fase 4: Plan de mitigación

Con base al análisis de la información obtenida (análisis de fallas, relación causa-efecto, etc.), se propondrá un plan que mitigue el impacto ambiental, producido por los desechos que resultan del mantenimiento de la maquinaria.

El diagrama de Pareto ayudará a conocer la frecuencia de falla de los componentes y la cantidad de desechos que estos causan. También ayudará a tomar decisiones y priorizar con base en los problemas que se encuentren. Con esto se pueden atacar los problemas puntuales (falla en mangueras, baterías defectuosas, personal mal capacitado, etc.), determinar su causa y dar solución.

El análisis de los casos en la investigación documental, proveerá información vital respecto a la metodología empleada en la elaboración de planes de mitigación del impacto ambiental, de empresas relacionadas al mantenimiento de maquinaria agrícola.

Esta información será la que determine el plan de acción a seguir, estableciendo el Plan de Mitigación.

11. RESULTADOS ESPERADOS

De acuerdo al análisis de la información obtenida se espera encontrar resultados en los siguientes entornos:

- Ambiental
 - Los tipos de desechos que produce el mantenimiento
 - Cantidad de desechos vertidos al ambiente
 - Efectos ambientales producidos por los desechos

- Mecánico
 - Fallas más comunes en las máquinas (por sistema y por modelo)
 - Factor más influyente en las fallas (operación, mantenimiento, repuestos)

- Procesos
 - Disposición de desechos en taller
 - Diagrama de flujo para mantenimientos de maquinaria
 - Personal operativo y administrativo: su capacitación e incidencia en las fallas de la maquinaria

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de las actividades se describe en la tabla IV.

Tabla IV. Cronograma

Tiempo (meses)		2013																2014							
		Jul.		Agosto				Sept.				Octubre				Noviembre				Diciembre				Ene.	
Actividades		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Fase 1. Investigación preliminar	i. Estructura organizacional de taller																								
	ii. Evaluación de procesos																								
	iii. Entrenamiento de personal																								
	iv. Manejo de desechos																								
Fase 2. Recolección de datos e investigación documental	i. Mediciones																								
	ii. Diseño de la muestra																								
	iii. Mantenimiento en campo																								
	iv. Cuestionario																								
	v. Investigación documental																								
Fase 3. Análisis de información	i. Análisis de fallas																								
	ii. Relación causa-efecto																								
	iii. Estadística de fallas																								
	iv. Deficiencias detectadas																								
	v. Contaminación producto del mantenimiento																								
Fase 4. Plan de mitigación																									
Informe final																									

Fuente: elaboración propia.

13. RECURSOS NECESARIOS

Los recursos serán aportados por el estudiante y los mismos se describen en la tabla V.

Tabla V. **Recursos**

Recursos humanos	Costo por hora	Cantidad	Total 7 meses
Asesor	Q. 200,00	50	Q. 10 000,00
Estudiante	Q. 100,00	100	Q. 10 000,00
Imprevistos	5% RRHH		Q. 1 000,00
Total RRHH			Q. 21 000,00
Representación	Costo por viaje	Cantidad	Total 7 meses
Viáticos	Q. 500,00	15	Q. 7 500,00
Imprevistos	5% Rep.		Q. 375,00
Total Representación			Q. 7 875,00
Insumos	Costo	Cantidad	Total 7 meses
Material oficina (hojas, encuadernado, etc.)	Q. 500,00	1	Q. 500,00
Internet, teléfono	Q. 449,00	7	Q. 3 143,00
Imprevistos	5 % insumos		Q. 182,15
Total insumos			Q. 3 825,15
Inversión total:			Q. 32 700,15

Fuente: elaboración propia.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. *Costos ambientales en plantaciones*. Gayoso, Jorge. 1996. 2, 1996, Bosque, Vol. 17, págs. 15-26.
2. *Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón*. Reyes, Giovanni, Chaparro-Giraldo, Alejandro y Ávila, Kelly. 2010. 2, Diciembre de 2010, Revista Colombiana de Biotecnología, Vol. 12, págs. 113-123.
3. *Empleo de las tecnologías de la informática y las comunicaciones en la agricultura*. Stable, Cristóbal. 2010. 2010, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, págs. 8-15.
4. Fernández Sánchez, Manuel y Shkiliova, Liudmila. 2013. Determinación de los parámetros que caracterizan la actividad productiva de los talleres de mantenimientos y reparaciones en un área de referencia. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de Marzo de 2013.]
<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5195/Talleres.pdf>.
5. Fernández, Manuel, John, Clara M. y Shkiliova, Liudmila. 2013. www.fao.org. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. [En línea] 2013. [Citado el: 4 de Marzo de 2013.]
<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5397/Trabajo%20.%20manuel%20Fdez.pdf>.
6. *Fundamento teórico para determinar la efectividad de mantenimiento técnico*. Shkiliova, Liudmila. 2004. 2004, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, págs. 51-53.
7. Generalitat Valenciana. 2010. Centro de Educación Ambiental de la Generalitat Valenciana. <http://www.cma.gva.es/web/>. [En línea] 2010. [Citado el: 2 de Marzo de 2013.]
http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/ed_a mb_empresa/pdf/TalleresMecanicosC.PDF.

8. *Global Impact of Biotech Crops: Socio-Economic and Environmental Effects in the First Ten Years of Commercial Use*. Brookes, Graham y Barfoot, Peter. 2006. 3, 2006, AgBioForum, Vol. 9, págs. 139-151.
9. Hernández Sampieri, Roberto, Fernández-Collado, Carlos y Baptista, Pilar. 2006. *Metodología de la Investigación*. México D.F. : McGraw-Hill, 2006.
10. Moreno, Belyiny. 2011. *Diseño e implementación de un programa de gestión ambiental en el área de mantenimiento de maquinaria agrícola en el Ingenio La Cabaña*. Cali : s.n., 2011.
11. Oliva Alonso, Carlos Eduardo. 2009. *Rediseño de rutas y logística de mantenimiento preventivo de tractores, en una empresa de la industria azucarera*. Guatemala : s.n., 2009.
12. Pérez, José y Pratt, Lawrence. 1997. *Industria Azucarera en Guatemala: Análisis de Sostenibilidad*. Guatemala : Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible (CLACDS), 1997.
13. Polanco Puerta, Manuel Francisco. 2007. *Maquinaria y Mecanización Agrícola*. Colombia : Centro Nacional de Medios para el Aprendizaje, 2007.
14. *Prediction of repair and maintenance costs of farm tractors by using of Preventive Maintenance*. Khodabakhshian, R y Shakeri, M. 2011. 1, 2011, International Journal of Agriculture Sciences, Vol. 3, págs. 39-44. 0975-3710/0975–9107.
15. *Principales aspectos sobre la metódica para la planificación de piezas de repuesto de las maquinas cosechadoras*. N Navarro Ojeda, M. 2000. 2, s.l. : Ediciones ISPJAE, 2000, Ingeniería Mecánica, Vol. 3, págs. 15-19.
16. Sagastume Chacón, Hugo Noé. 2012. *Dinámica económica de la industria azucarera centroamericana: el caso de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua*. Honduras : Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, 2012.
17. Salazar, Mario Clemente Zaldívar. 2011. Bibliomaster. www.bibliomaster.com. [En línea] 2011. [Citado el: 1 de 3 de 2013.] <http://www.bibliomaster.com/pdf/1261.pdf>.

18. *Soil Compaction in Sugarcane Fields Induced by Mechanization.* Usaborisut, Prathuang y Sukcharoenvipharat, Watcharachan. 2011. 2011, American Journal of Agricultural and Biological Sciences, Vol. 6, págs. 418-422.
19. *The influence of diesel oil contamination on soil microorganisms and oat growth.* Wyszowska, J., Kucharski, J. y Waldowska, E. 2002. 1, 2002, ROSTLINNÁ VÝROBA, Vol. 48, págs. 51-57.