

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) EN
APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO SANTA ANA (2009-2012)
ESTUDIO DE CASO

LUIS ALBERTO FLORES DÍAZ
CARNET 59550-96

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2015
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) EN
APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO SANTA ANA (2009-2012)
ESTUDIO DE CASO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
LUIS ALBERTO FLORES DÍAZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2015
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. JUAN CARLOS BARRUNDIA REYES

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES
MGTR. LUIS AMÉRICO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ
LIC. CARLOS DANILO SANTIZO SOLLER

Guatemala, 21 de septiembre de 2015

Comisión de Trabajos de Graduación
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Presente

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el informe final de estudio de caso del estudiante Luis Alberto Flores Díaz, que se identifica con carné 59550-96, titulado; "IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) EN APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZUCAR; INGENIO SANTA ANA (2009-2012)". El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad, por lo que sugiero su aprobación.

Atentamente,



Ing. Agr. Juan Carlos Barrundia
Colegiado 4253 Código URL 21291



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Estudio de Caso del estudiante LUIS ALBERTO FLORES DÍAZ, Carnet 59550-96 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06121-2015 de fecha 26 de septiembre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) EN APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO SANTA ANA (2009-2012)

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 30 días del mes de septiembre del año 2015.



ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Ingenio Santa Ana

Por albergarme en sus filas de colaboradores desde diciembre de 2005 y permitir culminar mis estudios.

Mis asesores

Ing. Agr. Juan Carlos Barrundia Reyes.

MGTR. Adán Obispo Rodas Cifuentes.

MGTR. Luis Américo Márquez Hernández.

Lic. Carlos Danilo Santizo Soller.

Ing. Agr. Ricardo Morales.

Por su colaboración, paciencia y entrega en la realización de éste trabajo.

A mis compañeros de trabajo

Por su apoyo y amistad brindada durante el tiempo compartido.

Colaboradores

Gracias a su apoyo hice posible éste trabajo. En especial:

Ing. Agr. Marco Cancino

Ing. Agr. M.S.C. Roberto Rosales

Lic. Conrado Bran.

Ing. Agr. M.S.C. Edwin Natareno

Personal del departamento de controles Ingenio Santa Ana.

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Creador del cielo y de la tierra, por permitirme alcanzar un título profesional, que será mi herramienta de trabajo para el resto de mi vida, para servirle al él y a todos mis seres queridos.

Mis padres: Felipe Flores y María Izabel Diaz de Flores como mínimo aporte al amor, apoyo y comprensión que siempre me brindaron, cumpliendo su deseo de verme graduado profesionalmente.

Mi esposa: Ana Luisa Morales Valenzuela de Flores por su amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de muchos años, los cuales quiero seguirle brindando también yo por toda la vida.

Mis hijos: Gilda María Flores Valenzuela y Luis David Flores Valenzuela, por permitirme tener la dicha de contar con ellos amarlos, educarlos y formarlos, y gozar del amor que me brindan.

Mis amigos: Las personas que de una u otra forma participaron apoyándome hasta con la más mínima ayuda sean parte de la elaboración de éste trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO		Página
RESUMEN		i
SUMMARY		ii
I INTRODUCCIÓN		1
II REVISIÓN DE LITERATURA		3
2.1	EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	3
2.2	APLICACIONES AÉREAS AGRÍCOLAS	3
2.2.1	Las aplicaciones aéreas agrícolas en Guatemala	4
2.2.2	Aplicaciones aéreas en caña de azúcar usando banderas	4
2.2.2.1	Desventajas	7
2.2.2.2	Ventajas	8
2.3	AGRICULTURA DE PRECISIÓN	8
2.4	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	9
2.4.1	Antecedentes de la utilización del GPS para la guía en aplicaciones aéreas agrícolas	10
2.4.2	Utilización del GPS para la guía en aplicaciones aéreas agrícolas	11
2.4.3	Beneficios de la utilización del GPS en las aplicaciones aéreas agrícolas	12
2.4.4	Programa NAVVIEWW (es un paquete de software GIS) utilizado en Ingenio Santa Ana para operar el GPS	13
2.4.4.1	Usos del programa NAVVIEWW	13
2.4.4.2	Digitalización	13
2.4.4.3	Copia	16

	CONTENIDO	página
2.4.4.4	Edición	16
2.5	TIPOS DE AERONAVES QUE SE UTILIZAN PARA LAS APLICACIONES AGRÍCOLAS AÉREAS	16
2.6	ACTIVIDADES EN LAS QUE SE UTILIZAN APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR	19
2.6.1	Aplicación de madurantes en caña de azúcar	19
2.6.1.1	Objetivos del empleo de madurantes	19
2.6.1.2	Impacto económico	19
2.6.1.3	Riesgos de su utilización	20
2.6.2	Aplicación de inhibidor de flor en caña de azúcar	20
2.6.3	Aplicación de fertilizante en caña de azúcar	22
2.7	INFLUENCIA DE FACTORES CLIMÁTICOS Y EDAFOLÓGICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA Y RENDIMIENTO DE AZÚCAR	22
2.7.1	Factores climáticos	24
2.7.2	Factores edafológicos	26
2.8	CRITERIOS TÉCNICOS Y AGRONÓMICOS A CONSIDERAR EN UNA APLICACIÓN AÉREA AGRÍCOLA	26
2.8.1	La nave	27
2.8.1.1	Efecto de vórtice	27
2.8.1.2	Arrastre de la hélice	28
2.8.2	El ambiente	28
2.8.2.1	Temperatura	28
2.8.2.2	Humedad relativa del aire	28
2.8.2.3	Velocidad del viento	29

	CONTENIDO	Página
2.8.2.4	Posibilidad de lluvia	29
2.8.2.5	Horario de aplicación	29
2.8.2.6	Deriva de agroquímicos	30
2.8.2.7	Inversión térmica	30
2.9	CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN EN LAS APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR	31
2.9.1	Ejemplos de monitoreos realizados en Ingenio Santa Ana	35
2.10	PARÁMETROS A TOMAR EN CUENTA AL REALIZAR APLICACIÓN AÉREA AGRÍCOLA	38
III	CONTEXTO	39
3.1	DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO	39
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA	40
3.2.1	Ubicación del estudio	41
IV	JUSTIFICACIÓN	43
V	OBJETIVOS	45
5.1	GENERAL	45
5.2	ESPECÍFICOS	45
VI	METODOLOGÍA	46
6.1	DISEÑO DE INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS	46
6.2	PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
6.3	VARIABLES DE ESTUDIO	47
6.3.1	Rendimiento de azúcar (kg por tonelada de caña)	47

CONTENIDO		Página
6.3.2	Producción de caña (t/ha)	47
6.3.3	Costos de aplicación (Q.)	47
6.3.4	Eficiencia de aplicación (hectáreas/hora)	48
6.3.5	Comunidades afectadas por las aplicaciones aéreas (sociales ambientales)	48
6.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	48
6.4.1	Análisis estadístico	48
6.4.2	Análisis económico	48
VII	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
7.1	INTERVENCIÓN	49
7.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	51
7.2.1	Rendimiento de azúcar (kg por tonelada de caña)	51
7.2.2	Producción de caña (t/ha)	52
7.2.3	Eficiencia de aplicación (hectáreas por hora)	53
7.3	ANÁLISIS ECONÓMICO	54
7.3.1	Rendimiento de azúcar (kg por tonelada de caña)	54
7.3.2	Producción de caña (t/ha)	55
7.3.3	Eficiencia de aplicación (hectáreas por hora)	56
7.3.4	Costos por aplicación	57
7.4	INVERSIÓN EN EQUIPO PARA APLICACIONES AÉREAS SANTA ANA	61
VIII	CONCLUSIONES	62
IX	RECOMENDACIONES	64

CONTENIDO

Página

X BIBLIOGRAFÍA

65

XI ANEXOS

69

ÍNDICE DE CUADROS

	Título	Página
Cuadro 1	Resultados de un monitoreo época banderillado manual	35
Cuadro 2	Resultados de un monitoreo época de GPS	36
Cuadro 3	Resultados del monitoreo de una mala aplicación	37
Cuadro 4	Prueba de t al rendimiento de azúcar (kg/t)	51
Cuadro 5	Prueba de t a la producción de (t/ha)	52
Cuadro 6	Prueba de t a la eficiencia de aplicación (ha/hora)	53
Cuadro 7	Rendimiento de azúcar (kg/t)	54
Cuadro 8	Producción de caña (y/ha)	55
Cuadro 9	Eficiencia de aplicación (ha/hora)	56
Cuadro 10	Costos de aplicación	58
Cuadro 11	Costos materiales por hectárea	59
Cuadro 12	Costos mano de obra por hectárea	60
Cuadro 13	Costos nave por hectárea	60
Cuadro 14	Inversión en equipo	61
Cuadro 15	Diseño de entrevista	69
Cuadro 16	Diseño de ficha hemerográfica	70
Cuadro 17	Encuesta	71
Cuadro 18	Resumen del comportamiento de la variables en la ejecución de un bloque específico	80
Cuadro 19	Resumen del comportamiento de altura durante una aplicación aérea realizada con GPS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Título	Página
Figura 1	Trazo de línea de vuelo	6
Figura 2	Medición y estaquillado	6
Figura 3	Helicóptero Bell Ranger	17
Figura 4	Avioneta grande trush commander	18
Figura 5	Avioneta pequeña pawne	18
Figura 6	Avioneta pequeña cessna	18
Figura 7	Colocación de extensiones	33
Figura 8	Colocación de tarjetas hidrosensibles	33
Figura 9	Colocación de tarjetas hidrosensibles	34
Figura 10	Puesto de monitoreo listo	34
Figura 11	Nave sobre monitoreo	35
Figura 12	Tarjetas hidrosensibles listas para ser analizadas	35
Figura 13	Comportamiento de monitoreo época banderillado manual	35
Figura 14	Comportamiento de monitoreo época GPS	36
Figura 15	Comportamiento de monitoreo de una mala aplicación	37
Figura 16	Plano con bloques definidos en la época de aplicación aérea con banderillado manual	75
Figura 17	Definición y conformación de bloques para una aplicación aérea utilizando GPS	76
Figura 18	Mapa con referencias guía para el piloto en una aplicación aérea utilizando GPS con áreas de excepción establecidas	77
Figura 19	Registro de ruta de vuelo ejecutando la aplicación	78
Figura 20	Bloque de aplicación terminado	79

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) EN APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR; INGENIO SANTA ANA (2009-2012)

RESUMEN

El objetivo de este Estudio de Caso, fue documentar el impacto tecnológico en la implementación de las aplicaciones aéreas al implementar el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en el cultivo de caña de azúcar, en el Ingenio Santa Ana, durante los años 2009 a 2012. El grupo Santa Ana es un complejo agroindustrial que se dedica a la producción de caña de azúcar, elaboración de azúcar y generación de energía eléctrica. Dentro de las actividades de manejo del cultivo se incluyen la aplicación de madurantes e inhibidor de flor, estas actividades se realizan vía aérea, las cuales del año 2009 para atrás se realizaban utilizando personal para guiar la nave, en el año 2010 se implementó el sistema de GPS y es el mismo que se continúa utilizando a la fecha. La información se obtuvo mediante la recopilación de registros existentes en la base de datos de la empresa, lo anterior previo a la respectiva autorización. Se establecieron como variables de estudio la producción de toneladas de caña por hectárea, el rendimiento de azúcar en kilogramos por hectárea, el costo de aplicación de una hectárea y la eficiencia de aplicación. Se pudo determinar que la influencia del cambio de tecnología fue a nivel de costos, en el aprovechamiento de la información generada en el propio momento de la aplicación, y que tanto el rendimiento de azúcar como la producción de caña son determinadas por condiciones climáticas. Se recomienda una actualización tecnológica constante para mejorar el control de las actividades y su efectividad.

IMPLEMENTATION OF THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) IN SUGARCANE AERIAL APPLICATIONS; SANTA ANA SUGAR MILL (2009-2012)

SUMMARY

The objective of this case study was to document the technological impact on the implementation of aerial applications by using the Global Positioning System (GPS) in the production of sugarcane in the Santa Ana sugar mill, during the 2009-2012 period. The Santa Ana group is an agribusiness complex dedicated to the production of sugarcane, sugar processing, and generation of power supply. Among the crop management activities, the application of maturing agents and flower inhibitors are included. These activities are carried out by air; however, prior to 2009 the staff guided the aircraft, but in 2010 the GPS system was implemented and the same procedure is used up to this date. The information was obtained by gathering registries from the available data base, after obtaining the company's authorization. As study variables, the following were established: production of sugarcane tons per hectare, yield of sugar in kilograms per hectare, application cost per hectare, and application efficiency. It was determined that changing the technology had an influence on the costs, taking advantage of the information generated at the time of the application; it was also determined that the sugar yield and sugar cane production are determined by the weather conditions. A continuous technological update is recommended to improve the activities control and effectiveness.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar en la actualidad participa activamente en la economía de Guatemala, provocando un impacto al generar 65,000 empleos directos, 350,000 empleos indirectos, cultivando un área de 230,000 hectáreas que equivalen al 2.1 % del territorio nacional. El azúcar para la zafra 2009/2010 represento el 10.25% del PIB y el 20.80% de las exportaciones agrícolas. En el mercado internacional hasta el momento ocupa el quinto lugar como país exportador de azúcar, el segundo en Latinoamérica, y el tercer lugar en productividad (toneladas métricas de azúcar/ha) (AZASGUA, 2010).

El crecimiento en área cultivada a provocado que el cultivo de la caña de azúcar se haya vuelto extensivo, por esa razón a nivel ingenios se han adoptado las aplicaciones aéreas agrícolas como parte del manejo agronómico y a la vez se han ido implementando técnicas como el uso del GPS (Sistema de posicionamiento Global)) para sistematizar su ejecución.

Fue en el año 2001 que el Ingenio Pantaleón empezó a realizar las primeras pruebas del GPS en aplicaciones aéreas agrícolas y fue en el año 2004 que se utilizó comercialmente, a la fecha todos los ingenios que conforman la agroindustria azucarera utilizan el GPS (Cifuentes, 2009).

Al inicio se utilizaba personal para trazar, medir, y dirigir la nave, este sistema estaba expuesto al posible error humano ya que estaba influenciado por factores como la topografía, visibilidad, disponibilidad de tiempo, accesibilidad al lugar de bandereo, y la disponibilidad de personal. La política de costos, el proceso de certificación del producto terminado, y la influencia del mercado internacional, hizo que el Ingenio Santa Ana optará por adoptar el uso de GPS en sus aplicaciones aéreas agrícolas, cumpliendo con los requerimientos establecidos (Novartis, 2005).

Con el estudio planteado se pretende generar información que evidencie el impacto que ha generado el cambio de tecnología al Ingenio Santa Ana en el cultivo de caña de

azúcar, en cuanto al rendimiento de azúcar por tonelada de caña, los costos de producción, beneficiando directamente al Ingenio Santa Ana, y a la agroindustria en general.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar comenzó a cultivarse en Guatemala en 1536, los primeros extractores de miel fueron los trapiches y se fundaron en el valle central de Guatemala y en el valle de Salamá (Wagner, 2005).

Para la historia moderna de la caña de azúcar se toma como punto de partida el año de 1960, la era industrial estaba muy desarrollada, fue cuando los ingenios azucareros definieron su estrategia de modernización y crecimiento, convirtiéndose en una de las actividades agroindustriales más importantes del país, siendo el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica, y el tercer lugar en productividad (toneladas métricas de azúcar/ha) a nivel mundial, teniendo un impacto económico y social en el ámbito nacional al generar 65,000 empleos directos, 350,000 empleos indirectos en 230,000 hectáreas que equivalen al 2.1 % del territorio nacional. El azúcar para la zafra 2009/2010 representó el 10.25% del PIB y el 20.80% de las exportaciones agrícolas (AZASGUA, 2010).

2.2 APLICACIONES AÉREAS AGRÍCOLAS

Fue en 1911 cuando el alemán Alferd Zimmerman, forestal, se le ocurrió utilizar los medios aéreos en la agricultura. Al finalizar la I Guerra mundial empiezan a realizarse las primeras aplicaciones, por supuesto con tecnología rudimentaria, lo que suponía realizar los trabajos de manera difícil y peligrosa, en 1935 las aplicaciones eran hechas con polvo seco, En 1929 se tuvo la primera experiencia de aplicación con líquidos en arroz en campos inundados. El final de la II Guerra Mundial da paso a lo que hoy conocemos como aviación agrícola, unido a la aparición de productos fitosanitarios de síntesis, muy eficaces y de coste bajo (TAMSA, 2012).

Las aplicaciones aéreas agrícolas son un sector de vital importancia dentro de la aviación en general y de la industria agropecuaria. Se compone de pequeñas empresas, con pilotos que utilizan las aeronaves para ayudar a los productores rurales en la

producción de alimentos, fibras y biocombustibles en forma segura, asequible y abundante. Las aplicaciones aéreas agrícolas son un componente crítico de la agricultura de alto rendimiento, en el caso de los cultivos extensivos como lo es la caña de azúcar que consiste en el uso responsable de productos fitosanitarios, beneficiando al medio ambiente al producir el máximo rendimiento de cultivos con menos hectáreas. En el caso de la caña de azúcar hay actividades que no se pueden hacer en forma aérea, por lo que se utilizan equipos terrestres (Calamante, 2010).

2.2.1 Las aplicaciones aéreas agrícolas en Guatemala

En la época de los cincuenta, especialmente en el gobierno de Jacobo Arbenz Guzmán, la aeronave contribuyó en gran parte en el desarrollo agrícola del país, ya que en ese entonces al comenzar a fructificar el algodón como uno de los principales productos de exportación del país y por el peligro que acechaban las plagas de insectos a tan importante producto y lo difícil que era controlarlas por medios rudimentarios, así como las grandes zonas agrícolas en el sur del país, se utilizaron para la aspersion pequeños aviones (López, 1993).

2.2.2 Aplicaciones aéreas en caña de azúcar usando banderas

Al implementarse las aplicaciones aéreas en caña de azúcar se utilizaban personas con banderas para guiar la nave. Estas personas utilizando varas de bambú que oscilaban entre 5 y 6 metros de largo, con un pedazo de tela de 1 metro cuadrado en la punta de dicha vara, y colocándose en los puntos definidos al momento del estaquillado, siendo estos el centro de la nave colocándose 3 o 4 banderas a lo largo del bloque de aplicación pasando la nave sobre estas 4 banderas una y otra vez hasta que se diera por terminado el bloque de aplicación (Archivo ingenio Santa Ana).

Para la medida o estaquillado se utilizaba como base la dirección de la línea de vuelo que va a seguir la nave tratando de elegir el lado más largo del bloque y dependiendo del tipo de nave que se utilizaría la medida podría oscilar entre 16 y 20 metros. En seguida se preparaban planos de los bloques de aplicación ya estaquillados, para distribuirlos dentro de los involucrados, al piloto, al encargado de bandereo, al

encargado en pista, en estos planos se incluía toda la información que podría servir de guía para lograr una buena aplicación como lo eran la línea de banderas, linderos de la finca, bloque de aplicación, cultivos vecinos (Ver figura 1).

Durante la aplicación se mantenía un constante monitoreo vía radio transmisor, sobre alineación de banderas, altura de vuelo, calidad de la cortina, presencia de viento.

Pasos para la realización del estaquillado:

- a) Convocar al personal para ejecutar el estaquillado.
- b) Distribuir el personal en las líneas bases de banderas.
- c) Alinear las banderas bases.
- d) Medir a lo largo de cada línea de bandera a cada 16 metros si fuera helicóptero (Ver figura 2)
- e) Colocar las marcas en cada medida con un número correlativo, del 1 hasta el último punto en cada línea de bandera.
- f) A cada 5 marcas corroborar que no se haya perdido la dirección de la línea de vuelo.
- g) En el caso de haber obstáculos para la visibilidad se improvisan brechas para corregir el error.



Figura 1. Trazo de línea de vuelo.



Figura 2. Medición y estaquillado.

Pasos para la ejecución del bandereo:

- a) Convocar al personal para el bandereo.
- b) Distribución del personal con su respectiva bandera.
- c) Ubicar al personal en los puntos de bandereo.
- d) Si no hay suficiente personal, reubicarlos en otros bloques de aplicación.
- e) Durante la aplicación se debe corregir banderas desalineadas.
- f) Al finalizar la aplicación devolver el personal al lugar de origen.

2.2.2.1 Desventajas

- La inexactitud de medir las distancias con pasos o cinta métrica, influenciada por la topografía del terreno.
- El riesgo de contaminación crónica con agroquímicos al estar permanentemente expuesto a la acción nociva de los mismos y los inconvenientes de salud que ello implica para el personal.
- La utilización de una alta cantidad de personal.
- Se necesita de bastante tiempo para planificar.
- La calidad de la aplicación está influenciada por el posible error humano.
- La irregularidad topográfica de los terrenos es una limitante tomando en cuenta que la caña de azúcar es un cultivo alto.
- La inaccesibilidad de las personas al punto de banderilleo son causa de pérdida de tiempo.
- Obstáculos como montañas, ríos, lagunas, cercos son un tropiezo que afecta la visibilidad, el piloto pierde la línea de vuelo porque se desalinean las banderas.
- El diseño de las fincas no permite hacer trazos rectos, lo que implica improvisar trazos rectos.
- Con este método se pierde el control sobre el punto destino de la cortina, ya que se afecta cultivos vecinos, agricultores con otros cultivos, pérdida de producto por efecto de la deriva (Méndez, Bragachini y Scaramuzza, 2004).

2.2.2.2 Ventajas

- El personal puede ayudar en la pista al llenado del depósito de la nave (Méndez et al., 2004).

2.3 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Agricultura de precisión es el término utilizado para describir la meta del aumento de la eficiencia en la administración de la agricultura. Es una tecnología en desarrollo que modifica las técnicas existentes e incorpora otras nuevas para producir un nuevo conjunto de herramientas a ser manejadas por el usuario. Por lo tanto, la agricultura de precisión no es simplemente la habilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local, sino que debe ser considerada como la habilidad para controlar con precisión y asignar la empresa agrícola, así como de tener los conocimientos suficientes para comprender todos los procesos relacionados, de modo que puedan aplicarse los resultados obtenidos para lograr un objetivo determinado. En cuanto a la historia relacionada con la agricultura de precisión, los pilares de la misma se asentaron en los años '70, cuando el Departamento de Defensa Americano comenzó a lanzar los Satélites de Posicionamiento Global (GPS) para ayudar a las piezas de artillería a apuntar a sus blancos y a los submarinos a localizar su posición. Hoy en día estos satélites son también accesibles para cuestiones civiles, pero por razones de seguridad, las señales así recibidas son distorsionadas, de modo que el error obtenido en la posición puede resultar inadmisibles, como es en el caso de su empleo en la agricultura. Por esto un sistema de corrección diferencial (DGPS) se hace totalmente necesario. Este empleo de GPS permite que los agricultores puedan recopilar datos sobre sus terrenos de cultivo, ya sea durante la cosecha o previamente a ella, de tal manera que hoy por hoy los cultivos ya no han de ser necesariamente tratados como una superficie de terreno de características homogéneas, sino que pueden ser tratados acorde con sus características espaciales. Es decir, se ha pasado de trabajar en kilómetros cuadrados a trabajar en metros cuadrados. Esto se ve traducido en una mejor aplicación de pesticidas, semillas, riego, todo lo cual conlleva un sustancial ahorro en costos variables de producción (Colina, 1994).

2.4 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

El sistema GPS concebido originalmente como auxiliar para la navegación de las fuerzas militares de EEUU. Posee 3 subsistemas o segmentos que lo componen:

- Segmento espacial o subsistema satelitario: Está constituido por 24 satélites operativos de la constelación NAVSTAR (GPS), los cuales se hayan distribuidos en seis órbitas elípticas, los satélites tienen un período de casi 12 horas y orbitan aproximadamente a 20.000 km de altitud. La configuración de la constelación asegura que siempre haya un mínimo de cuatro satélites visibles desde cualquier punto de la tierra. Los satélites emiten un código pseudo aleatorio (PRN) en su señal mediante el cual son identificados por sus receptores.
 - Segmento de control o subsistema de control: Controlan la información de los satélites y pueden corregir, aumentando o disminuyendo el error.
 - Segmento de usuario o subsistema del usuario: Por último el segmento usuario que es el que realiza su trabajo en base a la información recibida.
-
- La señal posee diferentes fuentes de error que en mayor o menor medida le dan precisión al dato que obtiene el usuario en su trabajo. Las fuentes de error pueden ser:
 - Relojes atómicos (están en los satélites)
 - Errores de órbita (puede ser controlada desde el segmento de control)
 - Receptores de GPS (mayor o menor calidad)
 - Atmósfera terrestre (ionósfera de 400 km y tropósfera de 80 km de espesor)
 - Multitrayectoria (por galpones o árboles que interfieren la señal que debe llegar al receptor GPS)
 - Geometría satelital (ubicación de los satélites)
 - Disponibilidad selectiva (inducida por el departamento de defensa de los EE.UU. desde el segmento de control) (Méndez et al., 2004).

2.4.1 Antecedentes de la utilización del GPS para la guía en aplicaciones aéreas agrícolas

Según Méndez et al., (2004), en Argentina los sistemas GPS son utilizados en aspersión, fertilización o en sembradoras de grano fino de gran ancho de labor. Básicamente todo el software de banderilleros satelitales cuenta con las mismas funciones para la aplicación y uso en campo, los cuales son muy completos y contemplan todas las situaciones que se pueden presentar durante el trabajo.

De acuerdo a Colina (1994), la empresa colombiana Calima S.A., aplica agricultura de precisión basada en tecnología GPS, para el monitoreo y aspersión aérea de las plantaciones. Para aumentar la eficiencia en el monitoreo, Calima optó por la utilización de un sistema GPS de precisión para la recolección de información geográfica en tiempo real y el levantamiento de mapas y procesamiento de la información.

Colina (1994), expone que la incorporación de tecnología GPS de precisión en las plantaciones de plátano y banano, permitió a Calima obtener beneficios en el corto plazo, tales como: un posicionamiento de precisión de aproximadamente 15 cm, en post-proceso; la posibilidad de seguimiento del tiempo de iniciación y terminación del trabajo de campo y la determinación del área cubierta por el trabajador; la presentación visual de la información, facilitando así su comprensión; la posibilidad de contar con información rápida, eficiente y confiable; la determinación precisa de áreas problemas y sus coordenadas y, finalmente, la optimización de los recursos humanos.

Según Colina (1994), además de la captura de información sobre el grado de severidad de la infección de sigatoka negra en las plantaciones, la utilización de un sistema de precisión GPS permite la recolección y el registro de información geográfica de interés para los productores así como para Calima, esta información incluye: ubicación exacta de los lotes de la plantación, cables de la red eléctrica, carreteras, empacadoras, canales de drenaje, árboles y otros obstáculos, así como sistemas de riego. El sistema

permite además determinar las áreas totales y localizar con exactitud los linderos de los lotes.

En Guatemala, según Yurrita (1997), la Compañía Bananera Independiente Guatemalteca (COBIGUA), incorporó el sistema flying flagman (banderillero aéreo) para su control de aspersión aérea a mediados de 1995.

2.4.2 Utilización del GPS para la guía en aplicaciones aéreas agrícolas

La tecnología de GPS utiliza un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) en tiempo real, con una precisión de 1 - 3 metros rms (error medio cuadrático), para guiar la aeronave y permite la aplicación precisa de los agroquímicos, prestándose además para otras aplicaciones de posicionamiento de precisión, incluyendo la captura de información geográfica y fotogrametría. Esta tecnología ha permitido mantener un excelente control y reducir los costos en los programas fitosanitarios. Con el fin de alcanzar una exitosa aplicación de los agroquímicos usando este sistema, se deben seguir estrictamente los siguientes parámetros:

- Localización exacta de los lotes a asperjar.
- Señalización en tiempo real.
- Ausencia de brisa, temperatura máxima de 80 °F (27 °C) y humedad de 70%.
- Ancho de pasada de 78.74 pies (23.96 mts) con precisión submétrica.
- Altitud de vuelo de 13.12 pies (4.00 m).
- Velocidad de vuelo constante.

La unidad receptora instalada en el avión recibe señales con corrección diferencial de la estación base cada segundo. Estas señales guían al piloto con una precisión submétrica en tiempo real de aproximadamente 75 centímetros. Una vez que la aplicación concluye, el trabajo es registrado y evaluado (Colina, 1994).

Ploteo de Lotes. Esta aplicación permite elaborar gráficas de las plantaciones con coordenadas exactas. El avión vuela bordeando los linderos de la plantación, anexando puntos de referencia en la pantalla hasta que el perímetro esté completamente

cerrado. Una vez terminado el ploteo, el sistema muestra automáticamente el área de la plantación y el número de líneas del avión, las cuales se deben realizar de acuerdo al ancho predeterminado, la localización de la plantación y sus linderos (Colina, 1994).

Opción Línea Base. Esta aplicación está diseñada para la aspersión por sectores. Para este caso en particular, el sistema ofrece dos estilos alternativos de aspersión: punto a punto y carrusel. Al final de la labor de aspersión, se puede observar la plantación asperjada, mas no su área (Colina, 1994).

El sistema de guía de precisión aérea GPS ofrece varias utilidades que permiten incrementar la eficiencia de la aspersión aérea. Entre estas se cuentan:

- Cambiar el ancho de faja de acuerdo a las especificaciones del cliente.
- Cambiar la orientación de la línea de vuelo, de acuerdo a los linderos del lote.
- Modificar los grados de la línea de vuelo.
- Editar un bloque previamente creado para borrar o anexar áreas.
- Modificar la orientación de la aplicación, alterando el orden de la línea de vuelo, o sea, empezando en el número uno y terminando en el número cincuenta, ascendiendo, o descendiendo del 50 al 1.
- Generar un gráfico en la pantalla, haciendo visible la labor realizada y encontrando los errores cometidos con el fin de corregirlos posteriormente (Colina, 1994).

2.4.3 Beneficios de la utilización del GPS en las aplicaciones aéreas agrícolas

Con la utilización del GPS respecto al método empleado se obtienen los siguientes beneficios: (Colina, 1994)

- Se puede aumentar el área trabajada hasta un 20%.
- La información generada puede ser procesada fácilmente en el mismo día, permitiendo la visualización del área recorrida con el fin de garantizar que el área asignada fue cubierta.
- Modificar la dirección de la línea de vuelo a conveniencia del piloto tomando en cuenta la salida del sol, dirección del viento, algún obstáculo.

- Se puede interrumpir una aplicación por cualquier razón y continuar sin sobre o subdosificar.

La incorporación de tecnología GPS de precisión garantiza obtener beneficios en el corto plazo, tales como: (Colina, 1994)

- Un posicionamiento de precisión de aproximadamente 15 cm, en post-proceso.
- La posibilidad de seguimiento del tiempo de iniciación y terminación del trabajo de campo y la determinación del área cubierta.
- La presentación visual de la información, facilitando así su comprensión.
- La posibilidad de contar con información rápida, eficiente y confiable.
- La determinación precisa de áreas problemas y sus coordenadas.
- Redirecciona la línea de vuelo a conveniencia del piloto.
- Finalmente, la optimización de los recursos humanos.

2.4.4 Programa NAVVIEWW (es un paquete de software GIS) utilizado en Ingenio Santa Ana para operar el GPS

2.4.4.1 Usos del programa NAVVIEWW:

- Repetir y analizar la información AG-NAV (sistema de de navegación DGPS).
- Exhibir un mapa digital para sobreponer información.
- Digitalizar nuevas áreas de aspersión, zonas de exclusión y polígonos exhibidos para ser usados en vuelo real.
- Convertir información AG-NAV al formato DXF Autodesk (referencia autocad)
- Imprimir áreas y proyectos con información de aspersión e información relacionada.
- Copiar información AG-NAV de un disquette a un disco duro y viceversa.
- Editar un archivo de área AG-NAV (NAVVIEWW).

2.4.4.2 Digitalización

- Abrir Archivos de Mapa: NAVVIEWW soporta archivos de mapa digitales en formato ShapeFile (un formato de representación vectorial) de MapInfo (herramienta de Sistemas de Información Geográfica) o rcView, (formato DXF de AutoCad) , y formato Bitmap (el formato propio del programa de Windows o escáner de imagen hasta la versión 1.2). Para la conversión de datos posicionales NAVVIEWW necesita saber los datos de Tierra (elipsoide) y ejes de datos (DX, DY, DZ) de la información en el archivo de mapa seleccionado.
- Control para Imágenes Vectoriales.
- Digitalización de Área de aspersión: Digitalizar un área de aspersión es definir los límites de un polígono que se usa como el área principal para asperjado. Un área de aspersión puede tener zonas de exclusión dentro de los límites y polígonos exhibidos, tanto dentro como fuera de ellos. Se pueden usar de tres a 500 ángulos para definir los límites de un área de aspersión.
- Digitalización de Zonas de Exclusión: Las zonas de exclusión son normalmente las zonas dentro del área de aspersión donde no se debería aplicar asperjado. El piloto irá recibiendo advertencias en tiempo real al irse aproximando a los límites de una zona de exclusión. Cuando la aeronave esté dentro de una zona de exclusión, se considera que está fuera del área de asperjado. Cada área de aspersión puede tener hasta 10 zonas de exclusión, cada zona de exclusión puede tener de 3 a 10 ángulos. Esta sección describe como digitalizar zonas de exclusión. Después que se ha creado una nueva área de aspersión, el usuario puede digitalizar sus zonas de exclusión. Hay dos casillas en el panel izquierdo que deben ser entendidas claramente. Ellas son casilla de zona de exclusión y casilla de ángulo. La casilla de zona de exclusión es la casilla superior cercana a la casilla de ángulo. Muestra los números de la zona de exclusión. La casilla de ángulo muestra los números de ángulos de la zona de exclusión en curso, cuyo número está destacado en la casilla de zona de exclusión.
- Digitalización de Polígonos Exhibidos: Como lo describe su nombre, los polígonos exhibidos son sólo para exhibición. Son utilizados para mostrar los

obstáculos, límites de las subáreas, características GIS tales como ríos, calles, casas, etc. El piloto no obtendrá advertencias en tiempo real cuando se aproxime a los límites de un polígono exhibido. Cada área de aspersión puede tener hasta 100 polígonos exhibidos. Cada polígono exhibido puede tener de 3 a 500 ángulos.

- Digitalización de Puntos de Referencia: Los puntos de referencia en AG-NAV son los puntos de referencia de navegación. El piloto puede obtener, en tiempo real, la guía para volar de un punto de referencia a otro o desde la posición en curso de la aeronave a los puntos de referencia seleccionados. Cada área de aspersión puede tener hasta 20 puntos de referencia. Cada punto de referencia tiene un nombre el cual puede ser definido por 1 a 5 caracteres. Cuando el usuario genera una nueva área de aspersión, todos los puntos de referencia definidos en el archivo ENTRY.NEW serán transferidos al nuevo archivo de área más el punto de referencia por defecto "COR1"(ángulo 1 del área). En NAVVIEWW el usuario puede agregar, borrar o cambiar los puntos de referencia digitalizándolos.
- Cambio de Grillas: Las grillas o franjas son las líneas paralelas dentro del área de aspersión generadas por el programa. El piloto es provisto, en tiempo real, de guía para volar estas líneas para asperjar un área completa. Las grillas son generadas basadas en el ancho de franja, grilla de rumbo y el desplazamiento de la primera línea definida en el archivo de área de aspersión. Cada área puede tener hasta 500 líneas. Normalmente cuando es creada una nueva área de asperjado, NAVVIEWW calcula la mejor línea de rumbo basado en el lado más largo del área de asperjado. Si su rumbo no es el deseado, el usuario puede cambiar el rumbo seleccionando dos puntos. El botón de control y la casilla de exhibición para la grilla de rumbo están localizados debajo de las casillas de puntos de referencia en el panel izquierdo cuando se inicia la función de Digitalización.
- Registro de Mapa Bitmap (Tramado): Un mapa bitmap (tramado) es un mapa tramado que es sólo la imagen del mapa. El archivo bitmap no posee las coordenadas reales ni ninguna referencia a las coordenadas del mundo real.

Registrar un mapa tramado significa establecer una a una las correspondencias entre los puntos de la imagen (píxeles) y las coordenadas reales, tanto geográficas como UTM (NAV VIEWW)

2.4.4.3 Copia

La función "Copiar" se utiliza para copiar archivos de un disco floppy a un disco duro o archivos AG-NAV del disco duro a un disco floppy. Al copiar archivos de un disco floppy al disco duro, si el disco floppy posee un subdirectorío, NAVVIEWW creará el mismo subdirectorío en el disco duro antes de copiar los archivos en el subdirectorío. Todos los archivos del disco floppy (unidad de almacenamiento), no siendo necesariamente archivos AG-NAV, pueden ser copiados al disco duro. Cuando se encuentre un archivo comprimido (ZIP), NAVVIEWW lo descomprimirá automáticamente. Al copiar archivos del disco duro al disco floppy, solo se pueden seleccionar y copiar archivos AG-NAV. Se creará el directorío de datos en el disco floppy y todos los archivos relacionados serán copiados a ese directorío. Notar que no se efectúa compresión en estos archivos de datos (NAVVIEWW).

2.4.4.4 Edición

El editor en NAVVIEWW se utiliza solamente para el área de asperjado o ENTRY.NEW. El usuario puede utilizar este editor para revisar la información configurada para el área seleccionada o para una nueva área vía el archivo ENTRY.NEW, o para imprimir el archivo. No es recomendable crear un archivo de área para una nueva área porque para un archivo de área debe seguirse estrictamente el formato y este editor no revisa la validez de los ingresos. El usuario puede editar el archivo existente si se requiere y guardarlo. Pero se recomienda utilizar el programa AGMAN o AGMANAIR (utilitario que se provee gratis con el paquete de software AGNAV) para crear un nuevo archivo de área o editar uno existente (NAVVIEWW).

2.5 TIPOS DE AERONAVE QUE SE UTILIZAN PARA LAS APLICACIONES AGRÍCOLAS AÉREAS

Se utilizan helicópteros y aviones; en cuanto a los helicópteros se refiere se puede mencionar su versatilidad extrema, es más eficiente en la distribución de la mezcla

sobre el destino, trabajando a velocidades lentas en el aire, un alto grado de maniobrabilidad, la capacidad de parar en el aire y visualizar el área, por estas razones los helicópteros son los recomendados para realizar aplicaciones aéreas agrícolas en aéreas pequeñas e inaccesibles considerándose esta condición para el piloto una situación de riesgo. El modelo de helicóptero más utilizado es el Bell Ranger (Ver figura 3).



Figura 3. Helicóptero Bell Ranger

Los aviones son utilizados en áreas amplias, teniendo la necesidad de disponer de espacio para maniobrar y al igual que el helicóptero en condiciones adecuadas también garantiza una buena aplicación. Entre las naves que se utilizan en caña de azúcar se pueden mencionar

Avioneta grande Trush Commander (Ver figura 4).

Avioneta pequeña Pawnee (Ver figura 5).

Avioneta pequeña Cessna (Ver figura 6).



Figura 4. Avioneta grande Trush Commander



Figura 5. Avioneta pequeña Pawnee



Figura 6. Avioneta pequeña Cessna

2.6 ACTIVIDADES EN LAS QUE SE USAN LAS APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR

Se mencionan y se describen las actividades puesto que se incurre en un presupuesto alto y el beneficio o daño dependiendo de una buena aplicación agrícola aérea.

2.6.1 Aplicación de madurantes en caña de azúcar

Esta actividad se realiza para inducir la maduración en la planta de caña de azúcar y se realiza al final del ciclo de vida, que es donde se obtiene el mejor efecto, oscilando entre los 10 y 12 meses de vida dependiendo de la variedad (Montano, 2010).

2.6.1.1 Objetivos del empleo de madurantes

A pesar de que al cultivo de caña se le presentan condiciones desfavorables, con la aplicación de madurante se persigue una mayor concentración de azúcar, así mismo inhibir la floración en algunas variedades, por efectos fisiológicos las hojas se secan liberando la caña de materia extraña, ya que al momento de la quema la caña queda más limpia, con esto se evitan costos adicionales, como transporte, es decir una reducción en la relación de toneladas de caña y toneladas de azúcar, puesto que se transporta caña sin basura y con mayor contenido de sacarosa. La caña tratada con el madurante, puede dar un aumento en la productividad, debido al incremento de sacarosa y la pureza de los jugos obtenidos, pues se beneficia la molienda de caña de buena calidad. Se ha demostrado que la caña tratada con el madurante tiende a deteriorarse con menor rapidez después del corte, que la no tratada. Esto conserva el azúcar ya almacenado dentro de los tallos de la caña, para los ingenios que por razones imprevistas no pueden procesar la caña dentro de las 48 horas después del corte (Romero, Scandalariis, Olea y Sotillo, 1997).

2.6.1.2 Impacto económico

El beneficio directo que se obtiene de la aplicación de un madurante está representado por el incremento en el rendimiento de azúcar recuperable que se obtiene, menos los costos de la aplicación. Los costos de aplicación están representados por el valor del producto, el costo del vuelo de la aeronave, la mano de obra y otros costos adicionales.

Los incrementos periódicos de estos costos, las diferentes respuestas de las variedades al madurante y las variaciones en el precio del azúcar, hacen difícil determinar la rentabilidad exacta de esta práctica. Sin embargo, se puede asegurar que el incremento de 1 kg de azúcar por tonelada de caña molida es suficiente para pagar la inversión. En forma adicional a los beneficios económicos, con la aplicación de madurantes es posible aumentar la productividad por unidad de área, con lo cual se puede reducir el área que sería necesario sembrar y las toneladas que sería necesario cortar, alzar, transportar y moler para producir el azúcar adicional que se logra mediante la aplicación del producto (Romero, et al., 1997).

2.6.1.3 Riesgos de su utilización

Para obtener el máximo aprovechamiento de esta técnica es fundamental realizar una adecuada planificación, un manejo exigente y cuidadoso que permita prevenir, y minimizar los riesgos implícitos, los cuales se citan a continuación:

- Daños en cultivos vecinos.
- Reducción de la producción cultural del cañaveral aplicado por efecto de altas dosis o de aplicaciones muy tempranas.
- Posibles efectos en el rebrote y/o en el rendimiento cultural del ciclo siguiente en lotes estresados, por efecto de sobredosis, o fajas de sobreaplicación.
- Deterioro de la calidad fabril por retrasar la época de cosecha.
- Afectar la capacidad de brotación de yemas de lotes destinados a caña semilla (Romero, et al., 1997).

2.6.2 Aplicación de Inhibidor de flor en caña de azúcar

El efecto de la floración sobre el rendimiento en azúcar y el tonelaje de caña dependerán de la edad del cultivo y de la intensidad de la floración. Cuando comienza la floración se suspende la formación de nuevos entrenudos y se promueve la formación de yemas laterales; se inicia la formación de médula corchosa que se forma en la parte superior del tallo y se va extendiendo hacia abajo, dependiendo principalmente de las condiciones de humedad. En condiciones de sequía, las áreas de médula se unen y se forma un núcleo meduloso que contiene muy poco jugo, y cuando

estas cañas se procesan, hay un resultado extra de fibra con muy bajo contenido de azúcar (Chavez, 1981).

El factor climático que controla el mecanismo de floración en caña de azúcar es el fotoperiodo, la temperatura, la madurez y la humedad del suelo, se indica que el fotoperiodo es el factor más importante en la floración de la caña de azúcar. La hoja, es el sitio de percepción de las señales lumínicas que inducen a la floración, lo cual implica que algo debe transportarse de la hoja al ápice en desarrollo en el que se formará la flor. La respuesta a la floración requiere cuatro pasos (Granados, 2008):

- la percepción del estímulo
- la transformación del órgano receptor a un nuevo esquema metabólico
- el transporte del estímulo resultante
- una respuesta del ápice en desarrollo que resulta en floración, el efecto del fotoperiodo en la floración se realiza a través de la acción de un pigmento tetrapirrólico llamado fotocromo.

Es necesario el suministro de 13 horas luz, complementando el número de horas luz con luz artificial, seguidamente se disminuye dos minutos cada dos días hasta 12 horas 30 minutos para favorecer la floración. Al realizar el estímulo el punto de crecimiento del tallo es inducido a cambiar del estado vegetativo al estado reproductivo, no se forman más hojas ni entrenudos y se interrumpe el crecimiento adicional, si se inicia la floración, los entrenudos que se encuentran debajo forman tejidos medulosos que contienen poco o ningún jugo y por consiguiente poco o ningún azúcar, dependiendo del tiempo que transcurra entre el período de inducción y la cosecha, este problema progresa hacia abajo del tallo, y ha habido 20% a 30% de pérdida de azúcar. La floración también induce el crecimiento de retoños sobre los entrenudos y esto también contribuye a la pérdida en la calidad de la caña. La medulosidad que resulta debido al florecimiento creará problemas en el molino. Además de producir menos azúcar, los tejidos medulosos de la caña florecida pueden retrasar el proceso de decantación. Esto causa costosos retrasos durante los puntos máximos en la molienda. Al reducirse las horas luz del día, por debajo de 2.5 horas, las variedades floríferas de caña de azúcar sufren la inducción de la floración. El florecimiento tiene un efecto perjudicial en la

producción, lo cual se agrava progresivamente con el tiempo después de inducida la floración, los tallos de caña que tienen tres o cuatro entrenudos completamente desarrollados (caña de más de siete meses de edad), han alcanzado madurez suficiente y pueden ser inducidos a florecer, y si esto ocurre causará una pérdida en la producción de azúcar. Durante la floración también se inicia el desarrollo de los órganos reproductivos, bajando los contenidos de sacarosa por su alto requerimiento de energía. Energía acumulada durante la fase vegetativa.

Efectos provocados por la floración (Granados, 2008):

- Reducción evidente de la absorción radical y reducción en el abastecimiento de carbohidratos.
- Reducción en la velocidad de la actividad fotosintética.
- Muerte de las hojas inferiores y distribución retardada de nutrientes.
- El desarrollo se detiene.
- Enriquecimiento en azúcares en la parte superior del tallo.
- Emisión de brotes laterales (lilas).
- Formación descendente de la médula del tallo.
- Deshidratación de los tejidos.
- Baja recuperación de azúcar en el ingenio.

2.7 INFLUENCIA DE FACTORES CLIMÁTICOS Y EDAFOLÓGICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA Y RENDIMIENTO DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una planta que presenta una amplia variabilidad y una reconocida capacidad de adaptación cuando es sometida a condiciones desfavorables de clima, de manejo y de suelo. Es decir, se sustenta en ventajas como su adaptación a un amplio ámbito de condiciones agroecológicas, baja sensibilidad a pobres condiciones de fertilidad del suelo y a regímenes cálido-húmedos prolongados. La conformación anatómica y las características fisiológicas propias de la especie *Saccharum officinarum*, proporcionan los mecanismos necesarios y suficientes para caracterizarla como una planta altamente eficiente, lo que favorece su capacidad de adaptación. Sin

embargo, para manifestar su máximo potencial productivo, la caña requiere de un estudio preciso de las condiciones ambientales, meteorológicas y edafológicas (SIVICAÑA, 2012).

En lo que respecta a la fertilidad del suelo, se acepta internacionalmente que la planta de caña puede tolerar variaciones severas en la fertilidad y en el equilibrio nutricional, pese a lo cual los rendimientos agroindustriales decrecen en la medida en que los niveles de fertilidad son bajos o mal equilibrados. Está establecido que la producción potencial de biomasa y sacarosa se logra cuando se dispone de humedad suficiente, pero también depende del fotoperiodo, la estructura y arquitectura de tallos y hojas, población y distribución de los tallos (SIVICAÑA, 2012).

La producción alcanzable u obtenible depende de la acción de los factores que limitan a la producción potencial como son la disponibilidad de agua y de nutrientes. Estos factores se manifiestan en problemas para el cultivo, y son: (SIVICAÑA, 2012)

- La disponibilidad de agua y su suministro; es decir, la cantidad, frecuencia y la intensidad de las lluvias, la disponibilidad y eficiencia del riego y la calidad del agua.
- Las características físicas y químicas del suelo: textura, estructura, profundidad, pH, salinidad y sodicidad
- La presencia de niveles freáticos elevados que son nocivos para el cultivo, lo que se relaciona con la existencia, profundidad, separación y eficacia de un sistema de drenaje.
- Los factores que se derivan del genotipo de caña, como floración temprana y el grado de erección del tallo.
- Un clima ideal para el cultivo de caña es el que presenta dos estaciones distintas: una caliente y húmeda, para proporcionar la germinación, el macollaje y el desarrollo vegetativo, seguida de otra fría y seca, para lograr la madurez y la consecuente acumulación de sacarosa en los tallos.

- Malezas nocivas, plagas, enfermedades, agentes contaminantes, fenómenos naturales (inundaciones, heladas, huracanes y quemadas accidentales).
- Tecnología; por ejemplo, la disponibilidad de la infraestructura de riego y de drenaje, mecanización y el conocimiento del sistema.
- Administración, en lo relacionado con el manejo del cultivo
- Factores ambientales, políticos, sociales y económicos, como la tenencia de la tierra y el tamaño de la unidad productiva.

2.7.1 Factores climáticos

La caña de azúcar se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas, pero se desarrolla mejor en regiones tropicales, cálidas y con amplia radiación solar. Las características climáticas ideales para lograr una máxima producción de azúcar de caña son: La presencia de una estación calurosa larga, con alta incidencia de radiación solar y una adecuada humedad. La planta utiliza entre 148 a 300 ml de agua para producir 1 g de materia seca.

La presencia de una estación seca, soleada y fresca, libre de heladas, es necesaria para la maduración y cosecha. El porcentaje de humedad cae drásticamente a lo largo del ciclo de crecimiento de la caña, de un 83% en plantas muy jóvenes a un 71% en la caña madura, mientras que la sacarosa aumenta de menos de 10% hasta 45% del peso seco (SIVICAÑA, 2012).

- Lluvia: Una precipitación total entre 1500 y 1800 mm es adecuada en los meses de crecimiento vegetativo, siempre que la distribución de luz sea apropiada y abundante. Después debe haber un período seco para la maduración. Durante el período de crecimiento activo la lluvia estimula el rápido crecimiento de la caña, la elongación y la formación de entrenudos. Sin embargo, la ocurrencia de lluvias intensas durante el período de maduración no es recomendable, porque produce una pobre calidad de jugo y favorece el crecimiento vegetativo; además, dificulta las operaciones de cosecha y transporte. En condiciones adecuadas, el rendimiento se incrementa en proporción

directa con la cantidad de agua disponible, y más agua disponible más toneladas de caña por hectárea, lo que influye directamente en las prácticas de manejo del cultivo (SIVICAÑA, 2012).

- **Temperatura:** El crecimiento está directamente correlacionado con la temperatura. La temperatura óptima para la brotación (germinación) de los esquejes es de 32 °C a 38 °C. La germinación disminuye bajo 25 °C, llega a su máximo entre 30-34 °C, se reduce por sobre los 35 °C y se detiene cuando la temperatura sube sobre 38 °C. Temperaturas sobre 38 °C reducen la tasa de fotosíntesis y aumentan la respiración. Por otro lado, para la maduración son preferibles temperaturas relativamente bajas, en el rango de 12-14 °C, ya que ejercen una marcada influencia sobre la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo y el enriquecimiento de azúcar de la caña. A temperaturas mayores la sacarosa puede degradarse en fructosa y glucosa, además de estimular la fotorrespiración, que produce una menor acumulación de azúcares. Por otro lado, condiciones severas de frío inhiben la brotación de las socas y reducen el crecimiento de la caña. Temperaturas inferiores a 0 °C producen el congelamiento de las partes más desprotegidas, como las hojas jóvenes y las yemas laterales. El daño depende de la duración de la helada. La incidencia de la marchitez es mayor cuando las temperaturas mínimas caen drásticamente (SIVICAÑA, 2012).
- **Humedad relativa:** Durante el período de crecimiento rápido, las condiciones de alta humedad (80 - 85%) favorecen una rápida elongación de la caña. Valores moderados, de 45 - 65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos durante la fase de maduración (SIVICAÑA, 2012).
- **Luz Solar:** La luz como principal fuente de energía para los cultivos, en este caso caña de azúcar, juega un papel importante en la producción y almacenamiento de sacarosa en las hojas y en los tallos, respectivamente. En la producción, porque siendo la caña de azúcar una planta fotosintéticamente C4, la hace, por

un lado, muy eficiente en la absorción de energía lumínica en los cloroplastos, pero por el otro, también muy exigente en los niveles de energía radiante que deben estar alcanzándose en los tejidos foliares, para poder ser eficiente en la formación de biomasa que agronómicamente se traduce en tonelaje de caña y finalmente azúcar (SIVICAÑA, 2012).

2.7.2 Factores edafológicos

El suelo es el medio para el crecimiento de la planta. Proporciona nutrimentos, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La manutención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar. La caña de azúcar puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos. Las condiciones edáficas ideales para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, una capa freática debajo de 1.5 a 2 m de profundidad y una capacidad de retención adecuada de la humedad junto a los factores climáticos constituyen la base para el desarrollo del cultivo (SIVICAÑA, 2012).

2.8 CRITERIOS TÉCNICOS Y AGRONÓMICOS A CONSIDERAR EN UNA APLICACIÓN AÉREA AGRÍCOLA

El principal criterio para lograr un éxito biológico con una aplicación aérea agrícola, es tener previamente claro los conceptos que abarcan la productividad, la eficacia y la protección al ambiente (el medio ambiente más el hombre) (Ferrazzini, 2004).

Una aspersión no es más ni menos que suplantar una masa de aire existente en el cultivo, por otra masa de aire que contiene gotas del fitosanitario, siendo esta operación más viable cuando existen movimientos de aire en el cultivo. No es recomendable la realización de una aspersión cuando la velocidad de viento es prácticamente nula. En la década de 1970 se hablaba de asperjar, luego durante 1980, el concepto era “mojar bien”, a partir de 1990 a la fecha, empezamos hablar de “cantidad de gotas por centímetro cuadrado (cobertura); gotas en el blanco; “amplitud relativa del diámetro mediano volumétrico”; “coeficiente de variación de la aspersión (como medida de la

homogeneidad en la distribución de las gotas en el cultivo)” y de “deriva del agroquímico como parámetro indeseable para toda aplicación aérea agrícola” (Ferrazzini, 2004).

De poco sirve haber definido el momento óptimo de aplicar (ocasión biológica ideal para la aplicación de un fitosanitario), elegir el agroquímico adecuado y la dosis, cuestionándonos si podemos mantener la misma en todas las hectáreas por aplicar, cual es el rango de dosis optima, si podemos definirla sin considerar las variables clima-factor problema-cultivo, si no tenemos una técnica de aplicación adecuada (Ferrazzini, 2004).

2.8.1 La nave

2.8.1.1 Efecto de vórtice

Un vórtice o torbellino (vortex) es una masa de aire que gira sobre si misma, alrededor de un eje de rotación denominado línea de vórtice. El humo de un cigarrillo es un ejemplo sencillo de vórtice. Para un avión, un análisis de flujos vistos en planta, permite observar que los filetes que viajan por encima del ala se acercan al fuselaje (rojo), y los que viajan por debajo (amarillo) se alejan del fuselaje. En consecuencia, en el extremo del ala, el filete inferior no encuentra a su homólogo superior, y se produce el vórtice en las puntas del ala. Esta conclusión, permite recomendar que la barra de aspersión sea más corta que la envergadura alar (distancia de punta a punta del ala) o que su último aspersor se ubique alejado del extremo. Para aviones medianos se recomienda un valor del 70%, y para los más grandes 60%, reduciendo así al mínimo el efecto de vórtice (Leiva, 2009).

2.8.1.2 Arrastre de la hélice

Este efecto comúnmente es el de arrastre de la hélice. En aviones con motores de sentido de giro horario (visto de de atrás) éste se produce de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda. La consecuencia que esto tiene para el asperjado (analizado en la pasada simple) es un desplazamiento de la cortina de aspersión hacia el lateral izquierdo. Para compensar este efecto se suele cambiar la configuración de los

aspersores, colocando mayor cantidad debajo del ala derecha y próximos al extremo proximal del ala (Leiva, 2009).

2.8.2 El ambiente

Los factores ambientales, tales como temperatura y humedad relativa del aire, son muy importantes para las aplicaciones aéreas, porque determinan el tipo de reacción de las plantas a los estímulos o tratamientos externos. Los factores ambientales y horario de aplicación que deben ser considerados y respetados para la aplicación eficiente de herbicidas con el fin de obtener buenos resultados son los siguientes: (ANDI, 2003).

2.8.2.1 Temperatura

Debe aplicarse con temperatura inferior a 30 °C. Existen agroquímicos que requieren cierta temperatura mínima para su rápida acción dentro del vegetal, como el caso del glifosato que, aplicado a temperatura inferior a 15 °C, retarda su acción y en consecuencia su efecto sobre el vegetal. La temperatura puede influir en los resultados de ciertos agroquímicos, por lo que se recomienda trabajar a temperaturas no mayores de 30 °C (ANDI, 2003).

2.8.2.2 Humedad relativa del aire

La recomendación es aplicar con humedad relativa del aire superior a 60%, para evitar el secado de las gotas de aspersión, y asegurar que la misma llegue en su totalidad al objetivo. Otro inconveniente es que con baja humedad relativa del aire, el vegetal se encuentra en estado de estrés. Temperaturas altas (mayor que 30 °C) y baja humedad del aire (menor que 60%) favorece a la pérdida del producto por volatilización. Existen coadyuvantes que ayudan a evitar este inconveniente pero significa aumento en el costo de aplicación (ANDI, 2003).

2.8.2.3 Velocidad del viento

La misma no debe sobrepasar de 5 kilómetros por hora. Es importante considerar siempre la velocidad del viento para las aplicaciones aéreas, asegurando así que el producto aplicado llegue al objetivo (aplicación eficiente) y no se deposite en otras áreas no deseadas por efecto de derivas, causando perjuicios a otros cultivos de la misma propiedad o a la del vecino, evitándose molestias y trastornos debido a una mala aplicación. Se entiende por deriva el transporte de las gotas de aspersion a otras áreas no deseadas, fuera del lugar de aplicación. La distancia de la deriva depende del tamaño de las gotas de aplicación y la velocidad del viento (ANDI, 2003).

2.8.2.4 Posibilidad de lluvia

Se recomienda no aplicar cuando se aproximan lluvias inminentes, porque el producto aplicado puede ser lavado con las aguas de lluvia, con la posibilidad de infiltrarse en el subsuelo o llegar a cursos de agua, contaminando a los mismos. Cada producto herbicida presenta un tiempo requerido para su absorción por el vegetal, que se encuentra indicado en la etiqueta del envase del herbicida; y si ocurren lluvias antes de este tiempo, el producto no es absorbido por el vegetal y es lavado por las aguas de lluvia. Por lo general se recomienda que no llueva 4 horas después de la aplicación (ANDI, 2003).

2.8.2.5 Horario de aplicación

Lo recomendado es aplicar en las primeras horas del día hasta las 10:00 horas y en las últimas horas de la tarde a partir de las 17:00 en adelante, evitando las horas más calurosas del día comprendida entre los horarios citados. Además, en este horario se dan normalmente las condiciones ambientales ideales, citadas arriba, para la aplicación. Respetando este horario se asegura que la planta esté activa, por lo que la respuesta a la aplicación va a ser la deseada. De lo contrario, en los horarios más calurosos del día, las mismas se encuentran en estado de estrés, con las hojas caídas, prácticamente inactivas. Las plantas cierran sus poros cuando la temperatura aumenta para evitar la evaporación de agua como defensa y protección del intenso calor, con

menores posibilidades de absorber el producto, incidiendo negativamente en los resultados. Otra razón importante constituye la preservación de la salud de la persona que aplica el producto, ya que hará la aplicación en horarios más amenos del día, lo cual mejora el rendimiento en el trabajo y reduce los riesgos de intoxicación. Sin embargo, si se aplica en horarios no apropiados, estará más expuesto a posibles intoxicaciones, pues en las horas de mayor calor, los poros de la piel se abren para facilitar la transpiración, el sudor es mucho más intenso, aumentándose así el riesgo de que el producto penetre por la piel, el cansancio es mayor y la respiración más frecuente (ANDI, 2003).

2.8.2.6 Deriva de agroquímicos

Entendemos por deriva el aerotransporte de gotas de cualquier fitosanitario que caiga fuera del área objeto, entendiendo por área objeto, el cultivo al cual deseamos asperjar. Si bien ésta es una definición muy amplia, es totalmente comprensible y no debe confundirse con el término endoderiva (deriva de gotas dentro del área objeto. Si nos ajustamos a esta precisión, lo que está prohibido es la exoderiva y no la endoderiva. Si bien lo anteriormente expuesto responde a lo denominado deriva primaria, es bien conocida la volatilización de algunos fitosanitarios, pueden mantenerse suspendidos por efecto de inversión térmica, desplazarse dependiendo de la velocidad y dirección del viento a considerables distancias. A este tipo de deriva se le conoce como secundaria (Ferrazzini, 2004).

2.8.2.7 Inversión térmica

Es un fenómeno que se presenta cuando en las noches despejadas el suelo ha perdido calor por radiación, las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores de aire lo cual provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud (lo que es un fenómeno contrario al que se presenta normalmente, la temperatura de la tropósfera disminuye con la altitud) (El siglo, 2003).

Esto provoca que la capa de aire caliente quede atrapada entre las 2 capas de aire frío sin poder circular, ya que la presencia de la capa de aire frío cerca del suelo le da gran

estabilidad a la atmósfera porque prácticamente no hay convección térmica, ni fenómenos de transporte y difusión de gases y esto hace que disminuya la velocidad de mezclado vertical entre la región que hay entre las 2 capas frías de aire (El siglo, 2003).

Este fenómeno climatológico se presenta normalmente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres. También se presenta este fenómeno en las cuencas cercanas a las laderas de las montañas en noches frías, debido a que el aire frío de las laderas desplaza al aire caliente de la cuenca, provocando el gradiente positivo de temperatura (El siglo, 2003).

Cuando se emiten contaminantes al aire en condiciones de inversión térmica, se acumulan (aumenta su concentración) debido a que los fenómenos de transporte y difusión de los contaminantes ocurren demasiado lentos, provocando graves episodios de contaminación atmosférica de consecuencias graves para la salud de los seres vivos (El siglo, 2003).

2.9 CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN EN LAS APLICACIONES AÉREAS EN CAÑA DE AZÚCAR

La uniformidad de la distribución durante la aplicación sobre el objetivo establecido es un factor determinante entre hacer bien o no una aplicación ya sea aérea o terrestre, dependiendo de esto la eficiencia, determinando costos de aplicación y determinando el grado de contaminación de zonas colindantes. Son varios los factores que afectan la uniformidad de la distribución mencionándose algunos como: Boquillas, altura de vuelo, pérdida de presión, filtros obstruidos, condiciones ambientales, velocidad de aplicación. En el ingenio Santa Ana se trabaja con boquillas que producen gota catalogadas como medias de 200 a 300 micrones de diámetro. Cuando se aplican los productos agroquímicos el término deriva es empleado para referirse a aquellas gotas que contienen los ingredientes activos que no se depositan en el objetivo. Las gotas más propensas a la deriva son por lo general las gotas pequeñas con diámetro inferior a 200 micras. La deriva provoca el traslado de un porcentaje de gotas a objetivos no

planeados provocando ineficiencia en el efecto del agroquímico al sub-dosificarlo o sobre-dosificarlo.

El método que se utiliza para controlar la uniformidad de la distribución en una aplicación aérea es el monitoreo con tarjetas hidrosensibles las cuales tienen un recubrimiento especial que al tener contacto con agua o humedad se tiñe de azul. La uniformidad de la distribución en las aplicaciones depende del buen criterio técnico del administrador de dicha actividad ya que él decide aplicar o no tomando en cuenta las condiciones del momento y situación del equipo (Teejet, 2011).

Se procede a colocar extensiones de tubo de pvc (Ver figura 7), ya colocadas las extensiones se colocan las tarjetas hidrosensibles (ver figura 8 y 9), se está listo a que la nave pase sobre el puesto de monitoreo (ver figura 10), ya pasando la nave sobre el puesto de monitoreo (ver figura 11) se procede a recoger las tarjetas y se realiza la lectura correspondiente (ver figura 11). En un tiempo de 10 minutos se tienen resultados del monitoreo el cual nos indica cómo están los parámetros respecto a los estándares establecidos y si hay que ejecutar alguna corrección o ajuste



Figura 7. Colocación de extensiones



Figura 8. Colocación de tarjetas hidrosensibles



Figura 9. Colocación de tarjetas hidrosensibles



Figura 10. Puesto de monitoreo listo



Figura 11. Nave sobre monitoreo



Figura 12. Tarjetas hidrosensibles listas para ser analizadas

2.9.1 Ejemplos de monitoreos realizados en el Ingenio Santa Ana

Cuadro 1. Resultados de un monitoreo época banderillado manual

MONITOREO APLICACIÓN AEREA

Evaluación de Cobertura



Coefficiente de Variación

0 a 15%	Excelente
16 a 25%	Bueno
26 a 35%	Regular
> 35%	Malo

Tarjeta	Gotas/cm2	Media	%	LUGAR:	EQUIPO:
0 T	16	15	11%	La aurora	HELICOPTERO BELL RANGER III
5 C	17	15	13%	FECHA: agosto 2, 2009	ANCHO DE FAJA: 16
10 T	10	15	-32%	HORA: 6:01 a.m.	TIPO DE BOQUILLAS: XR 05
15 C	15	15	4%	PRODUCTO: Optilux (1.5)-Bivert (0.25)-hex (0.003)- Abland (0.001)	PSI & AAT: 35 135°
20 T	15	15	-1%	TEMPERATURA: 25	No. BOQUILLAS 44
25 C	11	15	-27%	HUMEDAD RELATIVA: 90%	VELOCIDAD MPH: 65
30 T	16	15	9%	VEL. DEL VIENTO: 0 Km/Hr	VOL./HA: 7.00 gal/ha
35 C				INV. TERMICA: No Evidente	CALIBRACION (Lt./Min./boquilla):
40 T				PILOTO: Juan Mejia	ALTURA DE VUELO: 5.25
45 C				MATRICULA: TG-LIZ	LTS/Há: 26.50 Norte Sur
50 T				OBSERVACIONES	
55 C				1) Altura 5.5 m s/cañal.	4) Buenas condiciones
60 T				2) Aplicación normal	5) Viento moderado
				3) %CV Bueno	6) Gotas uniformes
					7) Monitoreo con papel hidrosensible
					8) Lotes 105, 106
					9) Listones 5, 6, 7
Prom.:	15			Promedio: 17	Promedio: 15
STDV:	2.37			STDV 2.41	STDV 2.72
C.V.:	16.18			C.V. 14.54	C.V. 18.73
Lim. Sup.:	23.80			Promedio:	Promedio:
Lim. Inf.:	5.47			STDV	STDV
				C.V.	C.V.

Prom. Centros	-3.21%
Prom. Traslape Der.	5.05%
Prom. Traslape Izq.	-11.18%

Fuente: base de datos Ingenio Santa Ana

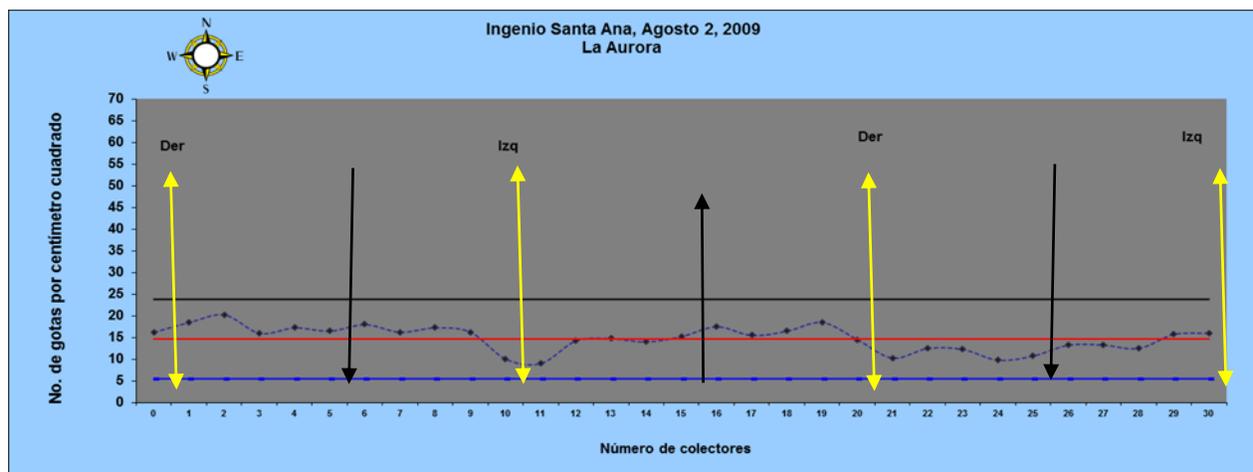


Figura 13. Comportamiento de monitoreo época banderillado manual

Cuadro 2. Resultados de un monitoreo época de GPS

MONITOREO APLICACIÓN AEREA

Evaluación de Cobertura



Coefficiente de Variación

0 a 15%	Excelente
16 a 25%	Bueno
26 a 35%	Regular
> 35%	Malo

Tarjeta	Gotas/cm2	Media	%	LUGAR:	Orinoco	EQUIPO:	HELICOPTERO BELL RANGER III
0 T	28	18	55%	FECHA:	agosto 2, 2011	ANCHO DE FAJA:	16
5 C	20	18	14%	HORA:	6:18 a.m.	TIPO DE BOQUILLAS:	XR 05
10 T	17	18	-6%	PRODUCTO:	Optilux (1.5)-Bivert (0.25)-Inex (0.003)- Abland (0.001)	PSI & AAT:	35
15 C	22	18	21%	TEMPERATURA:	24	No. BOQUILLAS	44
20 T	15	18	-17%	HUMEDAD RELATIVA:	89%	VELOCIDAD MPH:	65
25 C	17	18	-6%	VEL. DEL VIENTO:	No Evidente	VOL./HA:	7.00 gal/ha
30 T	26	18	48%	INV. TERMICA:	No Evidente	CALIBRACION (Lt./Min./boquilla):	
35 C				PILOTO:	Juan Mejía	ALTURA DE VUELO:	5.25
40 T				MATRICULA:	TG-LIZ	LTS/Há:	26.50 Norte Sur
45 C				OBSERVACIONES			
50 T				1) Altura 5.5 m s/cañal.	4) Buenas condiciones	7) Monitoreo con papel hidrosensible	
55 C				2) Aplicación normal	5) Viento moderado	8) Lotes 12-12	
60 T				3) %CV Bueno	6) Gotas uniformes	9) Listones 30, 31, 32, 33	
Prom.:	18			Promedio:	18	Promedio:	17
STDV:	3.18			STDV:	3.27	STDV:	2.89
C.V.:	17.87			C.V.:	17.89	C.V.:	16.70
Lim. Sup.:	28.92			Promedio:		Promedio:	18
Lim. Inf.:	6.61			STDV:		STDV:	3.37
				C.V.:		C.V.:	19.00

Prom. Centros	9.77%
Prom. Traslape Der.	18.91%
Prom. Traslape Izq.	21.02%

Fuente: Base de datos ingenio Santa Ana

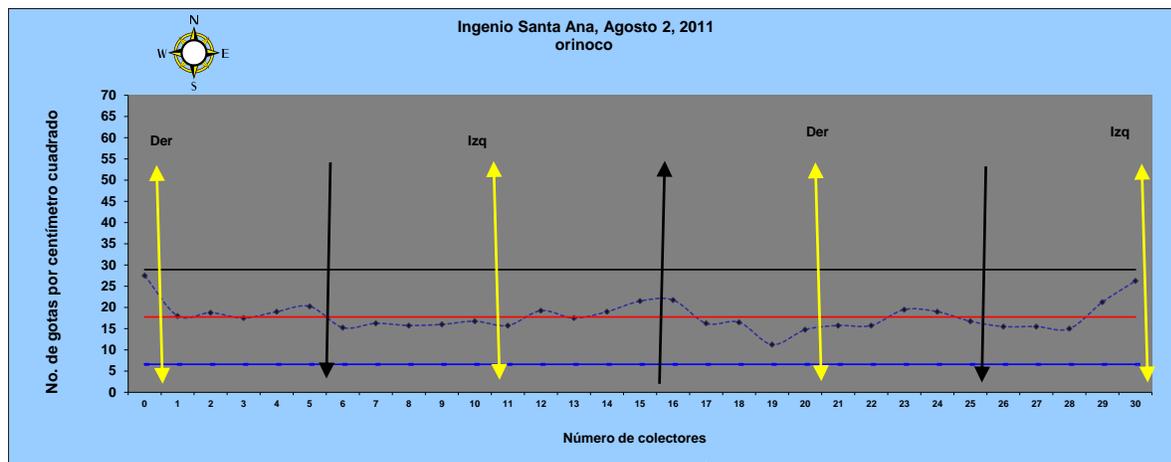


Figura 14. Comportamiento de monitoreo época GPS

Cuadro 3. Resultados del monitoreo de una mala aplicación

MONITOREO APLICACIÓN AEREA

Evaluación de Cobertura



Coeficiente de Variación	
0 a 15%	Excelente
16 a 25%	Bueno
26 a 35%	Regular
> 35%	Malo

Tarjeta	Gotas/cm2	Media	%	LUGAR:	Cádiz	EQUIPO:	HELICOPTERO BELL RANGER III
0 T	44	24	81%	FECHA:	agosto 2, 2011	ANCHO DE FAJA:	16
5 C	25	24	2%	HORA:	9:30 a. m.	TIPO DE BOQUILLAS:	XR 05
10 T	29	24	18%	PRODUCTO:	Optilux (1.5)-Bivert (0.25)-Inex (0.003)- Abland (0.001)	PSI & AAT:	35 135°
15 C	28	24	15%	TEMPERATURA:	30	No. BOQUILLAS	44
20 T	15	24	-38%	HUMEDAD RELATIVA:	69%	VELOCIDAD MPH:	65
25 C	22	24	-10%	VEL. DEL VIENTO:	6 km/hora	VOL./HA:	7.00 gal/ha
30 T	8	24	-67%	INV. TERMICA:	No Evidente	CALIBRACION (Lt./Min./boquilla):	
35 C				PILOTO:	Juan Mejía	ALTURA DE VUELO:	5.25
40 T				MATRICULA:	TG-LZ	LTS/Há:	26.50 Norte Sur
45 C				OBSERVACIONES			
50 T				1) Altura 5.5 m s/cañal.	4) Malas condiciones	7) Monitoreo con papel hidrosensible	
55 C				2) Aplicación normal	5) Viento fuerte	8) Lotes 12-12	
60 T				3) %CV Malo	6) Gotas corridas	9) Listones 30, 31, 32, 33	
Prom.:	24			Promedio:	34	Promedio:	21
STDV:	9.90			STDV:	11.17	STDV:	10.51
C.V.:	40.74			C.V.:	33.13	C.V.:	49.44
Lim. Sup.:	29.30			Promedio:		Promedio:	18
Lim. Inf.:	19.29			STDV:		STDV:	8.02
				C.V.:		C.V.:	44.76

Prom.	Centros	2.21%
Prom.	Traslape Der.	21.42%
Prom.	Traslape Izq.	-24.37%

Fuente: Base de datos ingenio Santa Ana

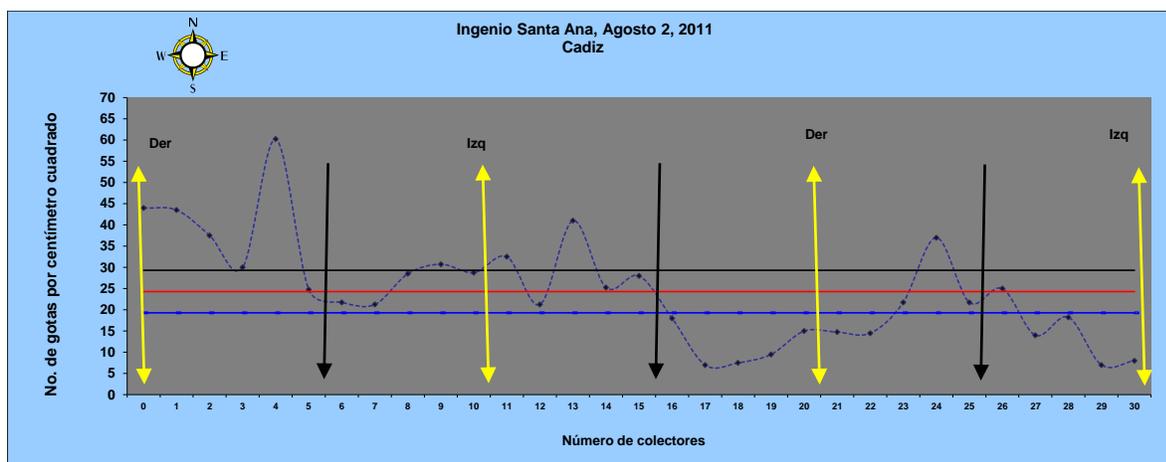


Figura 15. Comportamiento de monitoreo de una mala aplicación

2.10 PARÁMETROS A TOMAR EN CUENTA AL REALIZAR APLICACIÓN AÉREA AGRÍCOLA (Ferrazzini, 2004).

Volumen de mezcla por hectárea: características del agroquímico, uso de mejoradores de la mezcla, calidad del agua.

Calibración: boquillas adecuadas, condición del cañal al momento de la aplicación, ubicación del área a aplicar, condiciones ambientales, calidad de la aplicación aérea (cuantificación de la distribución del fitosanitario en el cultivo).

Pista: equipo de protección, agroquímicos disponibles en el punto de trabajo, posición de las barras porta boquillas en relación al suelo, carga por vuelo, pérdidas o derrames, contaminación, limpieza de parabrisas, tiempo en pista entre aterrizaje y despegue.

Vuelo: mapa del área de aplicación, ubicación de linderos y reservas de recursos naturales, condiciones meteorológicas, deriva, altura de vuelo, la no formación de vórtices, ancho de faja y su desplazamiento, ubicación final de la mezcla al momento de la descarga, cálculo de área por hora, control de calidad de la aplicación (tarjetas hidrosensibles sobre el cultivo, dentro del cultivo y en las periferias).

III. CONTEXTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO

Las aplicaciones aéreas agrícolas en Guatemala datan desde los años 50 y con el pasar del tiempo han tomado importancia económica (López, 1993). En el cultivo de la caña de azúcar fue en los años 70 que se empezó a implementar esta práctica comercialmente, aplicando fertilizantes, insecticidas, herbicidas y madurantes y en los 90 es cuando se aplica a gran escala (Wagner, 2005).

Al inicio se utilizaba personal con banderas para trazar, medir, y dirigir la nave, este sistema estaba expuesto al posible error humano, ya que estaba influenciado por factores como la topografía, visibilidad se interrumpía por la presencia de obstáculos como montañas, ríos, lagunas, cercos, disponibilidad de tiempo, accesibilidad al lugar de bandereo, disponibilidad de personal, el piloto perdía la línea de vuelo por que se desalineaban las banderas, el diseño de las fincas no permitía hacer trazos rectos lo que implicaba improvisar trazos rectos. Con este método se perdía el control sobre el punto destino de la cortina, ya que se afectaba cultivos vecinos, agricultores con otros cultivos, pérdida de producto por efecto de la deriva.

La agricultura moderna demanda una constante mejora en la productividad y eficiencia. La reducción de costos y el ahorro de tiempo, asegura que la empresa agrícola sea eficiente y financieramente estable, lo cual es esencial para competir en los mercados domésticos y globales. Uno de los principales avances tecnológicos que están adoptando la mayoría de productores de caña de azúcar es la utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en las operaciones de campo.

Fue el Ingenio Pantaleón en la zafra 2001-2002 cuando se empezó a realizar las primeras pruebas del GPS (Cifuentes, 2009).

En el año 2009 el Ingenio Santa Ana influenciado por el cumplimiento de requerimientos establecidos por las normas del proceso de certificación del producto terminado, la

influencia del mercado internacional, la política de costos, optó por adoptar el uso de GPS en sus aplicaciones aéreas agrícolas, cumpliendo con los requerimientos establecidos, lo cual significó capacitación para los involucrados, compra del equipo. El empleo de éste sistema está dirigido inicialmente en aplicaciones de mapeo, con lo cual se tiene la capacidad de geo-referenciar las fincas y sus linderos; aplicaciones topográficas que permiten de forma más sencilla, establecer perfiles del terreno para posteriormente obtener curvas a nivel, el transporte, y las aplicaciones de guía aérea precisa. Se logra colocar el producto en el lugar planificado, se evitan daños a vecinos por efecto de un mal cálculo al abrir o cerrar el sistema, se evitaron pérdidas de tiempo; este sistema permite hacer cambios de inmediato de bloques programados que por una u otra razón no se pueden hacer en el momento, se optimizó el tiempo de vuelo de la nave, lo cual es muy importante ya que el precio de una hora de vuelo es de \$ 817.60, con el GPS la información queda registrada siendo de utilidad para evaluar la calidad de aplicación y así poder corregir y prever algunos problemas que se den y que se pudieran dar.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA

El grupo corporativo Santa Ana es una corporación con sobresaliente desempeño. En sus 28 años se ha convertido en uno de los líderes de la agroindustria azucarera; empezó como un pequeño ingenio con capacidad de molienda de 3,000 toneladas métricas de caña de azúcar por día.

Hoy Santa Ana constituye un complejo agroindustrial con una diversidad de productos que son reconocidos a nivel mundial por sus altos estándares de calidad. Santa Ana se dedica a la producción de caña de azúcar, elaboración de azúcar y generación de energía eléctrica. También comercializa subproductos como la melaza, bagazo y cachaza y diversos servicios conexos.

Santa Ana contribuye con el desarrollo de Guatemala, produciendo en promedio 4.9 millones de quintales de azúcar (225,879 toneladas métricas de azúcar) por año y generando 45 MW en los meses de diciembre a marzo y 25 MW en los meses de abril a

noviembre. El total de la generación de energía eléctrica se vende al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.).

El ingenio Santa Ana en la actualidad administra 21,789.40 ha de tierra, de las cuales obtiene 2,071,233 toneladas métricas de caña de azúcar y produce 221,494 toneladas métricas de azúcar. Está dividido administrativamente en área agrícola, industrial y recursos humanos y específicamente el área agrícola que es a donde se va a hacer el análisis la constituyen siete regiones distribuidas geográficamente en la costa sur de Guatemala.

El Ingenio Santa Ana utiliza un helicóptero Bell Ranger para aplicar inhibidor de floración y madurante, y para aplicar fertilizante utiliza un avión Trush Commander.

7540.00 hectáreas con inhibidor de floración

21308.77 hectáreas con madurantes

6833.85 hectáreas con fertilizante.

Al hacer la relación costo beneficio se observa que la inversión es grande y la garantía que se obtenga el beneficio depende de la calidad con que se ejecute la práctica (Hoja Técnica Santa Ana 2012)

3.2.1 Ubicación del estudio

El área que administra el Ingenio Santa Ana esta distribuida según la posición altitudinal entre los estratos litoral, bajo y medio localizándose entre 0 msnm y 160 msnm, el comportamiento de las variables radiación solar y temperatura es mayor en las cercanías a la costa y disminuye conforme se asciende en la zona cañera. Las lluvias están definidas en dos épocas, la lluviosa entre mayo y octubre y la no lluviosa entre noviembre y abril; los cuales coinciden con el periodo de zafra.

El ingenio Santa Ana está ubicado en el km 64.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, interior a finca Cerritos, Escuintla, a una altitud de 160 msnm, con

coordenadas latitud norte $14^{\circ} 14' 23''$, longitud oeste $90^{\circ} 50' 30''$ (Hoja Técnica ingenio Santa Ana, 2012).

IV. JUSTIFICACIÓN

La agroindustria azucarera guatemalteca ha venido creciendo permanentemente desde 1960 hasta llegar a ubicar a Guatemala como el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica y el tercer lugar en productividad (toneladas métricas de azúcar/ha) a nivel mundial.

El azúcar es el segundo producto agrícola en Guatemala, generando un 20.80 % de divisas, constituyéndose en una importante contribución a la economía nacional debido a la inversión económica que se hace, la relación con el medio ambiente, la exposición de las personas a posibles daños causados por los agroquímicos que se utilizan, se tienen que adoptar prácticas que permitan hacer más eficiente el uso de los recursos y asimismo proteger el medio ambiente.

La implementación del GPS en las aplicaciones aéreas como parte del uso de nuevas tecnologías representa un impacto en el aprovechamiento de los recursos. Aportar la dosis correcta en el lugar idóneo y en el momento óptimo sólo puede beneficiar al cultivo, al suelo y a las capas freáticas, y, de este modo, a todo el ciclo agrícola. Por lo tanto, las aplicaciones aéreas utilizando GPS se han convertido en uno de los pilares de la agricultura sostenible, ya que es respetuosa con los cultivos, las tierras y los agricultores.

El Ingenio Santa Ana no está separado del crecimiento que se ha dado y está adoptando técnicas que le garanticen subsistir y una de esas técnicas es la agricultura de precisión, específicamente en la utilización de información obtenida mediante la georeferenciación para aplicaciones aéreas.

Se genera información referida a costos, analizando datos registrados desde el año 2008 de producción de kilogramos de azúcar por tonelada de caña, el costo de aplicación, eficiencia en hectáreas por hora, producción de toneladas de caña por hectárea.

Lo anterior aportará información de costos de las aplicaciones aéreas agrícolas en caña de azúcar, el estudio viene a apoyar la parte humana al mencionar que utilizando el GPS se elimina el riesgo que corre el personal al exponerse al contacto con los agroquímicos, siendo los beneficiarios el Ingenio Santa Ana y la agroindustria azucarera.

Por lo anteriormente mencionado y por el proceso de certificación del producto terminado en el que está el Ingenio Santa Ana, es necesario documentar la sistematización de las aplicaciones aéreas y su influencia económica y ambiental, puesto que en este tipo de prácticas hay interrelación entre ambas y así determinar el beneficio económico, ecológico y humano.

V. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

Documentar el impacto tecnológico en las aplicaciones aéreas al implementar el uso del Sistema de Posicionamiento Global GPS en el cultivo de caña de azúcar, en el Ingenio Santa Ana, durante el periodo 2008-2011.

5.2 ESPECÍFICOS

- Comparar el efecto sobre el rendimiento general de kg de azúcar/ha obtenido al realizar aplicaciones aéreas utilizando GPS vrs. bandereo común.
- Comparar el efecto sobre el rendimiento de toneladas de caña por hectárea obtenido al realizar aplicaciones aéreas utilizando GPS vrs. bandereo común.
- Describir las diferencias económicas entre una aplicación aérea guiada por GPS y otra por bandereo común.
- Determinar la diferencia entre los beneficios agronómicos, sociales y ambientales alcanzados entre una aplicación aérea guiada por GPS y otra por bandereo común.

VI. METODOLOGÍA

6.1 DISEÑO DE INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS

La investigación se realizó en el Ingenio Santa Ana, con previo conocimiento del gerente y posteriormente, se pidió autorización a la persona encargada de las aplicaciones aéreas y al jefe de laboratorio de fábrica, para realizar consultas a los archivos de la empresa, en donde se almacena toda la información relacionada con el tema de aplicaciones aéreas, rendimiento y producción de azúcar durante el periodo del 2008 al 2011. Se realizó una entrevista a personal involucrado en el proceso de producción de caña de azúcar (Ver cuadro 1).

Como instrumentos para la recolección de la información dentro de la empresa se utilizaron:

- Fichas hemerográficas, en donde se registraron todos los datos de identificación de los registros de fincas, informes sobre resultados de investigaciones, memorias, bitácoras, tesis, revistas, páginas web o cualquier otra fuente consultada (Ver Cuadro 2).
- Cuadros o tablas comparativas, a través de las cuales se realizaron comparaciones de los resultados obtenidos de los informes y memoriales de investigaciones realizadas por la empresa.
- En una libreta de notas se estructuró una serie de preguntas abiertas sobre el tema de aplicaciones aéreas y los efectos en la producción de la caña de azúcar (Ver Cuadro 1).

6.2 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recopilaron los registros de los datos contemplados en las variables correspondientes al período de estudio, comprendido entre los años 2008-2011, para hacer comparaciones de cada año entre los resultados obtenidos con las dos

tecnologías, con GPS y el bandereo tradicional en las aplicaciones aéreas agrícolas y así generar información para sacar las conclusiones pertinentes.

Se procedió a realizar las entrevistas planteadas, con el propósito de tomar en cuenta el punto de apreciación de las personas relacionadas con las variables planteadas.

Se revisó y organizó la información obtenida con ayuda del asesor y se seleccionó para luego empezar el proceso de análisis.

6.3 VARIABLES DE ESTUDIO

6.3.1 Rendimiento de azúcar (kg por tonelada de caña)

Es el azúcar que se obtiene al procesar una tonelada de caña, está influenciado por la aplicación de madurante, aplicación de inhibidor de flor, por el complemento de fertilizante, se determinó mediante factores de fábrica. Esta variable se mide mediante la determinación en laboratorio de los valores brix y pol de caña.

6.3.2 Producción de caña (t/ha)

Son las toneladas de caña que produce una hectárea en un ciclo de cultivo, esta información la genera báscula y se menciona como variable puesto que una sobre dosificación de algunos de los agroquímicos usados determina la merma o estabilidad productiva de un lote cultivado, incurriendo en gastos de recuperación de la plantación o inclusive la renovación innecesaria de cañales. Se mide haciendo comparaciones con las producciones anteriores.

6.3.3 Costos de aplicación (Q)

Se refiere a la inversión en que se incurre para realizar una aplicación aérea agrícola, en relación al cambio de tecnología en las aplicaciones aéreas agrícolas en caña de azúcar, son costos diferentes entre la utilización de GPS y el sistema tradicional de bandereo. Se determinó realizando un análisis de la inversión que se realizó para aplicar una hectárea.

6.3.4 Eficiencia de aplicación (hectáreas/hora)

Es el área que se aplica por unidad de tiempo, puesto que el costo de una hora de vuelo es de \$ 817.60, se hace necesario tener ese control tomando en cuenta que el Ingenio Santa Ana aplica entre madurante, inhibidor de flor y fertilizante un total de 35682.52 hectáreas. En relación al cambio de tecnología en las aplicaciones aéreas agrícolas en caña de azúcar son costos diferentes entre la utilización de GPS y el sistema tradicional de bandereo. Se mide haciendo un balance diario entre las horas de vuelo y las hectáreas aplicadas.

6.3.5 Comunidades afectadas por las aplicaciones aéreas (sociales ambientales)

El 100% de los bloques de aplicación tiene en alguno de sus linderos vecinos como comunidades, cultivos ajenos a la caña de azúcar, corredores ecológicos, ríos, bloques de caña que por fecha no les corresponde aplicación, semilleros, potreros, otras fincas con caña, bosques, que pueden ser afectados por deriva que dependiendo del tipo de producto, velocidad del viento, humedad relativa puede ser desde 15 metros hasta kilómetros y que con el uso del GPS se ha logrado minimizar ese problema.

6.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.4.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico utilizando una prueba de “t” para comparar medias de dos muestras emparejadas, para establecer diferencias estadísticas entre ellas.

6.4.2 Análisis económico

Se realizó un análisis mediante la comparación de costos entre las diferentes tecnologías utilizadas en los periodos analizados 2008-2009 y 2011-2012 banderillado con personal y utilización de GPS.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 INTERVENCIÓN

En el Ingenio Santa Ana con miras en lograr cumplir con los estándares, se propuso mejorar las actividades intrínsecas en las aplicaciones aéreas, implementando el GPS en dicha actividad.

Los resultados de una mala aplicación aérea repercuten en la producción y rendimiento, ya que provoca una sobre dosis o una sub dosificación, afectando la densidad del brote, incurriendo en actividades para repoblar; una desecación excesiva del tallo, produciendo corcho, lo cual no es conveniente para fábrica porque el tallo va sin jugo.

Al ejecutar las aplicaciones aéreas la logística se complicaba por la demanda de recurso entorpeciendo actividades ajenas a las aplicaciones aéreas, el trazo, banderillado para la guía de la nave, la corrección de errores sobre la marcha eran complicados, el problema con la deriva, la utilización de bloques de aplicación extensos, se realizaban vía terrestre, presentando dificultad y resultaban poco precisos para la guía del piloto.

En el año 2008 se hizo un estudio económico en donde se incluyeron un sensor laser, GPS, un medidor de flujo, un colector de mano (mapeador), siendo aprobado el proyecto de GPS se empezaron a realizar pruebas del sistema, siendo en el año 2011 cuando definitivamente se definió el 100 % de las aplicaciones aéreas.

Al momento de ser aprobado el proyecto se realizó la compra del equipo y se empezaron a hacer las pruebas, en donde se requirió de un mapeo por lote de toda el área administrada, se incluyó en la plataforma del sistema de información geográfica (GIS), se realizaron pruebas de altura, pruebas de flujo, pruebas de velocidad, pruebas de dirección del viento, disposición de las boquillas en el bum, hasta la fecha se siguen realizando pruebas para alcanzar mejores resultados en las aplicaciones aéreas.

.El equipo involucrado en las aplicaciones aéreas fue el que brindó toda la asesoría para el análisis, y la descripción de las actividades que se mencionan en este estudio de caso.

Toda la información de registros se obtuvo de la base de datos del Ingenio Santa Ana, con autorización de las gerencias respectivas.

7.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.2.1 Rendimiento azúcar por tonelada de caña (kg/t)

La variable rendimiento de azúcar por tonelada de caña se analizó mediante la prueba t de Student, los resultados se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Prueba t para la variable rendimiento de azúcar por tonelada de caña, en el análisis de la implementación del GPS en aplicaciones aéreas en Ingenio Santa Ana.

	Variable 1	Variable 2
Media	101.181242	94.23908539
Varianza	2.89003204	7.358590101
Observaciones	7	7
Coeficiente de correlación de Pearson	0.85575576	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	11.96651701	
P(T<=t) una cola	1.03193E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.943180274	
P(T<=t) dos colas	2.06386E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911846	

Según el cuadro 4, utilizando la prueba t de Student, se encontró diferencia significativa para la variable rendimiento de azúcar por tonelada de caña. Durante la zafra 2008-2009 se registró mayor rendimiento de azúcar por tonelada cosechada, en promedio de las 7 regiones de la empresa (101.18 kg/t), comparado con el rendimiento de la zafra 2011-2012 (94.24kg/t).

7.2.2 Toneladas de caña por hectárea

La variable toneladas de caña por hectárea se analizó mediante la prueba t de Student, los resultados se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Prueba t para la variable toneladas de caña por hectárea, en el análisis de la implementación del GPS en aplicaciones aéreas en Ingenio Santa Ana.

	Variable 1	Variable 2
Media	108.60	112.47
Varianza	90.29	171.53
Observaciones	7.00	7.00
Coeficiente de correlación de Pearson	0.78	
Diferencia hipotética de las medias	0.00	
Grados de libertad	6.00	
Estadístico t	-1.25	
P(T<=t) una cola	0.13	
Valor crítico de t (una cola)	1.94	
P(T<=t) dos colas	0.26	
Valor crítico de t (dos colas)	2.45	

Según el cuadro 5, no se encontró diferencia significativa para la variable toneladas de caña por hectárea, durante la zafra 2008-2009 se registró un promedio de 108.6 t/ha y en la zafra 2011-2012 se obtuvo un promedio general para las 7 regiones de la empresa de 112.47 t/ha.

7.2.3 Eficiencia de aplicación (hectáreas por hora)

La variable eficiencia de aplicación se analizó mediante la prueba t de Student, los resultados se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba t para la variable eficiencia de aplicación, en el análisis de la Implementación del GPS en aplicaciones aéreas en Ingenio Santa Ana.

	Variable 1	Variable 2
Media	61.3414286	51.5457143
Varianza	12.2859143	11.1822619
Observaciones	7	7
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.31762302	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	4.66130795	
P(T<=t) una cola	0.00173132	
Valor crítico de t (una cola)	1.94318027	
P(T<=t) dos colas	0.00346263	
Valor crítico de t (dos colas)	2.44691185	

Según el cuadro 6, utilizando la prueba t de Student, se encontró diferencia para la variable eficiencia de aplicación. Durante la zafra 2008-2009 se registró una mayor eficiencia en las aplicaciones realizadas, en las 7 regiones evaluadas se obtuvo un promedio de 61.34 hectáreas por hora, comparado con la eficiencia de la zafra 2011-2012 en el cual se obtuvo el promedio de 51.54 hectáreas por hora.

7.3 Análisis económico

7.3.1 Rendimiento de azúcar (kg por tonelada de caña)

El rendimiento de azúcar para cada una de las regiones de trabajo del Ingenio Santa Ana utilizando banderillado manual y banderillado con GPS, se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Rendimiento de azúcar (kg por tonelada de caña)

Región	Nombre de la región	Banderillado manual	Banderillado con GPS
1	La Giganta	102.02	94.44
2	Carabelas	102.05	93.64
3	Bolivia	101.13	92.89
4	La Giralda	97.72	89.90
5	California	100.60	93.68
6	Cerritos	102.98	98.17
7	Nueve Cerros	101.76	96.95
Total		101.50	94.54

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

La variación que se observa entre una época y otra se debe a las condiciones climáticas particulares de la época y a la utilización de tecnología como riego, fertilización, control de plagas, el grado de especialización en el proceso de extracción del azúcar en fabrica. En el ingenio Santa Ana no existe un dato que nos diga el grado de influencia de una buena o mala aplicación de madurante lo que sí se sabe es que solo el hecho de inducir a la maduración artificial utilizando agroquímicos aumenta el rendimiento en 18.18 kg y más de azúcar por tonelada de caña. Pudiéndose percibir en el aspecto físico una visual de franjas más verdes que otras, vecinos afectados por arrastre de mezcla.

7.3.2 Producción de caña (t/ha)

La producción de caña de azúcar para cada una de las regiones de trabajo del Ingenio Santa Ana utilizando banderillado manual y banderillado con GPS, se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Producción de caña (t/ha)

Región	Nombre de la región	Banderillado manual	Banderillado con GPS
1	La Giganta	96.99	100.96
2	Carabelas	100.17	98.04
3	Bolivia	114.48	110.60
4	La Giralda	123.12	138.08
5	California	104.80	117.40
6	Cerritos	104.39	111.96
7	Nueve Cerros	116.23	110.26
Total		107.64	110.45

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

La variación que se observa entre una época y otra se debe a las condiciones climáticas particulares de la época y a la utilización de tecnología como riego, fertilización, control de plagas, control de malezas. Se ha observado que la calidad de la aplicación afecta sobre dosificando las áreas tratadas ya que donde se sobre-dosificó los brotes para el próximo ciclo son pobres y muestran signos de intoxicación teniéndose que realizar labores de repoblación. La disminución de rebrotes puede ser provocado por varios factores como el poco desarrollo radicular, pisoteo, compactación, muerte por madurez natural, plagas, aplicaciones de agroquímicos, sequias, variedades de caña y para repoblar esas áreas se implementa la resiembra. El ingenio Santa Ana no tiene datos estadísticos concretos que nos diga a que se debe la despoblación por lo que únicamente se resiembra y se tiene el rubro que se utilizó para esa actividad.

7.3.3 Eficiencia de aplicación (hectáreas por hora)

Eficiencia de cada aplicación La producción de caña de azúcar para cada una de las regiones de trabajo del Ingenio Santa Ana utilizando banderillado manual y banderillado con GPS, se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Eficiencia de aplicación

Región	Nombre de la región	Banderillado manual	Banderillado con GPS
1	La Giganta	64.25	52.19
2	Carabelas	60.16	46.39
3	Bolivia	58.47	54.79
4	La Giralda	66.94	48.19
5	California	62.48	55.44
6	Cerritos	56.63	53.11
7	Nueve Cerros	60.46	50.71
	Promedio	61.34	51.55

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

En el cuadro de eficiencias de aplicación aérea se puede observar que en todas las regiones la eficiencia es más alta cuando las aplicaciones aéreas se realizaban utilizando personal para guiar la nave. La explicación a este comportamiento es que con el banderillado con personal se pretendía formar bloques de aplicación grandes, no se tomaba en cuenta áreas con caña con algún tipo de estrés, se aplicaba una sola dosis para ese bloque sin tomar en cuenta variedad, edad, número de cortes, efecto de la influencia del tipo de suelo (suelos arenosos o arcillosos), fuentes de agua, corredores ecológicos, no se tomaba en cuenta el microrelieve o alguna diferencia de altura dentro del bloque, accidentes geográficos. Cuando se realiza una aplicación aérea se colocan puntos de monitoreo con tarjetas hidrosensibles para observar el comportamiento de la descarga de la mezcla, estos datos son analizados en el campo en el momento pero en el caso del banderillado manual no se podían hacer ajustes o correcciones, era poco funcional la evaluación que se realizaba.

El concepto de una aplicación aérea que tiene definido el departamento de agronomía del ingenio Santa Ana implementando el GPS para guiar la nave, se basa en dirigir la aplicación más a detalle, tomando en cuenta aspectos que puedan afectar el comportamiento de la planta al momento de procesar los tallos y al momento del brote post-cosecha que es determinante para la plantación futura. Es por esa razón que se trabaja con bloques más pequeños, tomando en cuenta aspectos como dosis, variedad, clima, topografía, edad de la planta, número de cortes, determinantes para la obtención de buenos resultados. Los resultados de los análisis del monitoreo si son funcionales, ya que con el GPS si se pueden realizar ajustes y correcciones al momento de la aplicación como cambio de dirección de la línea de vuelo, cambio de bloque de aplicación, velocidad, altura, corregir entradas y salidas, traslapes, deja registrado el comportamiento de la aplicación.

La exposición del personal a los agroquímicos es un aspecto que se toma en cuenta, ya que con la implementación del GPS se eliminó totalmente este riesgo; con el uso de banderas las personas estaban expuestas directamente al producto.

7.3.4 Costos por aplicación

Los costos de aplicación se obtuvieron de la base de datos del Ingenio Santa Ana de los periodos 2008-2009 y 2011-2012. En consenso con el encargado del Departamento de Planificación y Control del ingenio se depuro la información dejando como base para el período 2008-2009 un total de hectáreas aplicadas de 16,349.66 y para el período 2011-2012 20,869.17 hectáreas, los mismos se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Costos de aplicación

Época de aplicación con banderillado manual (2008-2009)								
Región	Nombre de la región	Mano de Obra	Maquinaria	Materiales	Terceros mano de obra	Terceros Maquinaria	Total	
1	La Giganta	Q 63,699.26	Q 5,508.87	Q 259,113.28	Q 434.53	Q 369,615.90	Q 698,371.84	
2	Carabaaelas	Q 49,116.12	Q 510.45	Q 362,598.32	Q -	Q 335,602.71	Q 747,827.60	
3	Bolivia	Q 38,000.73	Q 261.60	Q 373,614.90	Q -	Q 368,618.98	Q 780,496.21	
4	La Giralda	Q 17,880.20	Q 999.43	Q 223,136.40	Q -	Q 206,068.74	Q 448,084.77	
5	California	Q 50,968.96	Q 1,192.58	Q 346,962.03	Q -	Q 247,836.86	Q 646,960.43	
6	Cerritos	Q 20,660.14	Q 1,654.91	Q 80,754.69	Q -	Q 113,246.07	Q 216,315.81	
7	Nueve Cerros	Q 91,811.07	Q 21,122.65	Q 308,694.00	Q 816.98	Q 377,404.88	Q 799,849.58	
Total general		Q 332,136.48	Q 31,250.49	Q 1,954,873.62	Q 1,251.51	Q 2,018,394.14	Q 4,337,906.24	

Época de aplicación utilizando GPS (2011-2012)								
Región	Nombre de la región	Mano de obra	Maquinaria	Materiales	Terceros mano de obra	Terceros Maquinaria	Total	
1	La Giganta	Q 51,787.41	Q 70.26	Q 213,701.45	Q 1,146.40	Q 462,406.82	Q 729,112.34	
2	Carabelas	Q 36,889.05	Q 5,777.85	Q 240,273.91	Q -	Q 302,325.06	Q 585,265.87	
3	Bolivia	Q 49,242.02	Q -	Q 252,022.32	Q -	Q 329,241.50	Q 630,505.84	
4	La Giralda	Q 38,632.96	Q 419.50	Q 243,650.48	Q -	Q 286,430.79	Q 569,133.73	
5	California	Q 54,051.75	Q 6,940.07	Q 290,796.97	Q -	Q 401,618.86	Q 753,407.65	
6	Cerritos	Q 41,195.63	Q 11,006.21	Q 320,440.71	Q -	Q 376,648.27	Q 749,290.82	
7	Nueve Cerros	Q 41,580.26	Q 6,123.34	Q 260,110.19	Q 1,304.76	Q 390,632.12	Q 699,750.67	
Total general		Q 313,379.08	Q 30,337.23	Q 1,820,996.03	Q 2,451.16	Q 2,549,303.42	Q 4,716,466.92	

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

La diferencia entre los totales generales se debe a la diferencia de área aplicada entre un período y otro, el aumento de precio que sufre la tarifa de la hora de helicóptero de \$670.00 en el 2008 y \$705.00 en el 2011, así mismo el aumento del salario mínimo que en el 2008 fue Q47.00 y el 2011 fue de Q63.70, la variación de precios de productos, cambio en el precio de tarifas de maquinaria.

Cuadro 11. Costos materiales por hectárea

Región	Nombre de la región		Banderillado manual (2008-2009)		Banderillado con GPS (2011-2012)
1	La Giganta	Q	127.99	Q	62.39
2	Carabelas	Q	164.33	Q	83.79
3	Bolivia	Q	139.30	Q	93.73
4	La Giralda	Q	77.41	Q	80.82
5	California	Q	117.68	Q	92.41
6	Cerritos	Q	113.61	Q	103.50
7	Nueve Cerros	Q	106.64	Q	98.91
	Promedio	Q	120.99	Q	87.93

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

Se puede ver una variación positiva en el consumo de productos madurantes ya que en el período 2011-2012, utilizando GPS para aplicaciones aéreas, aplicando 20,869.17 hectáreas hubo una disminución en el costo por hectárea en relación al período 2008-2009 banderillado manual en donde se aplicaron 16,349.66 hectáreas, aunque ésta situación está influenciada por el manejo de dosis, en la época de GPS se utilizaron productos con precios más bajos, dosis más bajas, condiciones climáticas propias de cada ciclo del cultivo. Cabe mencionar que con el GPS se puede garantizar que la descarga de mezcla llegue al lugar de destino establecido, evitando pérdidas por malas aplicaciones provocadas por la deriva, limitación e identificación de las áreas a aplicar. Dentro de los materiales que se incluyen en estos rubros están más que todo los productos que se utilizan en la mezcla, incluyendo productos madurantes de diferentes ingredientes activos y sus productos coadyuvantes.

Cuadro 12. Costos mano de obra por hectárea

Región	Nombre de la región	Banderillado manual (2008-2009)	Banderillado con GPS (2011-2012)
1	La Giganta	Q 31.46	Q 15.12
2	Carabelas	Q 22.26	Q 12.86
3	Bolivia	Q 14.17	Q 18.31
4	La Giralda	Q 6.20	Q 12.82
5	California	Q 17.29	Q 17.18
6	Cerritos	Q 29.07	Q 13.31
7	Nueve Cerros	Q 21.72	Q 15.81
	Promedio	Q 21.74	Q 15.06

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

Tomando como base el salario mínimo de cada época, se puede determinar que hubo una disminución del número de personas utilizadas en la operación de aplicaciones aéreas. En la época de banderillado manual se utilizaron 5011 personas y cuando se guía con GPS se utilizan 3488 personas, una disminución de 1523 personas, al momento de especializarse el gasto por uso de personal tiene que desaparecer.

Cuadro 13. Costos nave por hectárea

Región	Nombre de la región	Banderillado manual (2008-2009)	Banderillado con GPS (2011-2012)
1	La Giganta	Q 182.57	Q 135.00
2	Carabelas	Q 152.10	Q 105.42
3	Bolivia	Q 137.44	Q 122.44
4	La Giralda	Q 71.49	Q 95.01
5	California	Q 84.06	Q 127.63
6	Cerritos	Q 159.33	Q 121.65
7	Nueve Cerros	Q 130.38	Q 148.54
	Promedio	Q 131.05	Q 122.24

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

En los datos presentados de eficiencia (hectáreas por hora) se determina una baja en la época de aplicaciones aéreas utilizando GPS, mas sin embargo aun con el aumento de precio de la tarifa de helicóptero, nos presenta una disminución en el precio de la hectárea aplicada utilizando GPS de Q122.24 comparada con el precio de la época de banderillado manual que fue de Q131.05. se debe considerar que con el GPS se administran mejor los tiempos de vuelo, hay menos tiempos perdidos, la variación de precios por región se debe a las distancias a las que se encuentran las fincas del punto de origen de helipuerto.

7.4 INVERSION EN EQUIPO PARA APLICACIONES AÉREAS SANTA ANA

En el cuadro 14 se describe el equipo que se adquirió, necesario para la implementación del GPS en las aplicaciones aéreas en el ingenio Santa Ana así como también el valor del mismo.

Cuadro 14. Inversión de equipo

Equipo para aplicaciones aéreas	Requerimiento de recurso	Valor
Sensor laser	1 Q	43,636.32
GPS	1 Q	116,424.67
Medidor de flujo	1 Q	48,484.80
Colector de mano (mapeador)	1 Q	72,026.99
Total (incluye I. V.A.)	Q	280,572.78

Fuente: Base de datos Ingenio Santa Ana

VIII. CONCLUSIONES

La implementación del GPS en las aplicaciones aéreas en el ingenio Santa Ana, marco un cambio en toda la logística de la actividad como tal, influenciando en el costo de la aplicación por unidad de área, minimizando la utilización de personal expuesto al producto que se está aplicando y se cuenta con una herramienta, la cual permite hacer modificaciones y correcciones durante la aplicación.

El uso del GPS en las aplicaciones aéreas no tiene ningún efecto sobre el rendimiento de kg de azúcar por tonelada de caña, siendo más bien influenciado por el clima y otros factores como variedad, tercio de corte, número de cortes, dosis del producto madurante, tipo de producto madurante, edad de la planta al momento de la aplicación de madurante.

El efecto de una aplicación aérea utilizando GPS sobre la producción de toneladas de caña por hectárea no está cuantificado, no obstante en condiciones adversas al momento de la aplicación, ya sea utilizando GPS o banderillado manual se ha observado en el brote después del corte una despoblación, la cual incurre en gasto para repoblar los campos afectados.

Los buenos o malos resultados obtenidos dependen en gran parte del criterio de la persona encargada de las aplicaciones aéreas de cada empresa, no importando si se tratare de aplicaciones aéreas utilizando GPS o banderillado manual, esto al no tomar en cuenta los parámetros establecidos.

Se obtuvo una diferencia económica favorable al disminuir el costo de una hectárea de aplicación aérea guiada con GPS, en comparación con una hectárea de aplicación guiada con banderillado manual.

Se tiene más control sobre el corrimiento de gota (deriva), con esto se protegen las áreas que no se quiere aplicar háblese de vecinos, corredores ecológicos, ríos, al conformar los mapas en un plano digital y éste controlado por el GPS se logra menos daños a los vecinos ya que se consideran bandas de protección las cuales el GPS las localiza y el programa NAVVIEWW las ejecuta a través de un piloto automático.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda que al momento de crear los programas para ejecutar aplicaciones aéreas se consideren ventanas de escape, ya que al momento de acumularse áreas de aplicaciones atrasadas, los encargados con el afán de ponerse al día se ven en la necesidad de alargar horarios de aplicación, perdiendo el fin del uso del GPS, ya que se aplica en condiciones desfavorables.

Crear parámetros que indiquen la influencia de una aplicación aérea guiada con GPS, sobre el cultivo, en la producción de toneladas de caña por hectárea y el rendimiento de kg de azúcar por tonelada de caña.

Ampliar el alcance y mejorar el grado de especialización a nivel del ingenio Santa Ana, implementando el uso del GPS en el resto de actividades, para crear una red de información digital que permita la mejora en eficiencias y el uso de éstas para la toma de decisiones.

Puesto que el efecto nocivo de los productos que se utilizan en una aplicación aérea sobre los vecinos se convierte en un problema social para el ingenio Santa Ana, se recomienda crear un programa de concientización en la cual se involucre y se informe a los afectados, de tal forma que se enteren del esfuerzo que la empresa está realizando para minimizar la gravedad del problema mediante la implementación del GPS en las aplicaciones aéreas.

X. BIBLIOGRAFIA

ANDI, (2003). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Cámara de la Industria para la Protección de Cultivos. Guías Ambientales para el Subsector de Plaguicidas. Disponible en http://www.minambiente.gov.co/documentos/43_guias_ambientales_para_el_subsector_plaguicidas.pdf

Araujo, E. C., Araujo, R. M. (2007). Análisis de gotas en asperjadoras agrícolas. Disponible en <http://www.agrotec.etc.br/downloads/AgroScan%20versao%202.pdf>

ASAZGUA, Extraído el 6 de febrero de 2013. Producción. (En Red). Disponible en: www.asazgua.com

ASAZGUA, (2010). Boletín estadístico de Producción. (En Red). Disponible en: www.asazgua.com

Calamante, C. (2010). Aspersiones y siembras aéreas, publicación especial Disponible en <http://www.fumigaciónaerea.com.ar/presentacion.htm>

Cifuentes, E. (2009). Sistematización de la implementación del uso del GPS en la aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L. Poaceae) En el Ingenio Concepción Escuintla, Escuintla, Guatemala. Tesis presentada al honorable consejo de la facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado de Licenciado. Universidad Rafael Landívar, Guatemala, Guatemala.

Colina, C. (1994). Agricultura de precisión. Agricultura de precisión. Disponible en <http://neutron.ing.ucv.ve/revistae/No7/Carlos%20Colina%5CAGRICULTURADEPRECISIONUSANDOGPS>

Chávez, M. A. (1981). La maduración su control y la cosecha de la caña de azúcar. Colombia, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar. P. 40.

El siglo, (En prensa). ¿Qué es inversión térmica? Disponible en:
<http://www.elsiglodedurango.com.mx/noticia/19396.que-es-una-inversion-termica.html>

Ferrazzini, H. (2004). Criterios para las aeroaplicaciones de productos fitosanitarios. Criterios Técnicos y Agronómicos a tomar en cuenta. Disponible en
www.chasque.net.dgsa

Granados, L. (2008). Sistematización de las experiencias en la aplicación de ethephon para el manejo de la floración en caña de azúcar (*saccharum sp*). Memoria previa a optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola en el Grado de Licenciado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Guatemala, Boletín Estadístico (2012). Series Estadísticas de Producción, Exportación y consumo de azúcar, Guatemala, Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la, Caña de Azúcar.

Leiva, P. (2009). Aviación agrícola, principios aerodinámicos del vuelo y tecnología de aspersión. Efecto de vuelo en aplicaciones agrícolas. Disponible en
<http://www.engormix.com/MA-agricultura/foros/articulo-aviacion-agricola-principios-t18757/p0.htm>

López, M. (1993). La aeronave y su protección jurídica contra el terrorismo aeronáutico en Guatemala. Memoria previa a optar el grado académico de Licenciado en Ciencias Jurídicas y Sociales y a los títulos de Abogado y Notario, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Méndez, A.; Bragachini, M.; Scaramuzza, F. (2004). Banderillero Satelital, Proyecto Agricultura de Precisión Inta Manfredi Información para la Prensa N° 5/04- ISSN 1666-6135 Argentina. Disponible en: www.agriculturadeprecisión.org

Montano, R. (2010). Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de Azúcar (ICIDCA). Maduradores de la caña de azúcar. Disponible en http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202002_2/04maduradores.pdf

NAVVIEWWW. Manual de instrucción. Disponible en http://spanish.agnav.com/Navviewww_Spanish.pdf

NOVARTIS, (2005). La correcta aplicación aérea de pesticidas
Romero, E.R.; Scandaliaris, J.; Olea, I.; Sotillo, S. (1997). *Gacetilla Agroindustrial*, N° 58. Disponible en http://www.produccion.com.ar/1997/97may_13.htm

SIVICAÑA, (2012). Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar introducción <https://www.nutricióndebovinos.com.ar>

TAMSA, (2012). El portal de la aviación agrícola hispana, Historia de la aviación agrícola disponible en <http://www.tamsa.arrakis.es/historia.htm>

Teejet, (2011). Catálogo 51-ES. Disponible en <http://www.teejet.com>

Wagner, R. (2005). Historia de la Caña de azúcar, ASAZGUA, Guatemala.

Yurrita, B. (1997). Caracterización del control de aspersión aérea bajo el sistema Flying Flagran (Banderero Aéreo) con Posicionador Global de las fincas de la corporación bananera independiente guatemalteca (Cobigua) en el departamento de Izabal. Tesis presentada al honorable consejo de la facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado de Licenciado. Universidad Rafael Landívar, Guatemala, Guatemala.

XI. ANEXOS

Diseño de la entrevista

- Tipo de preguntas : Abiertas
- Número de preguntas: 6
- Duración promedio de las entrevistas: 30 minutos
- A quien va dirigida: Técnico encargado de aplicaciones aéreas, jefe de laboratorio de fábrica, administradores de fincas, piloto de aeronave.
- Objetivo: Validar la información recopilada en los registros de fincas y otras fuentes consultadas.
- No. de entrevistas a realizar: 10 entrevistas

Cuadro 15. Diseño de entrevista

	Pregunta
1	¿Qué es el sistema de posicionamiento global GPS?
2	¿Qué diferencias existen entre usar GPS y el sistema tradicional de aplicación aérea?
3	¿Qué efecto tiene sobre el rendimiento en el cultivo de la caña de azúcar, la utilización del GPS en las aplicaciones aéreas?
4	¿Qué efecto tiene sobre la producción en el cultivo de la caña de azúcar, la utilización del GPS en las aplicaciones aéreas?
5	¿Qué diferencias económicas se han observado, entre una aplicación aérea utilizando GPS y otra utilizando el sistema tradicional?
6	¿Qué diferencias en cuanto a eficiencia de aplicación se han observado, entre una aplicación aérea utilizando GPS y otra utilizando el sistema tradicional?

Cuadro 16. Diseño de ficha hemerográfica

Título del artículo	
Nombre del documento	
País donde se publica	
Institución que lo edita	
Fecha de edición	
Número de páginas del documento	
Año y número de documento	
Observaciones	

Cuadro 17. Encuesta

ENCUESTA REALIZADA A VECINOS DE DISTINTAS ÁREAS DE APLICACIÓN

El motivo de la presente encuesta es determinar si los vecinos de las distintas áreas administradas por el Ingenio Santa Ana, en donde se realizan aplicaciones aéreas, han percibido algún cambio provocado por la implementación del GPS en aplicaciones aéreas, sustituyendo el banderillado con personal.

1.- ESTÁ BIEN CLARO DE QUÉ SE TRATA LA ENCUESTA? MENCIONE EL TEMA

RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	81%	Se puede decir que la gran mayoría en algún momento se ha relacionado o ha escuchado del tema.
NO	9%	

2.- EN ALGUNA OCASIÓN LE HA PERJUDICADO EL PRODUCTO QUÍMICO QUE SE UTILIZA EN UNA APLICACIÓN AÉREA?

RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	58%	A las personas a las que les ha afectado el producto químico son las que están directamente relacionadas con las áreas aplicadas, y es por falta de conciencia por parte de los que ejecutan las aplicaciones, ya que aplican bajo condiciones climáticas inadecuadas y a los que no les afecta es por que están ubicados lejos del área.
NO	42%	

3.- CUANDO SE LLEVA A CABO UNA APLICACIÓN AÉREA, SABE QUE INGENIO LA ESTÁ REALIZANDO?

RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	62%	Se planteó esta pregunta, ya que en el área son varios los ingenios que ejecutan aplicaciones aéreas, y aun se pueden incluir las bananeras.
NO	38%	

4.- AL MOMENTO DE EJECUTARSE UNA APLICACIÓN AÉREA POR PARTE DEL INGENIO SANTA ANA, LO ENTERAN?

RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	0%	No existe un plan de información o divulgación por parte de la empresa Santa Ana, en el cual se tome en cuenta a las comunidades aledañas a las áreas con caña para por lo menos poner al tanto a los pobladores, se puede observar que la información que manejan es porque personas de la comunidad trabajan en el ingenio y se enteran.
NO	100%	

5.- CREE QUE LE AFECTA UNA APLICACIÓN AÉREA? MENCIONE

RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	88%	El daño que se ha observado es sobre cultivos, árboles frutales, bosques, corredores ecológicos, plantas ornamentales y en áreas que están a la par de los cañales, un 6% de las personas menciona daño al humano por exposición directa y a un 6% no le afecta porque se ubican en áreas lejanas en donde no hay caña.
NO	6%	
DAÑO HUMANO	6%	

6.- CONOCE LOS PRODUCTOS QUE SE UTILIZAN PARA APLICACIONES AÉREAS POR PARTE DE LOS INGENIOS?

RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACION
SI	32%	La mayoría de las personas no conoce los productos que se utilizan como madurantes y los pocos que conocen los productos tienen una vaga idea al respecto.
NO	68%	

7.- SABE EL EFECTO DE CADA UNO DE LOS PRODUCTOS QUE SE UTILIZAN EN CAÑA DE AZÚCAR?		
RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	20%	Las personas que saben el efecto de los agroquímicos utilizados se basan en el daño que se observa en las plantas susceptibles
NO	80%	

8.- QUÉ CREE QUE SE DEBE HACER PARA DISMINUIR O ELIMINAR EL PROBLEMA QUE PROVOCA UNA MALA APLICACIÓN ÁEREA SOBRE LOS VECINOS?
Todas la personas coinciden en que se deben tomar medidas de protección a los vecinos y mencionan dejar bandas de protección, aplicar con buenas condiciones climáticas, como viento, temperatura, humedad relativa.

9.- ESTÁ ENTERADO QUE HA HECHO EL INGENIO SANTA ANA PARA MINIMIZAR O ELIMINAR EL DAÑO QUE CAUSAN LAS APLICACIONES AÉREAS MAL EJECUTADAS?		
RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	12%	Se puede observar que son pocas las personas que saben que el ingenio Santa Ana con el afán de optimizar las aplicaciones aéreas y a la vez minimizar daños a terceros ha implementado el uso del GPS en dicha actividad.
NO	88%	

10.- EN LA ACTUALIDAD EL INGENIO SANTA ANA HA IMPLEMENTADO NUEVA TECNOLOGÍA ATRAVES DEL GPS, HA OBSERVADO ALGUN CAMBIO A FAVOR SUYO?		
RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	38%	Son pocas las personas que han observado cambios en la ejecución de las aplicaciones aéreas, ya que no estan enterados de la implementacion del GPS, de la política de la empresa de cero daño a terceros atraves de medidas preventivas previamente establecidas
NO	62%	

11.- ESTÁ ENTERADO COMO SE REALIZABAN LAS APLICACIONES AÉREAS ANTES Y CÓMO SE HACEN AHORA?		
RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	51%	Se puede determinar por los comentarios de las personas que lo que saben de las aplicaciones aéreas del ingenio Santa Ana es porque de una u otra manera tienen relación con la empresa, ya que han trabajado directamente o tienen algún familiar trabajando, y si mencionan el guiado de la nave con personal y el uso del GPS.
NO	49%	

12.- SABE QUE ES GPS?		
RESPUESTA	PORCENTAJE	INTERPRETACIÓN
SI	60%	El GPS en la actualidad es una herramienta para la agricultura que está tomando auge; el beneficio de su uso es amplio y se está generalizando en las actividades agrícolas, con el tiempo el 100% de las personas va a saber que es GPS
NO	40%	

CONCLUSIÓN GENERAL
<p>El tema de las aplicaciones aéreas en caña de azúcar en lo que respecta al ingenio Santa Ana, se ha convertido en una actividad a la cual se le ha dado importancia, puesto que con la información que se ha generado a través de los registros, se ha determinado el grado de influencia sobre el cultivo, por lo que en la actualidad se puede llegar a analizar a detalle, a tal punto que se puede seleccionar un rayón y ver el comportamiento. Lo anterior aunado a las políticas establecidas en la empresa, de prevención de daños y optimización de las aplicaciones aéreas se ha logrado optimizar el efecto de los productos químicos utilizados bajando dosis y direccionando al destino establecido la mezcla aplicada. Se ha observado que la reacción de las personas que por siempre han sido afectadas por las aplicaciones aéreas poco ha cambiado obviando los beneficios comprobados del GPS en relación al banderillado manual, esto por falta de conocimiento, por poca participación de los vecinos, y poca comunicación por parte de la empresa.</p>

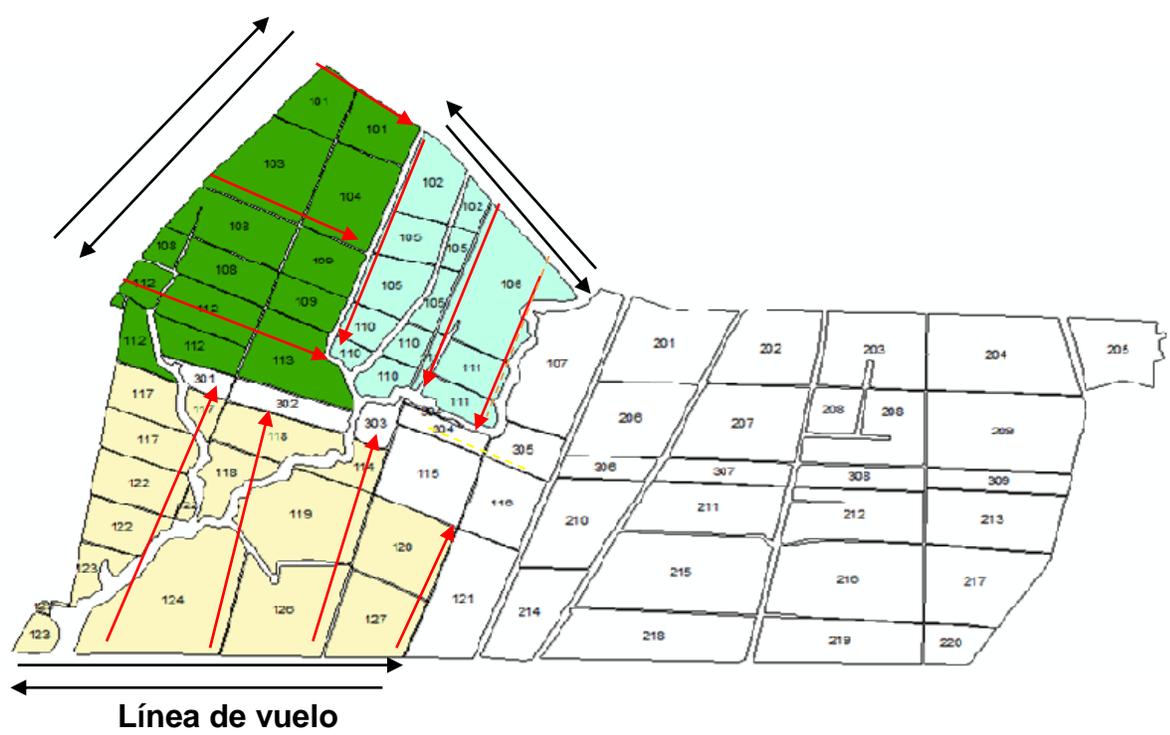
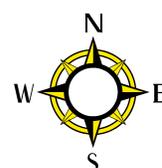


Figura 16. Plano con bloques definidos en la época de aplicación aérea con banderillado manual.

Referencias

-  Bloque 1 dosis de 1.15 L/ha de round-up
-  Bloque 2 dosis de 1.05 L/ha de round-up
-  Bloque 3 dosis de 1.25 L/ha de round-up

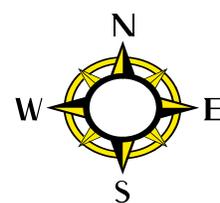


Figura 17. Definición y conformación de bloques para una aplicación aérea utilizando GPS.

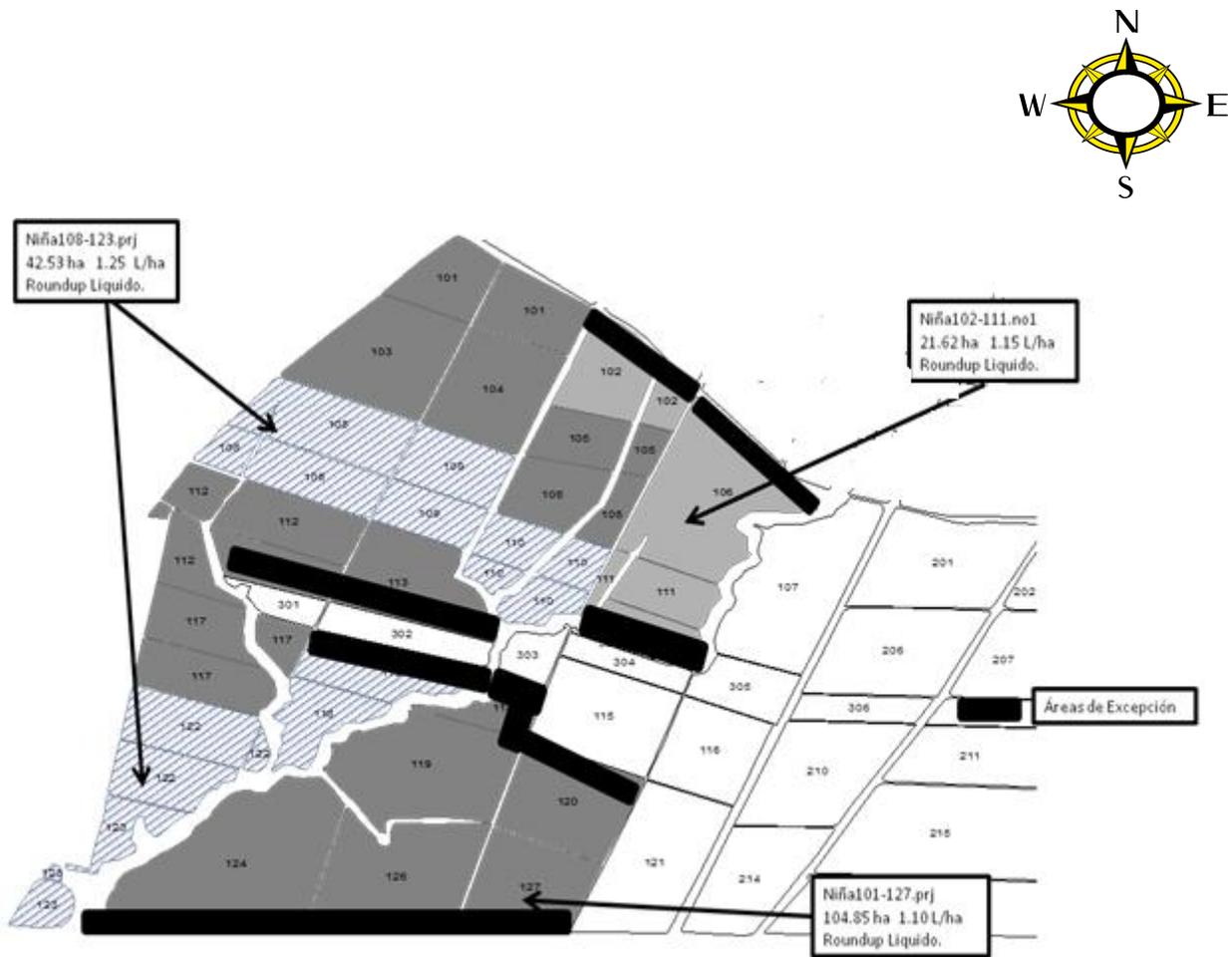


Figura 18. Mapa con referencias guía para el piloto en una aplicación aérea utilizando GPS con áreas de excepción establecidas.

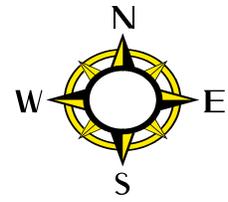


Figura 19. Registro de ruta de vuelo ejecutando la aplicación.

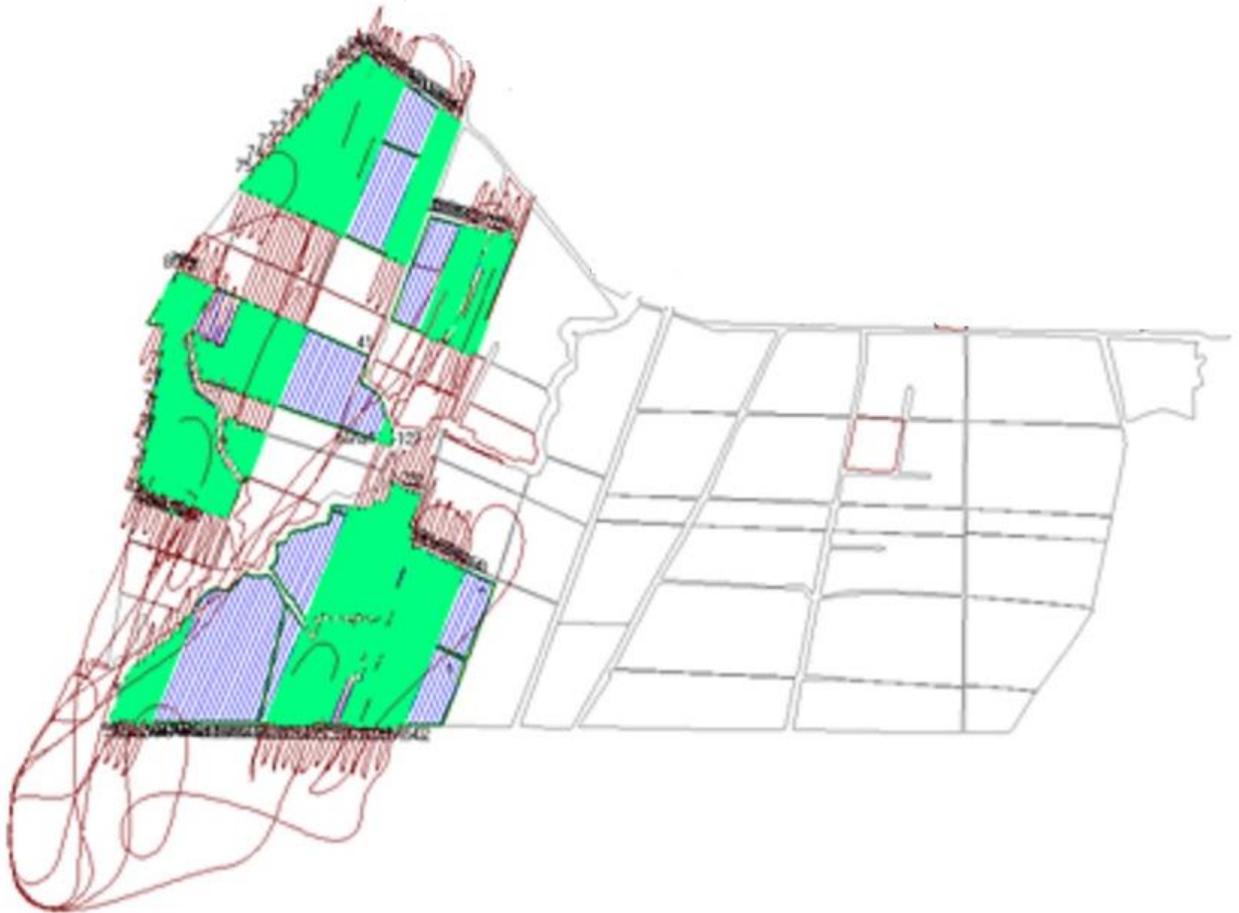
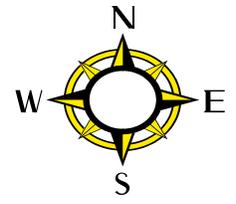


Figura 20. Bloque de aplicación terminado

Cuadro 18. Resumen del informe comportamiento de la variables en la ejecución de un bloque específico.

Variable	Lectura
ancho de aspersión	16 m
velocidad de aspersión	103.8 km/hora
giro	20.2 s
error	0.50 m
velocidad de flujo	4408.50 L/hora
volumen de aplicación	26.36 L/ha
volumen total de aspersión	1654.90 L
área total asperjada	62.80 ha
tiempo total asperjado	00 h 23 m 32 s
tiempo total de giro	00 h 28 m 8 s
tiempo total de vuelo	1 h 14 m 12s

Fuente: base de datos Ingenio Santa Ana

Cuadro 19. Resumen del informe del comportamiento de altura durante una aplicación aérea realizada con GPS.

Altura en pies	Repetición	%	% Acumulado
16	3	0.00	
20	8	0.00	
23	8	0.00	
26	6	0.00	
30	8	0.00	
33	45	0.01	
36	394	0.06	7 %
39	1644	0.24	
43	2527	0.37	61 %
46	1181	0.17	17 %
49	387	0.06	
52	185	0.03	
56	130	0.02	
59	98	0.01	
62	76	0.01	
66	67	0.01	
69	39	0.01	
72	25	0.00	
75	20	0.00	
79	10	0.00	
82	10	0.00	
85	9	0.00	15 %
Total general	6880	1	100 %

Fuente: base de datos Ingenio Santa Ana