

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
SUMINISTRO DE DOSIS VARIABLE AUTOMATIZADO EN UNA
ABONADORA PARA APLICACIÓN AL VOLEO DE FERTILIZANTES
GRANULADOS BAJO LOS PRINCIPIOS DE AGRICULTURA DE
PRECISIÓN”**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero Agrícola con el grado académico de Licenciatura**

Diego Armando Guerrero Valverde

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Enero del 2012

Miembros del Tribunal Evaluador

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en ingeniería Agrícola.

Elaborado por: Diego Armando Guerrero Valverde

Ing. Oscar Quesada Chacón
Director del Proyecto

Ing. Mauricio Bustamante
Asesor del Proyecto

Ing. John Allan Brealey M. Sc
Asesor del Proyecto

Ing. Geovani Carmona
Presidente del Tribunal

Ing. Edwin Solórzano M. Sc
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la salud, y la fortaleza de luchar día a día para concluir mis estudios universitarios

A mis Padres por haberme guiado en el camino correcto y darme su apoyo incondicional para alcanzar esta meta

A Fabiola por darme su apoyo incondicional y motivarme en todo momento. T.A.M

AGRADECIMIENTOS

A mi Familia por el esfuerzo y sacrificio realizado para ayudarme a cumplir mis estudios universitarios

A los profesores Oscar y Mauricio así como el Ing. John Allan Brealey por los conocimientos transmitidos hacia mi persona y los consejos dados durante el desarrollo del proyecto

A mi Amigo y Profesor Oscar Quesada por formar parte importante en mi formación personal y profesional a lo largo de mi carrera universitaria

A mi “Jefa” Andrea Coto por darme brindarme todo su amistad y apoyo desde el inicio de mi carrera

A mis compañeros por su amistad y su apoyo a lo largo de los años universitarios: Josué, Oscar, Melissa, Georgina, Chiqui, Nestor, Pedrito, Joha, Mau, Alex, Ronald, Sisgo, Adri, Alberto, Piedra, Astua, Felipe, David, Thilman.....

A la Universidad de Costa Rica, el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Agrícola

A todo el personal de la Empresa CRAISA por su confianza y la experiencia profesional transmitida durante la realización del presente proyecto

A todo el personal del PELON DE LA BAJURA por el apoyo y la oportunidad a la hora de realizar las pruebas de campo

RESUMEN

Las presiones económicas y ambientales están causando que el sector de producción agrícola busque métodos más competitivos en la producción de alimentos. Con el desarrollo del sistema de posicionamiento global (GPS) y tecnología de tasa variable (VRT) la agricultura de precisión contribuye en la producción agrícola a nivel mundial.

La agricultura de precisión es un sistema de gestión que incluye la recolección y manejo de la información de una serie de variables como suelo, clima y condiciones específicas del cultivo, para tomar decisiones tanto económicas como ambientales apropiadas en la producción de cultivos utilizando distintos equipos y herramientas informáticas. En Costa Rica este sistema se encuentra en etapa de inserción.

El presente proyecto desarrollo la implementación de una abonadora de aplicación al voleo de fertilizantes granulados según mapas de aplicación de dosis variable utilizando los principios de la agricultura de precisión.

El procedimiento utilizado consistió en realizar prácticas con una abonadora y su controlador electrónico, el EZ-Guide 500, el receptor de información de mano Juno SC y el software Farm Works de manera individual, luego se procedió a realizar las distintas configuraciones en cada uno de los equipos, con el fin de obtener una adecuada comunicación entre estos. Posteriormente se verifico su adecuado funcionamiento a partir de una inspección inicial de manera visual de las acciones que esta realiza, antes de trabajar bajo condiciones reales de operación tomando como referencia la metodología descrita en la Norma ASABE S341.3.

Como resultado de las mediciones en el campo (colectores), se obtuvo que la tasa de aplicación y la uniformidad en la distribución están en su mayoría fuera de los

rangos de valores considerados como aceptables, dado que estas pruebas se realizaron bajo condiciones reales de operación, las cuales difieren mucho de las pruebas de laboratorio realizadas para obtener dichos parámetros de referencia, esto por la gran cantidad de factores que influyeron de manera inadecuada afectando considerablemente la precisión de las mediciones como lo fue el tipo de colectores utilizados, la velocidad de giro de la toma de fuerza, las condiciones del terreno, la dirección y velocidad del viento, la dosis aplicada entre otros.

Sin embargo, a la hora de evaluar el equipo según los métodos convencionales utilizados en la finca el cual es avalado por el apartado 5.4.1 de la norma, el funcionamiento de este fue exitoso, y fueron notables las mejoras que se obtienen con el sistema respecto a la utilización del equipo tradicional.

Para el sistema de aplicación de dosis variable es necesario contar con otros equipos y tecnologías como el uso de monitores de rendimiento, distintos sensores que monitorean las condiciones de los cultivos, estudios constantes de suelos, además de personal capacitado en la utilización de todo este tipo de herramientas tecnológicas y manejo de información, para realizar una adecuada toma de decisión.

La combinación de tecnología GPS y VRT tiene un gran potencial para mejorar la productividad y rentabilidad de la actividad agrícola y al mismo tiempo ayudan a conservar y proteger los recursos naturales.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos	8
CAPITULO 2. Marco Teórico.....	9
2.1 Agricultura de precisión.....	9
2.1.1 Sistema de posicionamiento global (GPS)	10
2.1.2 Tecnología de sensores y teledetección	11
2.1.3 Monitores de rendimiento	12
2.1.4 Sistemas de información geográfica (SIG)	12
Ventajas y desventajas de la agricultura de precisión.....	13
2.2 Aplicación de Dosis Variable	14
2.3 Abono y Abonadoras.....	15
2.3.1 Abono	15
2.3.2 Abonadoras. Clasificación.....	17
2.4 Evaluación y calibración de Abonadoras centrífugas de doble disco.....	18
2.4.1 Conceptos teóricos del abonado	18
CAPITULO 3. Equipos, herramientas y metodología.....	25
3.1 Equipos y herramientas.....	25
3.1.1 Barra de luces EZ-guide 500.....	25
3.1.2 Abonadora marca KUNH serie AXIS 40.1 W.....	25
3.1.3 FARM WORKS software	26
3.1.4 Receptor de información de mano Juno SC	27
3.2 Procedimiento	27
3.2.1 Estudio y pruebas preliminares de los equipos a utilizar	29
3.2.2 Análisis del proceso de fertilización realizado en la finca	30

3.2.3	Directrices para la configuración de las pruebas	30
3.2.4	Determinación de la tasa de aplicación	37
3.2.5	Determinación de la uniformidad de distribución	39
3.2.6	Generación y aplicación del mapa de dosis variable	40
3.2.7	Elaboración de una guía rápida para la implementación en un sistema de control y suministro de dosis variable automatizado.....	41
CAPITULO 4. Resultados y Discusión		42
4.1	Estudio y pruebas preliminares de los equipos a utilizar en el proyecto	42
4.2	Observación y análisis del proceso de fertilización en el sitio.....	46
4.3	Mediciones de Campo.....	55
4.3.1	Tasa de aplicación	60
4.3.2	Diagramas y uniformidad de distribución.....	77
4.4	Generación y validación de la aplicación de dosis variable	87
CAPITULO 5. Conclusiones y Recomendaciones.....		99
5.1	Conclusiones	99
5.1	Recomendaciones	103
REFERENCIAS		105
CAPITULO 6. Anexos		108
Anexo 1. Guía de Funcionamiento.....		108
Anexo 2. Datos tomados del campo		157
Anexo 3. Análisis granulométrico del fertilizante		161
Anexo 4. Certificados Patrones de Masa		162
Anexo 5. Plantilla para recolección de datos.....		165
Anexo 6. Imágenes Varias		166

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Las 3 etapas de la agricultura de precisión.....	10
Figura 2.2. Características físicas minerales granulados.....	17
Figura 2.3. Traslape 100% distribución tipo piramidal	19
Figura 2.4. Distribuciones tipos de abonadoras de doble disco	20
Figura 2.5. Principales factores que intervienen en la calidad de distribución.....	21
Figura 2.6. Efecto del régimen de la TDF en la distribución.....	21
Figura 2.7. Distribución irregular de fertilizantes nitrogenados	23
Figura 3.1. EZ-Guide 500	25
Figura 3.2. Controlador Quantron E	26
Figura 3.3. JUNO SC	27
Figura 3.4. Diagrama, pasos de Metodología.....	28
Figura 3.5. Equipos utilizados para la medición.....	32
Figura 3.6. Vista en planta, prueba tipo pasada simple	33
Figura 3.7. Aplicación simple y disposición de colectores.....	34
Figura 3.8. Aplicación doble sentido y disposición de colectores.....	34
Figura 3.9. Vista en planta, prueba tipo pasada doble.....	35
Figura 3.10. Disposición de colectores para la medición de dosis variable.....	36
Figura 4.1. Visualización del EZ-Guide conectado a un controlador	42
Figura 4.2. Prescripción dosis variable CRAISA.....	45
Figura 4.3. Transporte y descarga de fertilizante.....	47
Figura 4.4. Tractor para abastecimiento de fertilizante en el campo.....	48
Figura 4.5. Ejemplo de plano impreso del lote.....	49
Figura 4.6. Ajuste de apertura de corredera voleadora convencional	50
Figura 4.7. Acumulación y obstrucción de fertilizante voleadora JAN	51
Figura 4.8. Rodaje metálico para condiciones de suelo húmedo	53
Figura 4.9. Patrones de prueba y pesaje.....	57
Figura 4.10. Colocación de los colectores en las pruebas de campo	61
Figura 4.11. Prueba de campo tipo pasada simple.....	62
Figura 4.12. Colectores ideales para las pruebas.....	75

Figura 4.13. Mapa de rendimiento lote Desmontes cosecha invierno 2009	88
Figura 4.14. Delimitación de distintas zonas de aplicación lote José Joaquín	90
Figura 4.15. Mapa de dosis variable lote José Joaquín	91
Figura 4.16. Visualización EZ-Guide 500 aplicación día 1	93
Figura 4.17. Visualización EZ-Guide 500 aplicación completa	94
Figura 4.18. Condiciones del terreno pruebas dosis variable	95
Figura 4.19. Resumen de la tarea, Vista dosis aplicada en Farm Works	96
Figura 4.20. Distribución de velocidades durante la aplicación.....	97

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4.1. Distribución granulométrica de los abonos utilizados en las pruebas	56
Gráfico 4.2. Superposición teórica promedio pasadas 1 y 2	67
Gráfico 4.3. Superposición teórica promedio pasadas 2 y 3	68
Gráfico 4.4. Diagrama de distribución, según promedios pasada doble 200 kg/ha	78
Gráfico 4.5. Diagrama de distribución, según promedios pasada doble 150 kg/ha	79
Gráfico 4.6. Diagrama de distribución, según promedios pasada simple 150 kg/ha	80

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Interpretación coeficientes de variación	23
Cuadro 3.1. Resumen de mediciones a realizar	36
Cuadro 4.1.Tasa de aplicación pasada doble, dosis teórica 200 kg/ha.....	63
Cuadro 4.2.Tasa de aplicación, análisis longitudinal prueba pasada doble 200 kg/ha.....	64
Cuadro 4.3.Tasa de aplicación, análisis transversal prueba pasada doble 200 kg/ha	64
Cuadro 4.4.Tasa de aplicación pasada simple, dosis teórica 150 kg/ha	65
Cuadro 4.5.Tasa de aplicación, análisis longitudinal pasada simple 150 kg/ha	69
Cuadro 4.6.Tasa de aplicación, análisis transversal pasada simple 150 kg/ha.....	70
Cuadro 4.7.Tasa de aplicación pasada doble, dosis teórica 150 kg/ha prueba 1.....	71
Cuadro 4.8.Tasa de aplicación, análisis longitudinal pasada doble 150 kg/ha prueba 1 ...	72
Cuadro 4.9.Tasa de aplicación, análisis transversal pasada doble 150 kg/ha prueba 1 ..	72
Cuadro 4.10.Tasa de aplicación pasada doble, dosis teórica 150 kg/ha prueba 2.....	73
Cuadro 4.11.Tasa de aplicación, análisis transversal pasada doble 150 kg/ha prueba 2	74
Cuadro 4.12.Tasa de aplicación, análisis longitudinal pasada doble 150 kg/ha prueba 2	74
Cuadro 4.13. C.V, pasada doble 200 kg/ha análisis longitudinal	81
Cuadro 4.14. C.V, pasada doble 200 kg/ha análisis transversal	82
Cuadro 4.15. C.V, pasada doble 150 kg/ha análisis longitudinal	83
Cuadro 4.16. C.V, pasada doble 150 kg/ha análisis transversal	83
Cuadro 4.17. C.V, pasada simple 150 kg/ha análisis longitudinal.....	84
Cuadro 4.18. C.V, pasada simple 150 kg/ha análisis transversal	85

CAPITULO 1. Introducción

1.1 Antecedentes

En Costa Rica ha surgido la necesidad de realizar un manejo de los cultivos con una nueva perspectiva basada en la producción sostenible, reduciendo las dosis de fertilizante o agroquímicos a los niveles mínimos, donde se debe evitar toda clase de derivas principalmente sobre las aguas superficiales y subterráneas.

Este tipo de manejo se llama Agricultura de Precisión, la cual define Chartuni, Carvalho, Marcal y Ruz (2007) como “la gestión de predios o terrenos agrícolas, basado en el conocimiento e interpretación de la variabilidad espacial en el campo”.

Para llevar a cabo este tipo de gestión es necesario el conocimiento y la interacción de distintas áreas (suelos y aguas) que definen la variabilidad del campo junto con otros factores secundarios. Otra área es la mecanización agrícola con la cual se ponen en práctica las estrategias de manejo diferenciado en los predios para siembra, fertilización y protección de los cultivos, además el área de la informática que permite almacenar, analizar y generar información de los terrenos.

Desde hace varios años en el país se ha venido implementando poco a poco este sistema de gestión. Ejemplo de esto es la empresa AgroComercial de la Universidad Earth, la cual produce banano a partir del año 2002. Ese año iniciaron un proyecto en una plantación de 100 hectáreas, la cual se manejaba de manera uniforme, teniendo baja productividad y costos elevados en algunos sectores. La variación en este periodo era de hasta 300%, después de crear varios lotes se recolectó información de los rendimientos de cosecha, análisis foliares y de suelo, muestras de raíces funcionales como índice de nematodos.

Después de analizar la información recolectada se determinó que no había relación alguna entre el suelo y los nematos con la baja productividad de la plantación, cabe destacar que el administrador mencionaba que para disminuir el bajo rendimiento del cultivo aplicaba mayor cantidad de fertilizante y nematicida, sin embargo se demostró que la causa de los bajos rendimientos era la edad de la plantación por lo que decidieron renovarla y para ello tomaron en cuenta las zonas de menor producción (Spaans, 2007).

Este sistema de gestión se ha implementado en cuanto a conocimiento y manejo de la información de la variabilidad del campo, no así en las labores de mecanización dado que hasta hace poco se cuenta en el país con equipos y tecnología para poner en marcha el manejo diferenciado en el terreno, este sistema de gestión se convierte en una posibilidad de mejorar los rendimientos y eficiencias en cultivos extensivos de importancia económica como la como piña, el arroz y la caña.

Para poder realizar el tipo de manejo diferenciado y principalmente en el caso de cultivos extensivos, donde las aplicaciones se realizan utilizando pulverizadores para aplicación de foliares y voleadoras centrifugas para fertilizante granulado, surge la necesidad de sistemas y equipos que permitan realizar dichas labores con la mayor precisión posible, razón por la cual se encuentran en el mercado gran cantidad de equipos y sistemas que constantemente modifican la dosis según su posición en el campo utilizando tecnología GPS así como modificaciones en el caudal de fertilizante en función de las variaciones de la velocidad de avance,

En Costa Rica, la empresa CRAISA S.A, como representante de Trimble Agriculture, inicio con la comercialización de equipos láser para nivelación de tierras que permitieron mejorar el riego por superficie y el drenaje de los terrenos así como la disminución de tiempos en dicha labor, posteriormente introdujo las barras de luces (GPS), las cuales ofrecen una adecuada guía al operador en el campo,

permitiendo a su vez un mejor traslape durante las labores, además de paquetes informáticos para la creación de mapas y administración de información.

Estas barras de luces continuaron en desarrollo y mejorando cada vez más permitiendo realizar mayor cantidad de funciones como lo es la conexión con distintos tipos de controladores de otros implementos agrícolas como equipos de nivelación por GPS y sistemas para la conducción automática del tractor.

Por otro lado en cuanto a las labores de aplicación de fitosanitarios, la empresa ha trabajado en el mercado nacional con el sistema *EZ-Boom*. Este sistema es un controlador que trabaja en conjunto con la barra de luces para realizar las aplicaciones foliares de agroquímicos regulando constantemente la dosis. Adicionalmente permite dividir en el ancho de trabajo del pulverizador en secciones y en el caso de traslapes o superposiciones, automáticamente el equipo cierra la sección o secciones que se encuentran en dicha situación con la cual se logra evitar la sobre aplicación. Esto permite tener un ahorro en los insumos requeridos y un menor impacto ambiental.

El equipo más reciente de introducción al mercado fue una voleadora KUNH serie AXIS 40.1 con tecnología de tasa variable (VRT). Este equipo cuenta con un controlador electrónico y sensores comandados por la barra de luces para realizar la aplicación bajo mapas o prescripciones con dosis variables de fertilizante según la posición en el campo y la velocidad real de avance.

Hasta el momento en el país no se tienen registros de la utilización de este tipo equipos y sistemas de aplicación de dosis variable, sin embargo, a nivel internacional desde hace varios años son utilizados y han sido realizadas evaluaciones de su funcionamiento.

Fadel (2004) menciona la dificultad de encontrar en la literatura métodos para evaluar la aplicación de fertilizante en abonadoras utilizando dosis variable, debido

a ello analizó varias metodologías y al final de la investigación mencionó que el método siguiendo los pasos de la norma ASABE S341.3 (Procedimiento para medir la uniformidad de distribución y la calibración de esparcidores granulares) durante una aplicación constante a través de zonas con distintas dosis es más fiable.

Sin embargo, Fadel (2004) menciona que este puede verse afectado por el viento, las condiciones del terreno, la exactitud de la posición dada por el GPS tanto a la hora de hacer el mapa como a la hora de realizar la aplicación en el campo, la calibración de la voleadora así como el tiempo de respuesta del sistema de control afectando este principalmente la zona de transición.

Burks, Shearear y Fulton (2000) evaluaron la calidad de la aplicación utilizando una barra de luces y un marcador de espuma, destacando como principal resultado la importancia que tiene un adecuado traslape para disminuir la variabilidad en la aplicación, porque pese a tener menor variabilidad, la barra de luces con respecto al marcador de espuma, si esta no se encuentra debidamente ajustada en cuanto al ancho de trabajo la calidad de la aplicación disminuye.

En el presente proyecto además de implementar el sistema de aplicación de dosis variable, se pretende conocer utilizando como referencia la norma ASABE S341.3 la tasa de aplicación y la uniformidad en la distribución de la abonadora KUHN AXIS 40.1. Algunos de los resultados obtenidos en otras pruebas se mencionan a continuación.

Investigaciones realizadas por Omaña y Terciado (2009) tuvieron como objetivo evaluar las abonadoras centrifugas convencionales de doble disco utilizadas en la aplicación de fertilizantes para la producción de remolacha azucarera. Como principales resultados destacan que el 64% de las abonadoras analizadas no trabajan con las revoluciones en la toma de fuerza (T.D.F) adecuadas, además en

el 69% de estas en la aplicación de abonos nitrogenados presentaron una uniformidad incorrecta dado que los valores de Coeficiente de Variación (C.V) están por encima de 20% según el rango de clasificación utilizado.

En un análisis realizado por Gil, (2009) para dos tipos de abonadoras centrifugas, una de doble disco y otra de un único disco, se obtuvo coeficientes de variación de 7,22% en ancho de trabajo de 18 metros y un C.V. de 12% a un ancho de trabajo de 11 metros respectivamente, los cuales son considerados buenas. Cabe destacar que la velocidad de operación fue de 8 km/h en ambas, las revoluciones de la T.D.F 540 rev/min y demás condiciones fueron óptimas.

1.2 Justificación

Investigaciones a nivel mundial sobre la demanda de alimentos realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), mencionan que debe aumentarse la producción agrícola mundial en un 70 % antes del año 2050 para poder alimentar a otros 2 300 millones de personas y que para el caso de los países en desarrollo, la producción deberá casi duplicarse. Además, indica que el 80 % del incremento de producción de cereales y granos provendrá del aumento en el rendimiento y la intensidad de los cultivos, ante esto la agricultura de precisión ofrece una atractiva opción gracias a que permite optimizar el uso de los equipos, el terreno, los insumos aumentando la eficiencia y los rendimientos.

El aumento de la eficiencia en la utilización de los insumos en la producción agrícola será esencial para lograr mejores rendimientos de los cultivos, dado que los recursos naturales cada vez son más escasos y los precios de los recursos no renovables como los combustibles fósiles tienden a aumentar todos los días y sin dejar de lado que las tierras para producción cada vez son menos.

Pese a esto en la mayoría de las fincas de producción agrícola se han venido aplicando programas de fertilización estáticos y homogéneos, sin considerar la variabilidad en las propiedades de los suelos y la productividad de estos.

Una alternativa a este sistema es la implementación de planes de fertilización dinámicos que respondan a las necesidades específicas de cada zona en un tiempo dado, por lo que equipos que se adapten a este sistema como la abonadora a utilizar en la práctica se vuelven fundamentales.

Cigana (2003) menciona que en 124 hectáreas con soya se logró una economía del 23% debido a que con la dosis de fertilizante fija utilizada se necesitarían 40,3 toneladas cuyo costo fue US\$303/ton generando un gasto total de US\$12 210. Con la aplicación de tasa variable según el estudio de suelos sólo se utilizaron 31 toneladas de fertilizantes, reduciendo los costos totales a US\$9303.

Por otro lado el manejo en el campo por parte de los operadores de tractores y maquinaria agrícola no es evaluado, por lo que en tareas como la aplicación de fungicidas, fertilizantes entre otros insumos se podría traducir en grandes pérdidas o en problemas de contaminación ambiental.

Estos problemas se presentan debido a que los equipos pueden estar pasando varias veces por el mismo lugar, dejar lugares sin la labor deseada, aplicar en lugares no deseados, sobre aplicación o baja aplicación por no utilizar la velocidad de trabajo adecuada, se estacionen durante las horas de trabajo, sustraigan producto o apliquen en los terrenos del vecino, entre muchas otras actividades.

Para contrarrestar estos problemas y muchos otros nació la agricultura de precisión la cual tiene como objetivo principal la administración de los recursos en un sistema productivo respondiendo a las condiciones específicas en cada lugar, dichas condiciones pueden variar tanto en el espacio como en el tiempo.

Con la implementación de la agricultura de precisión también se busca optimizar la eficiencia en el uso de los recursos y así maximizar la utilidad de la actividad agrícola minimizando también el impacto ambiental que esta produce.

En la actualidad el desarrollo de profesionales con capacidad de administrar los recursos e insumos en busca una mayor eficiencia y sostenibilidad de las actividades del sector agrícola ha tomado gran importancia.

Muscoplat (2007), Vicepresidente y Decano de la Facultad de Agricultura, la Alimentación y Ciencias del Ambiente de la Universidad de Minnesota, menciona que “cada vez más productores agrícolas están reconociendo la necesidad de técnicas específicas para manejo del campo y de profesionales con conocimientos en este ámbito”. En respuesta a lo antes mencionado se observa como el Ingeniero Agrícola gracias a su formación está llamado a ser el que tome la delantera en posicionarse en este sector laboral.

Actualmente la mayoría de equipos que funcionan, bajo los preceptos de agricultura de precisión en el país son utilizados para nivelación de terrenos y aplicación de fitosanitarios. La implementación de un sistema de aplicación de fertilizante granular por medio de dosis variable, amplía la gama de posibilidades disponibles en el mercado que tendrá el sector agrícola de aumentar su producción, sus ingresos y de disminuir los efectos ambientales por sobre aplicación.

La realización del trabajo final de graduación bajo la modalidad Proyecto de Graduación tiene como objetivo dar una solución técnica a la implementación y puesta en marcha de un equipo innovador para el sector agrícola nacional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de fertilización de dosis variable automatizado en una abonadora de aplicación al voleo, utilizando los principios de agricultura de precisión.

1.3.2 Objetivos Específicos

Analizar el funcionamiento de los distintos equipos que conforman el sistema de fertilización de dosis variable automatizado en una abonadora de aplicación al voleo, para determinar los requerimientos operativos de cada uno de los componentes del sistema.

Realizar una verificación preliminar sin uso de fertilizante para determinar el adecuado del funcionamiento del sistema.

Estudiar el proceso actual de fertilización utilizado en la finca del Grupo Pelón, para determinar los ajustes necesarios y evaluar el funcionamiento bajo las condiciones reales de operación en la finca

Realizar pruebas de campo con la abonadora, para comprobar su funcionamiento en la aplicación de dosis variable automatizada en condiciones reales de operación en los terrenos del Grupo Pelón tomando como referencia la metodología descrita en la norma ASABE S341.3.

Elaborar un Manual de Procedimiento dirigido a personas y profesionales con conocimiento en sistemas y equipos de agricultura de precisión, para el uso de una abonadora KUHN AXIS 40.1 controlada por medio de una barra de luces EZ-Guide 500 y el software FARM WORKS, los cuales permitirán la aplicación automatizada de fertilizantes granulados en dosis variable.

CAPITULO 2. Marco Teórico

2.1 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es definida como un sistema emergente diseñado para vincular las acciones de gestión para el suelo, los cultivos y los insumos como fertilizantes, herbicidas y plaguicidas, en lugares y cantidades específicas donde más se necesitan con lo que se logra maximizar la eficiencia agrícola y reducir al mínimo contaminación del medio ambiente (Nellis et al, 2009).

Según Davis, Casady y Massey (1998), la agricultura de precisión combina las nuevas tecnologías a cargo de la era de la información con una industria agrícola madura, lo que convierte a la agricultura de precisión en un sistema de manejo de cultivos integrados que intenta suplir las necesidades reales y exactas del cultivo en su preparación para la cosecha, en el momento y lugar preciso, mencionando que para ello se necesita trabajar en pequeñas áreas de terreno dentro del campo.

Al definir la agricultura de precisión como un sistema, a la hora de ponerse este en práctica tiene varias etapas Chartuni et al, (2007) menciona que existe una primera etapa de recolección de datos, una segunda etapa de procesamiento y análisis de la información para la toma de decisiones y creación de planes manejo del cultivo que luego son utilizados en una última etapa donde se ponen en práctica dichos planes de manejo gracias a la utilización de equipos con un grado de tecnología avanzada como se muestra en la figura 2.1.

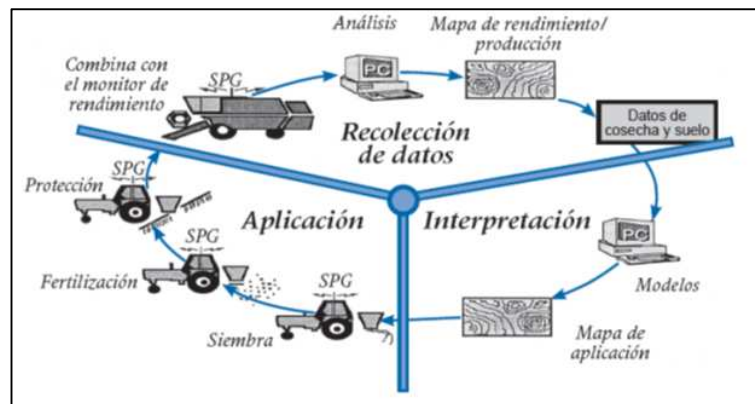


Figura 2.1. Las 3 etapas de la agricultura de precisión
Fuente: Chartuni et al, (2007)

Estas 3 etapas requieren de la interacción de distintas tecnologías, las cuales se clasifican en 4 grandes grupos que son:

2.1.1 Sistema de posicionamiento global (GPS)

Según la definición de agricultura de precisión, es de suma importancia el manejo diferenciado de los campos tomando en cuenta la variabilidad de estos, la ubicación espacial precisa de un sitio de manejo específico.

Este manejo diferenciado en los campos se logra cuando los agricultores logran dar una posición precisa de las características del campo, tales como el tipo de suelo, presencia de plagas, invasión de malezas, pozos de agua, límites y obstáculos entre muchos otros aspectos.

En base a esta necesidad fue que se dio la implementación del GPS en la agricultura, dicho sistema es definido por Lang (1992) mencionado por Batte et al, (1999), como un sistema de navegación basado red de satélites que ayuda a los usuarios a registrar la información de posición (latitud, longitud y altitud) con una precisión entre 100 y 0.01m en tiempo real.

Esta tecnología además de dar la ubicación de un lugar, permite guiar al usuario hacia otra ubicación, ejemplo de esto es que el GPS es comúnmente utilizado como un navegador para guiar a los conductores de automóviles a una ubicación específica, esta función es utilizada en la agricultura para las operaciones de tractores y equipos en el campo.

Dentro de las principales ventajas en la mecanización agrícola, los sistemas de posicionamiento global permiten guiar a los operadores de los tractores a lo largo de grandes distancias con desviaciones de pocos centímetros, así mismo este sistema permite guardar registros del recorrido llevado a cabo incluyendo información de la velocidad de avance y dosis aplicada entre otros aspectos.

Adicionalmente al estar guardada la información del recorrido, en caso de que sea necesario o si por descuido del operador del tractor pasa nuevamente por el mismo lugar, dependiendo del implemento que se esté utilizando, este detiene su labor por completo o parte de esta dependiendo de la configuración realizada en el equipo y los mecanismos que la conforman. Entre estos implementos se podría mencionar una sembradora, una abonadora de fertilizantes granulados o un pulverizador (Perry,2005).

2.1.2 Tecnología de sensores y teledetección

La implementación de esta tecnología viene a aumentar la precisión en el manejo de la producción agrícola dado que estos sensores, constantemente en tiempo real están generando información útil para la toma de decisiones en cuanto al manejo específico del campo.

Dentro de los tipos de sensores disponibles en el mercado se tienen sensores de conductividad electromagnética, foto-eléctrica, o ultrasonido los cuales se utilizan para medir humedad, vegetación, temperatura, vapor, aire, etc.

Como se mencionó anteriormente una vez analizados los datos que generan los sensores se pueden distinguir las especies de cultivo, localizar condiciones de estrés en el campo, descubrir las plagas y malezas además de supervisar las condiciones de sequía en el suelo y las plantas entre otros (Chen et al, 1997).

2.1.3 Monitores de rendimiento

Esta tecnología se utiliza principalmente en las cosechadoras de granos, con ella continuamente se registra el flujo del producto durante el proceso de corte y características de este como peso y humedad a través de sensores, estando estos vinculados con un receptor GPS pueden proporcionar datos para un mapa de rendimiento que ayuda a los agricultores para determinar la gestión racional de los insumos como fertilizantes, semillas, cal, pesticidas, la labranza y el riego (Davis et al, 1998).

2.1.4 Sistemas de información geográfica (SIG)

Las tecnologías mencionadas anteriormente tienen como función principal generar información la cual debe de ser almacenada y recopilada de la mejor manera para procesarla y llegar a una adecuada decisión para el manejo del campo.

Para realizar estas actividades es donde los SIG son de suma importancia dado que este sistema se compone de hardware, software y procedimientos diseñados para apoyar la recopilación, almacenamiento, recuperación y análisis de atributos además de datos de localización para generar mapas.

Los mapas de SIG son diferentes a los mapas convencionales y contienen varias capas de información por ejemplo, el rendimiento del cultivo, mapas de suelos, lluvias, cosechas, los niveles de nutrientes del suelo y las plagas entre otras, dichas capas se visualizan solas o se sobreponen lo cual permite el uso de estadísticas y métodos espaciales para analizarlas (ESRI, 2002).

Ventajas y desventajas de la agricultura de precisión

La utilización y combinación de los equipos y herramientas antes mencionadas significan grandes ventajas para los agricultores, según Segarra (2002) destaca principalmente que:

- El rendimiento aumenta. En muchos de los casos la selección precisa de las variedades de cultivo, la aplicación de los tipos y dosis exactas de fertilizantes, pesticidas, herbicidas y de riego apropiadas para satisfacer las demandas de los cultivos para el crecimiento y desarrollo óptimo.
- Mejora de la eficiencia. Las tecnologías avanzadas, incluyendo maquinaria, herramientas e información, ayudan a los agricultores a aumentar la eficiencia del trabajo en la tierra y en la agricultura ejemplo de ello es que los Estados Unidos, en 2 horas se logra cultivar una hectárea de trigo o de maíz teniendo como resultado menor cantidad de horas de trabajos de los equipos y del operador, menor gasto de combustible entre otros aspectos.
- Reducción de los costos de producción. La aplicación exacta de las cantidades en el momento adecuado reduce el costo de insumos agroquímicos en la producción agrícola. Además, el alto rendimiento en general reduce el costo por unidad de producto.
- Una mejor toma de decisiones en la gestión agrícola. Maquinaria agrícola, equipos y herramientas ayudan a los agricultores a obtener información precisa, que es procesada y analizada para la toma de decisiones adecuadas en la preparación tierra, siembra, fertilizantes, la aplicación de plaguicidas y herbicidas, riego y drenaje y demás actividades de post-producción.
- Reducción del impacto ambiental. El tiempo de aplicación de agroquímicos a una tasa exacta evita el exceso de residuos en el suelo y el agua, por lo tanto reduce la contaminación del medio ambiente.

- La acumulación de conocimientos de los agricultores para mejorar la gestión con el tiempo. Todas las actividades con agricultura de precisión generan valiosa información sobre la gestión de campo dado que los datos se almacenan en las herramientas y equipos por lo que los Agricultores pueden acumular conocimiento sobre sus fincas y los sistemas de producción.

A pesar de todas las ventajas mencionadas anteriormente de la agricultura de precisión siempre va a existir cuestionamientos.

Como principales interrogante se tiene que dentro de la fincas existen pocas personas con la capacidad de manejar todos los equipos y herramientas así como la información necesaria para realizar una adecuada interpretación de los datos para la toma de decisiones y por otro lado el alto costo de la inversión en los equipos, así como del personal capacitado.

Para Davis et al, (1998) la agricultura de precisión requiere un enfoque de sistemas en el cual para ser viable, tanto los beneficios económicos y ambientales deben ser considerados, así como las cuestiones prácticas de la gestión sobre el terreno y los acercamientos para proporcionar la infraestructura de las tecnología utilizadas.

2.2 Aplicación de Dosis Variable

En el desarrollo de la agricultura de precisión una vez que se concluye con la recolección de datos, la interpretación de estos y se generan los planes de manejo para cada sitio específico la tecnología de aplicación de dosis variable se pone en práctica.

Esta tecnología se define como la aplicación discriminada de productos por metro cuadrado de un lote, a fin de reducir los efectos negativos de una aplicación

uniforme, manteniendo la calidad y cantidad del cultivo con criterios agronómicos, económicos y de cuidado al medio ambiente (Batte y VanBuren, 1999).

A la hora de llevar a cabo este tipo de aplicación se puede realizar tanto de manera manual gracias a un operario que logre identificar las zonas marcadas en el campo o de manera automática utilizando el GPS.

Con la realización de las aplicaciones regidas bajo este principio según sea el precio del cultivo, de los insumos, de la tecnología utilizada y el tamaño de las zonas sembradas del cultivo y el porcentaje y grado de variación en estas se considera rentable o no este tipo de aplicación.

En la actualidad el concepto de las aplicaciones de dosis variable ha tomado mucha relevancia sin embargo tiene su principal problema en que no se cuenta con el conocimiento ni la estructura para administrar e interpretar los datos y decidir en base a ellos (Méndez et al, 2003)

2.3 Abono y Abonadoras

2.3.1 Abono

Dentro de las actividades a realizar en la producción de agrícola se tiene el abonado o fertilización, el cual se realiza según una programación previa o en algunos casos de emergencia a través del ciclo productivo de un cultivo. Estas aplicaciones tienen como objetivo compensar la extracción de los nutrientes así como las deficiencias que se tenga en los suelos, principalmente en nutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo (Barreiro y Ruiz, 2000).

Los materiales utilizados (abonos) para realizar la nutrición de la plantas y compensar las deficiencias del suelo deben de cumplir dos principios muy importantes como lo es tener una alta eficiencia en la función a realizar y así como

una adecuada relación con el medio ambiente evitando causar daños a este o a la salud pública en general (Omaña y Terciado, 2009).

Para lograr obtener una adecuada eficiencia en la función a realizar por parte del abono además de ser necesaria la calidad de los componentes y su respectiva formulación se debe tomar en cuenta las propiedades físicas de estos los cuales van a influir directamente en el resultado final de la fertilización si la uniformidad no es la adecuada.

Actualmente se fabrican fertilizantes minerales en estado sólido, líquido y gaseoso, los más utilizados son los de tipo sólido y a su vez estos tienen varias clasificaciones entre ellas abonos de tipo granular, granular perlado como la Urea, cristalizados o prensados y pulverulenta (Márquez, 1994).

En el presente proyecto el abono a utilizar es de tipo granulado perlado y la abonadora es de tipo centrifuga por lo que dentro de las principales características físicas a tomar en cuenta de este se tienen la granulometría, densidad aparente, esfericidad, dureza de las partículas, humedad y compactación.

La granulometría y la densidad aparente son las características físicas más críticas a la hora de realizar una aplicación buscando una uniformidad de distribución aceptable además estas limitan el funcionamiento de la voleadora en cuanto a la anchura de trabajo.

Según Omaña y Terciado (2009) se pueden utilizar los siguientes criterios para clasificar la uniformidad del abono:

- Correcto: 0 al 10%, menor que 0,2 mm
- Aceptable: 10 al 20%, menor de 0,2 mm
- Incorrecto: mayor de 20%, menor de 0,2 mm

En cuanto a la densidad aparente los valores estos deben estar entre 0,85 y 0,95 kg/m³ en abonos nitrogenados y entre 0,90 y 1,20 kg/m³ en los de tipo compuesto, cabe destacar que esta última característica es muy estable en la mayoría de los abonos (Omaña y Terciado, 2009).

En la figura 2.2 se muestran algunas de las características físicas antes mencionadas, así como por qué se deben de tomar en cuenta.



Figura 2.2. Características físicas minerales granulados
Fuente: Artículo Luis Márquez, Revista Agrotécnica (2011)

2.3.2 Abonadoras. Clasificación

Como una definición general de abonadoras en la fertilización de cultivos extensivos Márquez (1998) menciona que "una abonadora es una máquina capaz de esparcir el abono mineral, contenido en una tolva o depósito, por todo el campo y consiguiendo al menos un grado de uniformidad tal que las diferencias no tengan reflejo en el cultivo"

A partir de la definición anterior y como se mencionó previamente en la actualidad existen diferentes presentaciones de los fertilizantes por lo que según sus

características se van a requerir equipos específicos para llevar a cabo su aplicación.

Entre las principales clasificaciones de estos equipos se tienen las abonadoras por gravedad que como su nombre lo indica el fertilizante llega al suelo por la acción de la gravedad se utiliza con todos los tipos de abono sólido sin embargo es mayoritariamente utilizada para fertilizantes pulverulentos, las abonadoras centrifugas en las cuales a través de discos o péndulos el fertilizante es esparcido por el campo, las neumáticas donde el fertilizante es llevado al suelo gracias al flujo de aire producido por un ventilador muy útil para dosis bajas, las de tipo localizadoras donde el fertilizante se incorpora dentro del terreno a baja o alta profundidad, las sembradoras combinadas en las cuales conforme se siembra se va incorporando el fertilizante al suelo y los pulverizadores utilizados para la aplicación de fertilizantes líquidos (Omaña y Terciado, 2009).

2.4 Evaluación y calibración de Abonadoras centrifugas de doble disco

2.4.1 Conceptos teóricos del abonado

La abonadora utilizada en el proyecto es de tipo centrifuga de doble disco, la cual no asegura una distribución homogénea en todo su ancho por lo que es necesario el solapamiento o traslape entre pasadas, principalmente cuando operan a distancias superiores a los 10 metros. El ancho de trabajo en este tipo de máquinas puede llegar más allá de los 30 metros (Barreiro y Ruiz 2000).

Cuando se trabaja con abonadoras centrifugas se debe tener clara la diferencia entre la anchura de distribución y la anchura de trabajo, la primera de estas se define como el ancho de extremo a extremo donde llega el fertilizante durante el funcionamiento de la voleadora mientras que anchura de trabajo se define como la distancia en la que todos los puntos reciben la misma cantidad de abono por

unidad de superficie, esto se logra gracias al traslape o solapamiento debido al ajuste en la distancia entre pasada y pasada, en la figura 2.3 muestra un ejemplo la definiciones antes mencionadas.

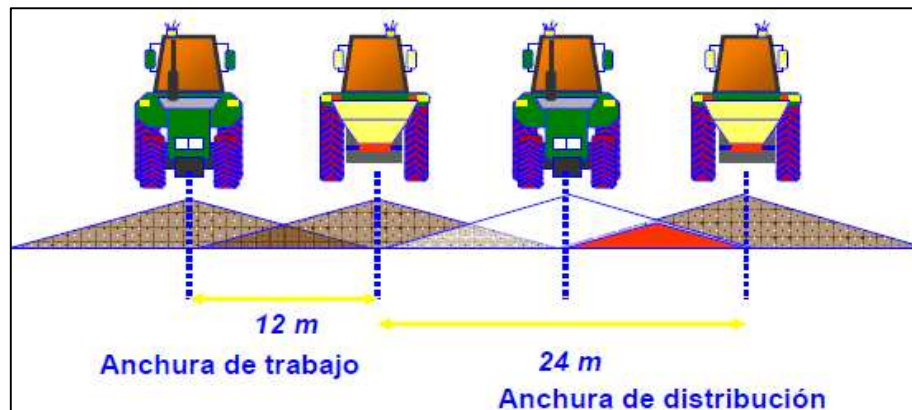


Figura 2.3. Traslape 100% distribución tipo piramidal

Fuente: Presentación Luis Marques, XXII Jornadas de Ciencia y Tecnología: Retos del abonado (2011)

Con estas abonadoras de doble disco se pueden obtener varios tipos de patrones de distribución algunos de ellos son considerados adecuados o aceptables según Aloé y Toribio (2008) son los de tipo Plano, Ovalado y Piramidal dado que permiten superponer así mismo sus anchos de trabajo, por consiguiente los otros que se muestran en la figura 2.4 son los no deseables, dichos patrones se pueden producir por varios factores mal ajuste de la salida de fertilizante a los discos, la caída a los discos de fertilizante húmedo, entrega despareja a los platos giratorios y aplicaciones sobre pendientes fuertes entre otros, corrigiendo estos factores se podría obtener algunos de los patrones deseados.

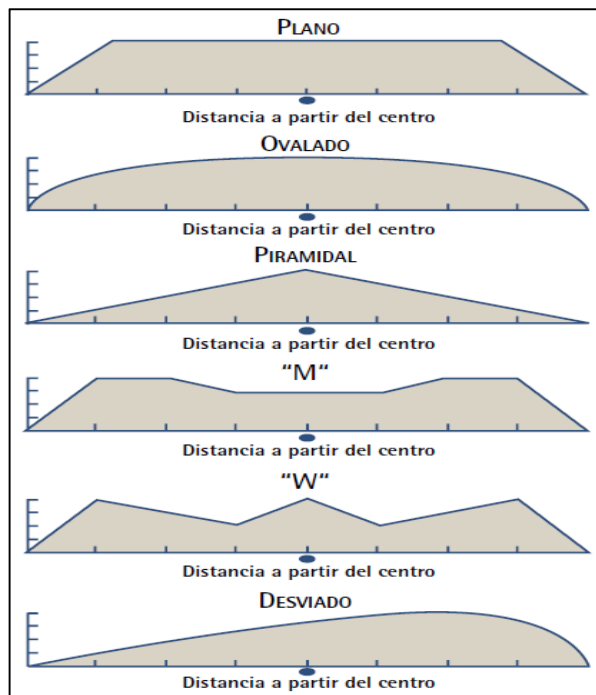


Figura 2.4. Distribuciones tipos de abonadoras de doble disco

Fuente: Artículo Aloé y Toribio, revista Profertil (2008)

Todas las aplicaciones utilizando abonadoras centrífugas basan la calidad de aplicación en dos factores como lo son la tasa de aplicación y la uniformidad de la distribución determinada por el valor obtenido del coeficiente de variación.

En cuanto a la uniformidad esta se evalúa de dos formas según Gil (2005), una de ellas se lleva a cabo en la dirección de avance del tractor denominada "uniformidad longitudinal" la cual depende en menor medida de las condiciones externas por lo cual es más fácil de obtener valores aceptables siendo estos principalmente las características del abono y el sistema de regulación de la dosis. Contrario a esto se tiene la uniformidad perpendicular a la dirección de avance o "uniformidad transversal" donde esta se ve afectada por mas factores en la figura 2.5 se muestran los factores que intervienen en la calidad de la distribución.

Sentido	Factores	Aspectos
Uniformidad de distribución longitudinal	Características del abono	Fluidez Densidad aparente Por gravedad
	Sistema de regulación de la dosis	Por extracción forzada Volumétrica Granulometría
Uniformidad de distribución transversal	Características del abono	Densidad real Resistencia aerodinámica
	Características del sistema de distribución	Disco centrifugo Pendular Neumático
	Regulación de la máquina	Dosis Anchura de trabajo Altura e inclinación
	Factores ambientales	Irregularidad del terreno Velocidad del viento

Figura 2.5. Principales factores que intervienen en la calidad de distribución
Fuente: Artículo Emilio Gil, Revista Técnica Agrícola (2005)

Además de los aspectos antes mencionados la velocidad de avance y el régimen de revoluciones de la toma de fuerza afectan considerablemente la uniformidad de la distribución, en la figura 2.6 se observa como varia el patrón de distribución por consiguiente la uniformidad con una variación en las revoluciones de la PTO de 540 a 400 rev/min.

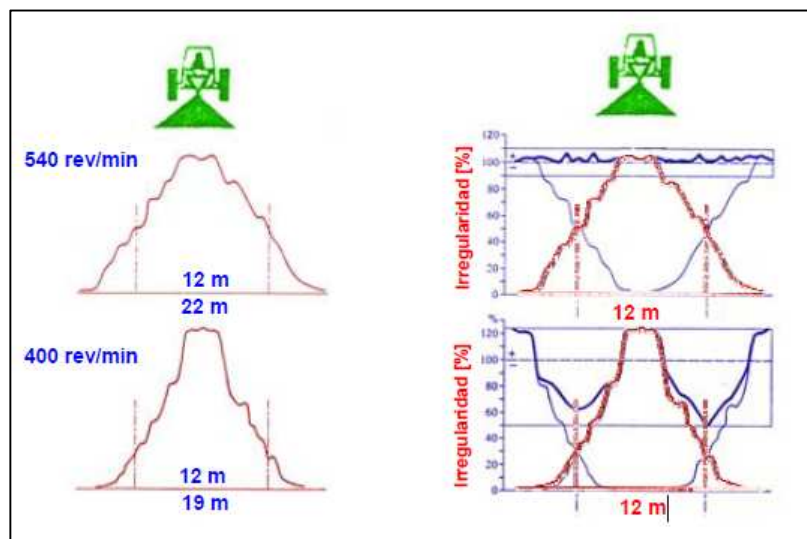


Figura 2.6. Efecto del régimen de la TDF en la distribución
Fuente: Presentación Luis Marques, XXII Jornadas de Ciencia y Tecnología: Retos del abonado (2011)

Como se observa cuando el régimen de trabajo es de 540 rev/m se tiene que el ancho de distribución es de 22 m con una distancia entre pasadas de 12 m al superponer dicho patrón de distribución la uniformidad de dicha aplicación es aceptable mientras que cuando se trabaja a 400 rev/min el ancho disminuye llegando hasta los 19 metros y al mantener constante en 12 m la distancia entre pasadas claramente la uniformidad se ve afectada generando una aplicación resultante de muy baja calidad.

Existen diferentes rangos de valores en los coeficientes de variación para decir si es o no aceptable la uniformidad de la aplicación, estos van a depender de la etapa en que se encuentre el cultivo a la hora de hacer la aplicación, si el abonado se da antes de la siembra del cultivo se conoce como “abonado de fondo” al realizarse en dicha etapa se permiten coeficientes de variación con valores más altos, si la fertilización se da en etapas críticas durante el desarrollo del cultivo se nombra “abonado de cobertura” y principalmente se aplican abonos nitrogenados con capacidad de ser asimilados rápidamente (Barreiro y Ruiz 2000).

Según un estudio de la FAO, mencionado por Barreiro y Ruiz (2000), el coeficiente de variación a partir del cual se podrían presentar pérdidas de cosecha es 10%. Por otro lado, mencionan que según la experiencia de otros autores valores de este coeficiente por encima del 10% en abonados de cobertura no es aceptable, mientras que no deben de superarse valores de C.V mayores a 30% en fertilizaciones de fondo.

En el cuadro 2.1 se muestran los valores aceptables en los coeficientes de variación según el lugar donde se realizan las pruebas, dichos valores fueron determinados por investigaciones anteriores según la respuesta de los cultivos a una aplicación heterogénea de fertilizantes nitrogenados (Gil, 2005).

Cuadro 2.1. Interpretación coeficientes de variación

Ensayo de laboratorio	Interpretación	Pruebas de campo
$0 < CV < 10\%$	Bueno – Muy bueno	$0 < CV < 15\%$
$10 < CV < 15\%$	Aceptable	$15 < CV < 25\%$
$>15\%$	Malo – A desechar	$>25\%$

Fuente: Artículo Emilio Gil, Revista Técnica Agrícola (2005)

Por otro lado en la Guía de fertilización racional de cultivos en España publicada en el 2009 como resultado de un estudio, incluido en el programa de estudios del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino dice que en aplicaciones de cobertura realizadas en laboratorio para abonos nitrogenados el C.V debe ser menor al 10% y que en pruebas de campo como máximo un 15% para decir que la uniformidad es la adecuada, mientras que en abonos de fondo se admite un máximo del 20%.

En la figura 2.7 se observa un campo en el cual se realizó la aplicación de fertilizante irregular claramente se nota la variación en los colores del cultivo correspondiendo estas a zonas sobre aplicadas y sub aplicadas.



Figura 2.7. Distribución irregular de fertilizantes nitrogenados

Fuente: Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España (2009)

Para el cálculo de la tasa de aplicación existen diferentes métodos, en la norma de la ASABE S341.3 se menciona el método convencional, en el cual la dosis aplicada se obtiene midiendo la cantidad de abono que sale de la voleadora durante la aplicación en un área conocida, de hecho este método es el más utilizada para calcular dicho valor, otro método es el de conocer la cantidad de fertilizante recogido en las pruebas de los patrones de distribución, en la cual se utilizan colectores y a partir del área de apertura de este y el peso del fertilizante recolectado utilizando una ecuación se logra obtener dicho valor en el anexo 7 se muestra la norma.

CAPITULO 3. Equipos, herramientas y metodología

3.1 Equipos y herramientas

3.1.1 Barra de luces EZ-guide 500

Esta es una Pantalla con GPS que funciona como guía para vehículos agrícolas que ayuda a conducir el tractor de forma más eficiente reduciendo saltos y superposiciones en el lote. Tiene la capacidad de recibir el mapa de prescripción del lote, leer los datos y enviar la información de dosis al controlador de aplicación según su posición en el campo.



Figura 3.1. EZ-Guide 500

Fuente: Manual de Usuario EZ-Guide 500

3.1.2 Abonadora marca KUNH serie AXIS 40.1 W

La abonadora a utilizar en el proyecto es de tipo centrífuga de doble disco para aplicación de fertilizantes granulados, fabricada en su mayoría en acero inoxidable su peso en vacío es de 375 kg y la carga útil de abono máxima son 3000 kg tiene la capacidad de realizar aplicaciones para anchos de trabajo que van de los 12 a 40 metros.

Cuenta con un sistema D.P.A.E. (Caudal Proporcional al Avance Electrónico), el cual permite que si el tractor cambia su velocidad de avance el caudal varíe con el fin de mantener constante la dosis predeterminada. Sin embargo, para llegar a

cumplir con el concepto de agricultura de precisión dicha dosificación debe variar según las necesidades específicas del campo.

El sistema utilizado consiste en una unidad de control llamada Quantron E que recibe la señal eléctrica enviada del EZ-Guide 500 con información de la dosis de a aplicar así como de la velocidad real de avance, esta señal permite que los actuadores con que cuenta la abonadora se varíen la apertura de las tolvas para mantener la dosificación deseada.



Figura 3.2. Controlador Quantron E
Fuente: Brochure KUHN AXIS

3.1.3 FARM WORKS software

Esta herramienta permite la creación de los mapas de prescripción de aplicación de fertilizantes en el campo según las necesidades. Para ello se debe realizar un levantamiento de las distintas zonas de manejo diferenciado, además, el software permite un manejo de información muy completo una vez que se realizan las labores de campo y se genera la información.

3.1.4 Receptor de información de mano Juno SC

Este dispositivo es una computadora de campo que integra una serie de características como la captura de fotografías, información de posicionamiento GPS de alto rendimiento que permite realizar el levantamiento de la información espacial del campo para crear el mapa de prescripción.



Figura 3.3. JUNO SC

Fuente: Manual de usuario JUNO SC

3.2 Procedimiento

En la figura 3.4 se muestra un diagrama general del procedimiento utilizado en la realización del presente proyecto, más detalladamente se describe cada uno de ellos en los apartados siguientes.

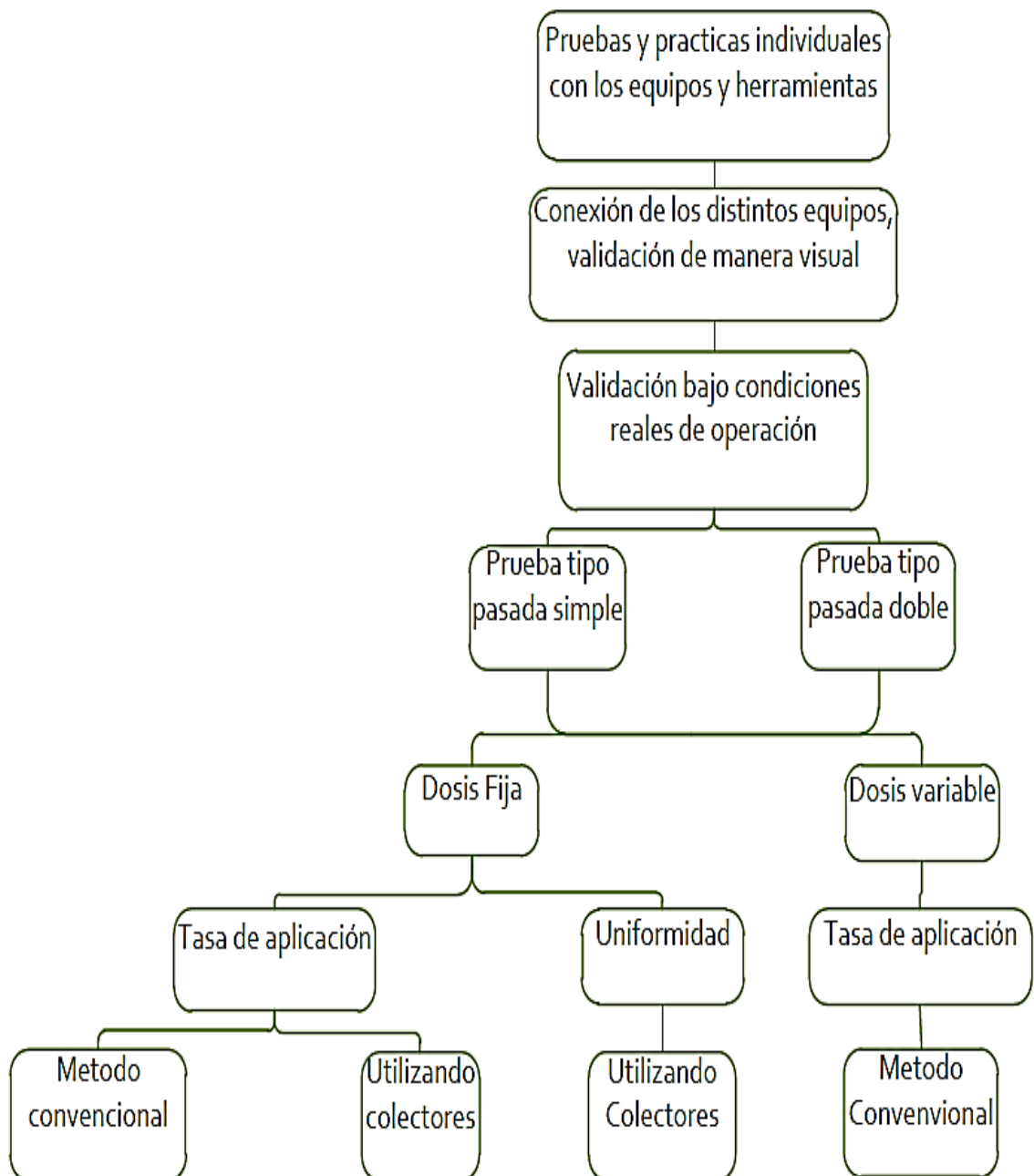


Figura 3.4. Diagrama, pasos de Metodología
Fuente: Autor

3.2.1 Estudio y pruebas preliminares de los equipos a utilizar

La etapa inicial en la implementación del sistema de dosis variable en la abonadora consistió en el desarrollo de prácticas con los distintos equipos y herramientas a utilizar.

Se contó con los manuales de operador, tutoriales y demás información que las distintas empresas fabricantes proporcionan al distribuidor en Costa Rica.

Con la información del funcionamiento teórico de todos los equipos necesarios, se realizó la instalación e interconexión en el tractor para las prácticas.

Un objetivo en esta sección del proyecto es la generación de un mapa de aplicación supuesto, en las instalaciones de CRAISA S.A. Este mapa únicamente se dividió en dos zonas con distinta dosis.

El proceso para llevarlo a cabo es realizar un levantamiento del terreno con el Juno SC y con la utilización del software Farm Works Mobile. A partir de este levantamiento y su desarrollo con la utilización de la herramienta informática Farm Works Office, se realizó el mapa de aplicación de dosis variable. Dicho mapa se cargó en el EZ-Guide 500 para poner el equipo en marcha.

El desarrollo de los pasos anteriores permitió poner en marcha el sistema en las instalaciones de la empresa, en los límites ubicado donde se dio el paso de una zona a otra según el mapa creado, de manera visual se controló la variación en la apertura o cierre de las correderas de dosificación en la voleadora según la dosis programada.

Además de esto se verificaron otras acciones como la variación en la apertura de las correderas de dosificación según la velocidad de avance, el cierre de estas una vez que el tractor exceda el límite permitido de traslape o se realice el pase por el mismo lugar o se detenga por completo el tractor.

Con la verificación visual del funcionamiento del equipo se procedió a validar el funcionamiento del sistema bajo condiciones reales de operación, previo a esto, fue necesario conocer la situación actual del proceso de fertilización en la finca.

3.2.2 Análisis del proceso de fertilización realizado en la finca

Esta sección del proyecto se logró con la participación directa en varias jornadas completas durante las operaciones de un día normal de fertilización, previo a la utilización de la voleadora y demás equipos.

Además, durante los días de prueba, se trabajó con las dos voleadoras simultáneamente lo cual permitió ver el comportamiento de ambas bajo las mismas condiciones de operación.

3.2.3 Directrices para la configuración de las pruebas

Se realizaron 4 pruebas distintas en el campo teniendo como referencia los procedimientos de ensayo descritos en la norma ASABE S341.3 FEB04 “Procedimiento para medir la uniformidad de distribución y la calibración de esparcidores granulares”.

De todos los aspectos mencionados en la norma algunos se lograron realizar según los parámetros que esta define, sin embargo se dieron algunas variantes dado que las pruebas se realizaron en condiciones reales de operación y con un presupuesto limitado.

El primer paso fue la selección del terreno para las mediciones, el cual deberá ajustarse a los requerimientos de la norma, dentro de los aspectos este tiene que tener una pendiente menor al 2%, la altura del cultivo menor a 10 cm o sea inferior a la altura de los colectores sin dejar de lado que la aplicación se realizara según la programación de fertilización.

El fertilizante será sometido a un análisis granulométrico en el cual el tamaño mínimo debió ser de 2 mm (Barreiro y Ruiz, 2000).

Antes de iniciar la operación del equipo se realizaron los ajustes necesarios siguiendo los parámetros dados en el manual de uso de la abonadora, como la nivelación de la abonadora, el tipo de disco y el punto de extracción los cuales se hicieron en función ancho de trabajo deseado, el tipo de fertilizante y la dosis a aplicar. Dichos ajustes requirieron varias pruebas para verificar su adecuada calibración.

Los colectores a utilizados en las pruebas según la norma deben de tener un área no menor a las 30 cm X 30 cm, con una altura superior a los 10 cm y con un espesor de pared no mayor a los 2,3 mm.

Después de realizar la búsqueda del colector con estas características no fue posible adquirir ninguno con las características antes mencionadas, se observaron algunos en su mayoría con dimensiones muy inferiores u otros con tamaños mayores pero a un costo muy alto, el cual se salía del alcance del proyecto por la cantidad de colectores mínima requerida y al presupuesto disponible.

Se definió la utilización de un colector tipo tina plástica redonda con un diámetro y un área efectiva de 26,5 cm y 0,055 m² respectivamente, fue de los que mejor se aproximaba al área efectiva de 0,09 m² y demás dimensiones mencionadas en la norma, siendo estos a su vez los que mejor se ajustaban al presupuesto.

Además de los colectores se utilizó una balanza analítica marca Ocony Serie ES-300H con una precisión de $\pm 0,01$ gramos, un embudo de plástico grande, un recipiente pequeño de aluminio los cuales se observan en la figura 3.5.



Figura 3.5. Equipos utilizados para la medición
Fuente: Autor

El procedimiento general de las pruebas consistió en la medición de la cantidad de fertilizante recogido en cada colector una vez que se dio el paso del tractor sobre estos. El fertilizante recogido en cada uno se trasladó al recipiente de aluminio a través del embudo para ser pesado en la balanza analítica.

Una vez conocido el peso del fertilizante en cada colector, se registró según su posición en el campo, dado que además de calcular la tasa de aplicación, a partir de esta y su posición se generó el patrón de distribución y adicionalmente la uniformidad de la aplicación, el machote utilizado para la toma de datos en campo se muestra en el Anexo 5.

Para realizar la cuadrícula de colectores en el campo se contó con la colaboración del operador del tractor y una cinta métrica de 50 metros. El procedimiento consistió en colocar la cinta métrica de manera perpendicular a la línea de avance del tractor, de manera que en ambos lados de la parte central del tractor se midan 20 metros en el caso de la prueba de aplicación en un solo sentido para un total de 40 metros, o 20 metros de la parte central hacia el lado donde se realice la próxima pasada en el caso de la prueba de doble sentido

El detalle de los dos tipos de pruebas de aplicación mencionadas anteriormente están definidos por la norma ASABE S341.3:

3.2.3.1 Aplicación en un solo sentido

Dicha prueba consiste en hacer pasar el tractor con el equipo en funcionamiento una sola vez por el centro una cuadrícula de colectores (figura 3.6) los cuales están debidamente identificados y ubicados según su posición en un diagrama.

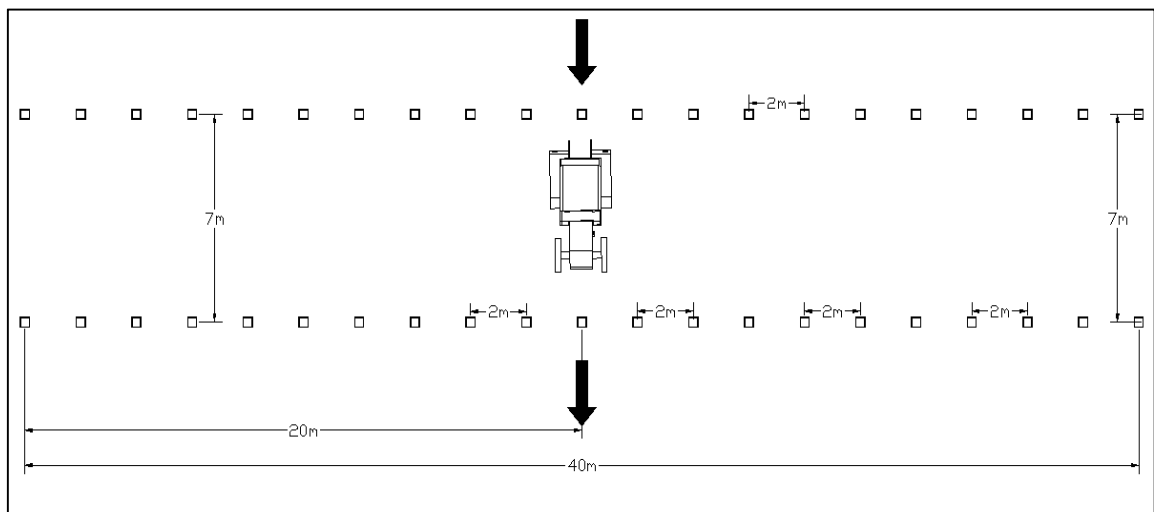


Figura 3.6. Vista en planta, prueba tipo pasada simple
Fuente: Autor

En la recolección de datos para una pasada simple como se observa en la figura 3.6 se colocaron los colectores cada 2 metros a lo largo de 20 metros a ambos lados del tractor más un colector ubicado en el centro de la pasada para un total de 21 colectores por fila, con una segunda fila paralela separada una distancia de 7 metros en la dirección de avance, dicha prueba se realizó 4 ocasiones con lo que se tuvo un total de 168 puntos de medición, para complementar la visualización de la ubicación de los colectores y el pase del tractor se muestra la figura 3.7

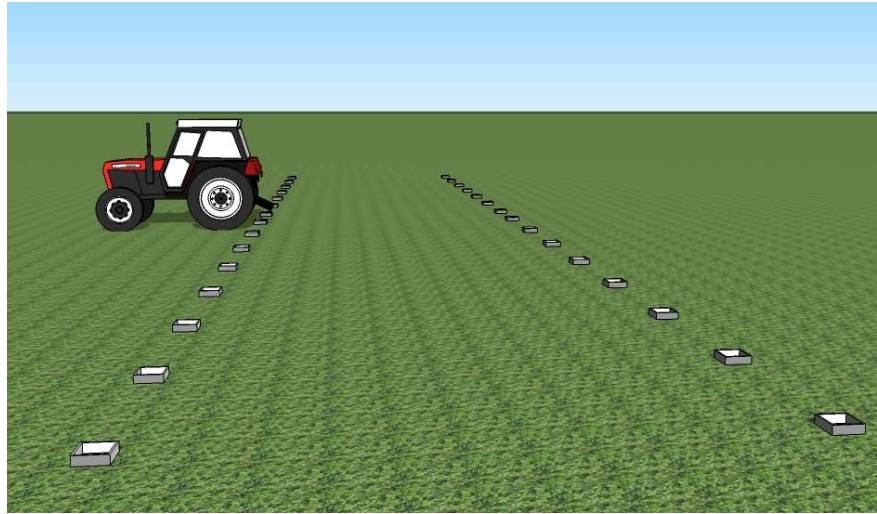


Figura 3.7. Aplicación simple y disposición de colectores
Fuente: Autor

3.2.3.2 Aplicación en doble sentido

El procedimiento y los resultados esperados son los mismos que en el caso de la aplicación de pasada simple sobre la cuadrícula de colectores, con la particularidad de que el tractor con el equipo en funcionamiento realiza una pasada de ida y una de vuelta respetando el traslape recomendado, como se muestra en la figura 3.8.

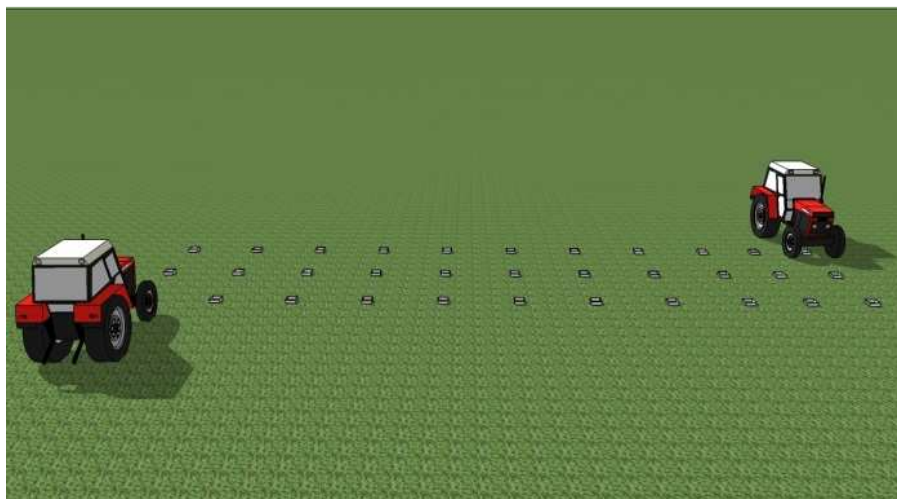


Figura 3.8. Aplicación doble sentido y disposición de colectores
Fuente: Autor

Se observa en la figura 3.9 la distribución de los colectores utilizados en la recolección para una pasada doble, donde el ancho de trabajo es de 20 metros. Se colocaron 11 colectores, uno cada 2 metros y se tuvieron 3 filas paralelas con una separación de 7 metros, este tipo de medición se realizó en 6 ocasiones, 4 cuando se aplicó una dosis de 150 kg y 2 para una dosis de aplicación de 200 kg, generando en total 198 puntos de medición.

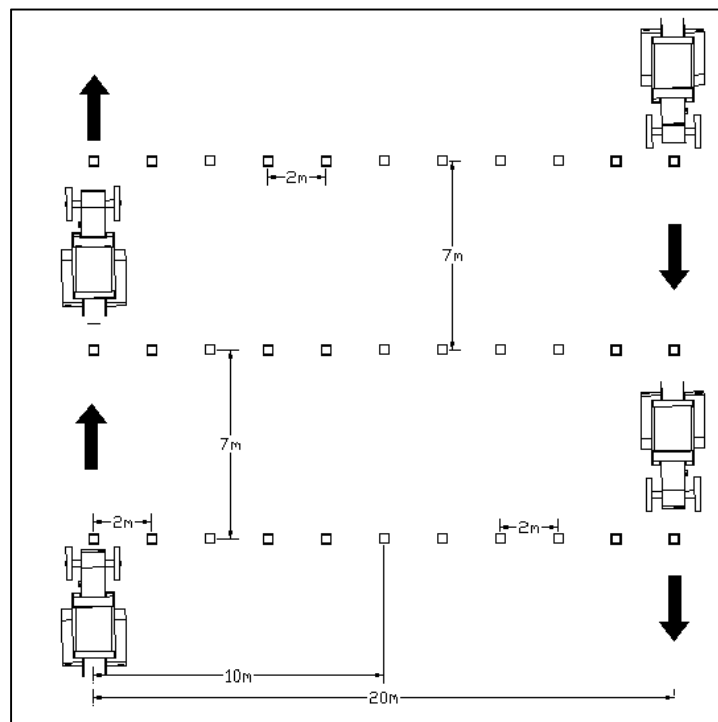


Figura 3.9. Vista en planta, prueba tipo pasada doble
Fuente: Autor

3.2.3.3 Aplicación dosis variable

Las 2 formas de aplicación descritas anteriormente se utilizaron para dosis de fertilizante fijas, sin embargo estas también se implementarían cuando se realizara la medición para validar el cambio de dosis, con la variante de que se tendría una cuadrícula con el doble de colectores que en las pruebas en zonas de una única dosis de aplicación.

El centro la cuadrícula se ubicaría sobre el límite entre las áreas con distinta dosis de aplicación como se observa en la figura 10, quedando así la misma cantidad de colectores a ambos lados, dicha zona se marcaría en el campo previamente con la ayuda del GPS, sin embargo por las condiciones del campo fue imposible realizar las mediciones bajo este método.

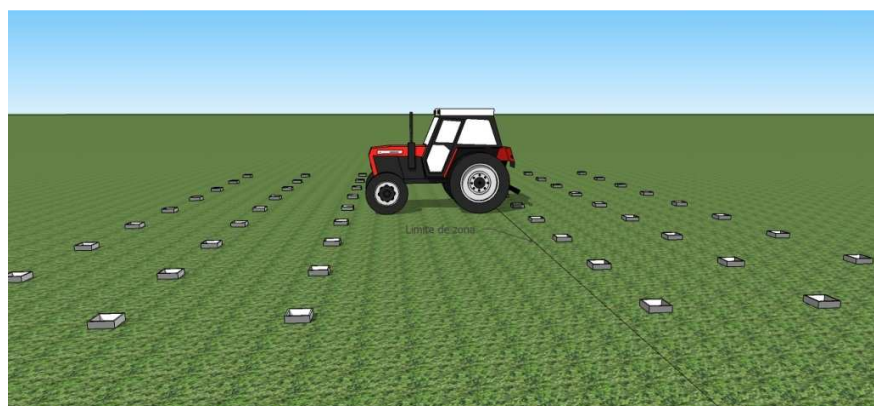


Figura 3.10. Disposición de colectores para la medición de dosis variable
Fuente: Autor

En resumen las mediciones realizadas se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.1. Resumen de mediciones a realizar

Prueba	Tipo de aplicación	Dosis	Número de mediciones	Repeticiones por medición
1	Pasada simple	Fija	4	2
2	Pasada doble sentido	Fija	6	3

Fuente: Autor

En cuanto a la velocidad de avance en las pruebas, fue definida por el personal del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura, se trató de que fuera lo más uniforme posible sin embargo esto se vio afectado considerablemente por las condiciones del terreno, la medición de la velocidad fue llevada a cabo por el EZ-Guide 500 el cual suministró la información de velocidad según el avance real registrado por el GPS.

Además de procurar mantener la velocidad constante, las aplicaciones se realizaron con un régimen de giro de 540 rpm para la toma de fuerza dado que la variación de este afecta considerablemente la tasa de aplicación y la uniformidad de distribución.

A la hora de hacer referencia a los resultados por cada colector se utilizó una identificación basada en 3 números, donde el primero de ellos correspondió al número de colector, el segundo a la medición que pertenece y el tercero a la repetición, adicionalmente se deberá indicar si es de la prueba en pasada simple o doble y la dosis teórica de esta.

Después de realizar cada una de las pruebas anteriores se llevó a cabo un análisis de los datos recolectados, dicho análisis se basó en dos aspectos que son la tasa de aplicación y la uniformidad en la distribución que logró la voleadora de acuerdo a la norma.

3.2.4 Determinación de la tasa de aplicación

Una vez que se realizaron las aplicaciones de fertilizante siguiendo las directrices antes propuestas, se calculó la tasa de aplicación con el fin de validar el funcionamiento de este sistema.

Se utilizó el apartado 5.4.1 de la norma ASABE S341.3, siendo este el método más utilizado en el campo para obtener la tasa de aplicación, en el cual se realiza la medición de los kilogramos de fertilizante distribuidos durante la aplicación de un área conocida.

Para realizar esto se contó con el mapa de todos los lotes y en los cuales cada terraza viene indicada con su área correspondiente en hectáreas y para obtener los kilogramos de fertilizante aplicados se utilizó el valor suministrado por las básculas electrónicas de la voleadora.

Este procedimiento se utilizó para realizar la calibración inicial de la voleadora, además sirvió para estar llevando a cabo constantemente la revisión de la tasa aplicada debido a que se puede realizar rápidamente en el campo.

La ecuación utilizada para obtener el valor de tasa de distribución utilizando este procedimiento se muestra a continuación:

$$T = \frac{P}{A} \quad (1)$$

donde:

T : tasa de aplicación en kg/ha

P : masa medida, en kg

A : área conocida, en ha

El método utilizado para obtener la tasa de aplicación utilizando la cantidad de fertilizante recogido en los colectores se describe en el apartado 5.4.5 de la norma ASABE S343.1, de dicho apartado se desprende la siguiente ecuación:

$$T = \frac{K \times M}{A \times E} \quad (2)$$

donde:

T : tasa de aplicación, en kg/ha

K : es constante, 100000

M : es la masa de la muestra, en g

A : área de la apertura del colector, en cm^2

E : eficiencia del colector, 1 dado que no es conocida

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico de intervalos de confianza para definir si la tasa de aplicación teórica está entre el rango de valores aceptables, según la variabilidad de los resultados obtenidos en las tasas de

aplicación, esto con el objetivo de definir si la dosis aplicada fue aceptable, dicha prueba se realizó a nivel de confianza del 95%.

La ecuación con la cual se obtienen los intervalos de confianza es

$$X \pm t_{\alpha/2, n-1} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

donde:

X : promedio

$t_{\alpha/2, n-1}$: distribución t inversa

S : desviación estándar

n : número de datos

3.2.5 Determinación de la uniformidad de distribución

Con base en los datos obtenidos de la tasa de aplicación gracias en las distintas pruebas propuestas se procedió a determinar:

Diagramas de distribución: Para generar estas figuras se utilizarán los valores promedio de la tasa de aplicación obtenidos en la parte anterior graficados según su posición en el campo.

Coficiente de uniformidad: Este se determina utilizando las siguientes ecuaciones

$$S = \frac{\sum(X_i - X)^2}{n} \quad (4)$$

$$X = \frac{\sum X_i}{n} \quad (5)$$

$$C.V(\%) = \frac{S}{X} \times 100 \quad (6)$$

donde:

X_i : tasa de aplicación en cada colector

X : promedio de la tasa de aplicación de los colectores

n : número de colectores

S : desviación estándar

3.2.6 Generación y aplicación del mapa de dosis variable

Para la creación del mapa de aplicación de dosis variable se utilizó el mismo procedimiento utilizado en la generación de la prescripción de prueba realizada en las instalaciones de CRAISA.

Sin embargo, se debió tomar en cuenta varios aspectos adicionales con el fin de obtener un mapa de aplicación real que se ajustara a las necesidades del campo.

La información adicional según los parámetros de la agricultura de precisión con que se pudo haber contado fueron los análisis de suelos tanto nutricionales como de textura, mapas de rendimiento de cosechas anteriores, entre otros.

La utilización de dicha información estuvo sujeta a la disponibilidad de la misma por parte del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura.

El primer paso fue la selección de un lote que se ajustara a los parámetros mencionados en la sección de las directrices de la prueba, una vez seleccionado el lote se procedió a la recopilación de la información disponible para llevar a cabo el plan de fertilización.

Definidas las zonas dentro del lote en conjunto con el Departamento Agrícola se procedió a asignar las dosis respectivas para cada una de ellas, por último se realizó la exportación del mapa al EZ-guide 500 para proceder con la aplicación.

Durante la aplicación se realizaron las mediciones descritas en el procedimiento 5.4.1 en la norma (ASABE S341.3), además se contó con la información de la tarea aplicada utilizando el software Farm Works para realizar un análisis más completo.

3.2.7 Elaboración de una guía rápida para la implementación en un sistema de control y suministro de dosis variable automatizado

En la elaboración de la guía se tomaron en cuenta aspectos tales como los pasos para crear el mapa de aplicación de dosis variable en el programa de computo FARM WORKS, como importar y exportar la información al EZ-Guide 500, las configuraciones necesarias en la voleadora y el EZ-Guide 500 que permitan una adecuada comunicación entre ellos como lo fue el formato para la transmisión de datos entre otros aspectos.

El procedimiento utilizado consistió que durante la realización del mapa de dosis variable así como de las distintas configuraciones de los equipos se fueron guardando las imágenes, para que posteriormente ejemplifiquen cada uno de los pasos realizados en el proceso, en algunos casos esta fue

CAPITULO 4. Resultados y Discusión

4.1 Estudio y pruebas preliminares de los equipos a utilizar en el proyecto

Concluido el estudio de los distintos equipos y software de manera teórica se procedió a realizar la conexión del controlador de la abonadora al EZ-Guide 500, donde lo primero fue realizar la instalación del cable de comunicación entre ambos equipos, el cual fue desarrollado y ensamblado por el personal técnico de CRAISA. Dicho cable en uno de sus extremos posee un terminal tipo RS232 el cual se conectó al EZ-Guide 500 y en el otro extremo el terminal de 8 pines para conectar el controlador.

A partir del momento en que se conectaron ambos dispositivos, el controlador de la abonadora tomo la información de la dosis a aplicar así como la señal de velocidad dados por el EZ-Guide 500. Una vez configurados ambos equipos aparecieron en la pantalla del EZ-Guide 500 nuevos iconos, símbolos e información indicando que la conexión con el controlador ha sido realizada con éxito como se observa en la figura 4.1.

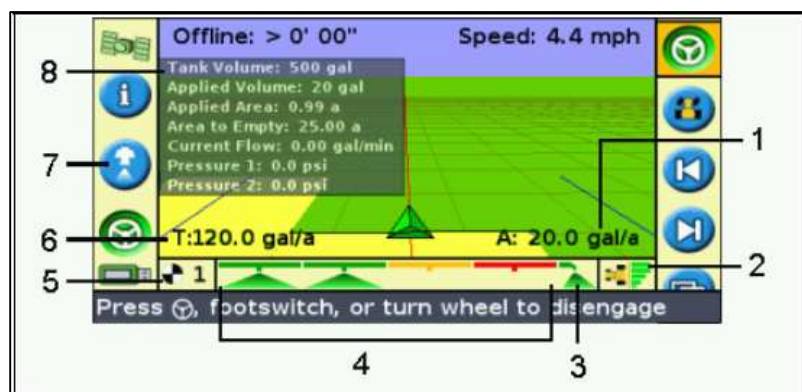


Figura 4.1. Visualización del EZ-Guide conectado a un controlador
Fuente: Guía de iniciación Sistema de Barra de Luces EZ-Guide 500

Para llevar a cabo la primera verificación del funcionamiento básico de manera visual del equipo sin incluir todavía el mapa de aplicación de dosis variable se realizaron una serie de pasos en los dos dispositivos entre ellos:

1. Quantron E

- ✓ Configurar el equipo en “**Auto km/h + Auto kg**”
- ✓ Ingresar los datos de ancho de trabajo, tipo de disco, punto de extracción entre otros.
- ✓ Presionar el botón de **Start / Stop** con lo cual el equipo queda listo para trabajar a la espera de la señal de velocidad.
- ✓ Verificar nuevamente que el formato de transmisión de datos entre el controlador y el GPS sea el LH 5000
- ✓ Configurar controlador de la abonadora para que la señal de velocidad sea recibida por impulsos de radar

2. EZ-Guide 500

- ✓ Verificar el formato para la transmisión de datos del control sea LH 5000
- ✓ Verificar la habilitación de la salida de impulsos de velocidad
- ✓ Abrir un lote
- ✓ Configurar el implemento
- ✓ Crear una línea AB
- ✓ Ingresar la dosis de aplicación deseada

Realizados los pasos anteriores el equipo se encuentra listo para trabajar, en la pantalla del Quantron E aparece el dato de velocidad en cero al igual que la dosis aplicar.

Cuando se puso en marcha el tractor, se comprobó cómo automáticamente en el controlador cambio el valor cero por el valor de la dosis programada en el EZ-Guide 500 y en valor de la velocidad en el controlador toma el mismo valor indicado en la pantalla del GPS.

Al mismo tiempo que sucede esto se observó cómo se abrieron las correderas de dosificación, y que conforme se aumentaba la velocidad de avance del tractor las correderas se abrían más y por el contrario cuando la velocidad disminuyó, estas se cerraban, con lo cual se corroboró la operación del equipo de manera proporcional a la velocidad de avance. En la pantalla del Quantron E también se apreció que según la configuración dada, el valor de la escala de la apertura de las correderas también aumentaba o disminuía.

En las pruebas se verificó que cuando se detenía el tractor por completo automáticamente todo volvía otra vez a cero y por consiguiente se cerraban las correderas, si el tractor comenzaba a avanzar otra vez se abrían las correderas y la información de dosis y velocidad se aprecia en pantalla nuevamente.

Dentro de las opciones que da el EZ-Guide 500 en la configuración del controlador existe la posibilidad de detener la aplicación que se está realizando si este se superpone por completo o un porcentaje previamente definido por la pasada anterior, esto también comprobó de manera adecuada.

Una vez comprobado el adecuado funcionamiento del equipo para aplicaciones convencionales, se procedió a hacer la verificación mediante una prueba del funcionamiento utilizando el mapa de dosis variable propuesto.

En la figura 4.2 se muestra el mapa de aplicación de dosis variable generado en el programa de computo Farm Works Office, en dicha figura se observan las dos zonas en que se dividió el levantamiento de las instalaciones de CRAISA, en la parte inferior derecha se observan las dosis respectivas que se asignaron a cada zona para las pruebas las cuales fueran 200 y 100 kg/ha.

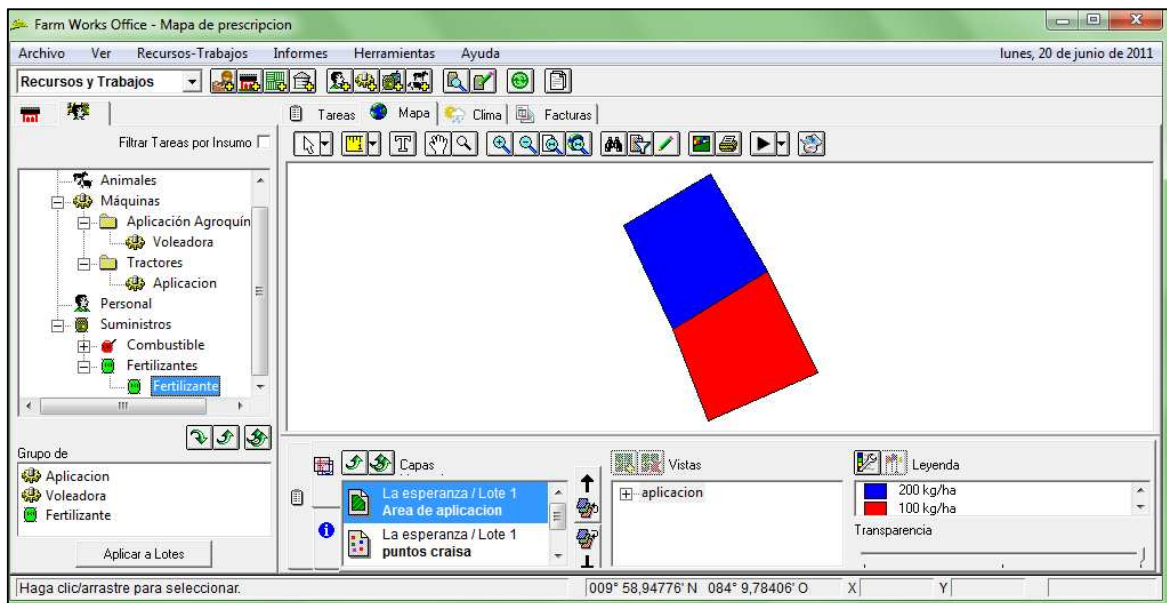


Figura 4.2. Prescripción dosis variable CRAISA
Fuente: Autor

Durante la verificación del funcionamiento del equipo según el mapa de aplicación de dosis variable, se utilizó el mismo procedimiento con la variante que a la hora de abrir el lote dentro de las opciones se encuentran las prescripciones, de las cuales se selecciona el mapa de prueba ingresado anteriormente para poner en operación la abonadora.

Sin embargo, se observaron cambios respecto a las pruebas del equipo en funcionamiento normal, entre ellos fue que en la pantalla del EZ-Guide se visualiza el mapa de prescripción donde se observa claramente mediante la diferencia de colores las dos zonas con diferente dosis de aplicación.

A la hora de abrir el lote según la ubicación del tractor en este, así es la dosis que se muestra en la pantalla el EZ-guide 500 y por consiguiente en el Quantron E conforme se avanza la operación se realiza de manera normal.

Una vez que en la pantalla del EZ-Guide 500 se observa como el tractor cruza el límite entre las 2 zonas con variante de color que indican las áreas con diferentes

dosis tanto en la pantalla del EZ-Guide 500 como en la del controlador la dosis cambia.

Para el caso de la práctica realizada este cambio de dosis se realizó de 100 kg/ha a 200 kg/ha o viceversa, simultáneamente y con colaboración del personal técnico de CRAISA se visualizó como efectivamente al cambiar la dosis en el controlador este varía automáticamente la apertura de las correderas, así también se volvió a verificar el funcionamiento de este cuando se daban cambios de velocidad, o se superaba el traslape permitido.

Una vez concluida de manera satisfactoria esta parte del proyecto, se procedió a realizar el traslado del equipo a las instalaciones de la Hacienda Pelón de la Bajura para realizar la validación bajo condiciones reales de operación.

4.2 Observación y análisis del proceso de fertilización en el sitio

En esta instancia del proyecto fue importante conocer las normas y procedimientos que utiliza la Hacienda Pelón de la Bajura para la aplicación de fertilizante con voleadora, dado que van a permitir la realización de las pruebas de la mejor forma sin afectar las operaciones reales de campo.

La fertilización diaria corresponde a una programación previa dada por el personal del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura en la cual se define el lote, el tipo de fertilizante y la dosis a aplicar.

En cuanto al tipo de fertilizante en su mayoría se usan de dos tipos, el 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S) y el 41-0-5-0-0,3(B) con tamaño promedio de partícula de 2,8 mm y 2,635 mm respectivamente.

El proceso de aplicación comienza todos los días en la mañana con la solicitud y revisión del fertilizante que sale en el tráiler de la bodega al campo. Una vez en el

campo los operadores realizan la revisión pre operacional de los tractores y las voleadoras.

Este transporte del fertilizante al campo se realiza en un tráiler equipado con una pluma hidráulica que permite levantar las sacas y descargarlas en las voleadoras de manera directa como se observa en la figura 4.3, este proceso se da cuando el tráiler puede ingresar en las caminos que dividen las secciones y los tractores se encuentran trabajando a ambos lados del camino o relativamente cerca.



Figura 4.3. Transporte y descarga de fertilizante
Fuente: Autor

En otros casos, donde no hay posibilidad de que el tráiler ingrese en ciertos caminos ya sea por el tamaño de este, las condiciones de suelo o en casos donde las distancias de trabajo entre los tractores es muy grande, se utiliza un tractor y un implemento con un brazo de levante hidráulico para trasladar el fertilizante hasta las voleadoras (figura 4.4).



Figura 4.4. Tractor para abastecimiento de fertilizante en el campo
Fuente: Autor

Con el equipo listo, el encargado de fertilización asigna las secciones y define la manera para trabajar los lotes dado que estos están divididos en secciones y estas a su vez están compuestas por terrazas.

La forma de desplazarse en los lotes durante la aplicación es de suma importancia para el Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura, dado que se busca realizarla con la menor cantidad de pases en el área sembrada con el fin de evitar las huellas en el suelo producidas por las llantas del tractor.

Para la ubicación en el campo y controlar la aplicación de fertilizante se cuenta con un plano impreso del lote (figura 4.5) en el cual se muestra el área en hectáreas correspondiente a cada terraza.

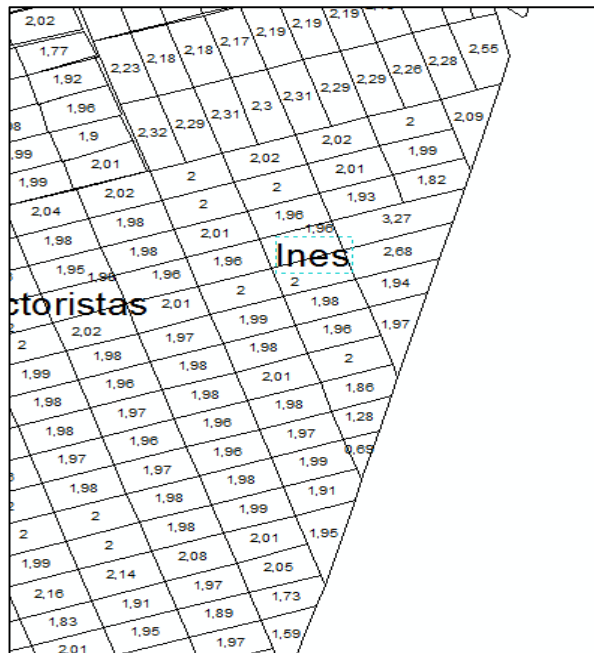


Figura 4.5. Ejemplo de plano impreso del lote
Fuente: Departamento Agrícola Pelón de la Bajura

Entre las características operativas fundamentales, se encuentra que el ancho de trabajo definido es de 20 metros y que este tiene gran importancia esto con el fin de evitar errores de traslape los cuales afectan la uniformidad del cultivo, razón por la cual son utilizadas las pantallas GPS EZ-Guide 250 como guía.

Los 20 metros de ancho de trabajo a un 100% de traslape fue definido según pruebas realizadas tiempo atrás por el Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura, de las cuales no se guardaron registros.

Al igual que con el ancho de trabajo y el traslape, la calibración de las voleadoras para la dosis a aplicar fue realizada tiempo atrás, en donde según la dosis requerida y la velocidad de trabajo se conoce la distancia en centímetros que deben de medir en el espacio libre de la rosca la cual ajusta la compuerta de descarga en la voleadora, como se observa señalado en la figura 4.6, con dicha

variación se aumenta o disminuye la dosificación de la voleadora dicho proceso se realiza de manera manual.



Figura 4.6. Ajuste de apertura de corredera voleadora convencional
Fuente: Autor

El ajuste de la corredera de dosificación se debe estar revisando constantemente, esto con el objetivo confirmar que se mantenga la apertura de las correderas de dosificación deseada, dado que por el mecanismo de esta, poco a poco comienza a cerrarse o en algunos casos se abre variando la dosis aplicada.

También se observó que se da una acumulación importante de fertilizante en la parte inferior de la voleadora (figura 4.7), principalmente cuando esta trabaja en condiciones de suelo con acumulaciones superficiales de agua o con muy alta humedad, dado que durante el avance del tractor se acumula el agua y barro por salpique en la parte inferior de la voleadora y por consiguiente el fertilizante se humedece y compacta en gran medida obstruyendo parcial o completamente la salida del fertilizante, situación que implica también una variación en la dosis aplicada.



Figura 4.7. Acumulación y obstrucción de fertilizante voleadora JAN
Fuente: Autor

Este tipo de problemas se presenta como una disminución o aumento considerable en el fertilizante esparcido por la voleadora, o cuando después de realizar la aplicación de una o más terrazas por experiencia del operador o del supervisor este nota que se está cubriendo más o menos terreno, de lo que debería aplicar con cada saca de fertilizante para la dosis definida en dichas áreas.

El procedimiento oficial utilizado en el campo para corroborar la tasa de aplicación, se realiza como lo dice la norma (ASABE S341.3) en el apartado 5.4.1 midiendo la cantidad de fertilizante esparcido durante la aplicación en un área conocida.

En este caso se conoce el peso estándar de las sacas de fertilizante el cual es de 405 kg y así como el área correspondiente de cada terraza gracias a los planos suministrados por el Departamento Agrícola, con lo cual se obtiene la dosis aplicada.

Por ejemplo al llenar la tolva de la voleadora con una saca de fertilizante (405 kg), se aplican dos terrazas de 1,5 ha cada una, por consiguiente se obtiene una dosis

de 135 kg/ha dicho valor se obtiene al dividir los 405 kg de fertilizante entre las 3 ha aplicadas.

Utilizando este valor como referencia se calibra la voleadora por ejemplo si la dosis deseada fuera de 150 kg/ha debería aumentarse la apertura de la tolva, por el contrario si la dosis deseada fuera de 100 kg/ha la apertura debería disminuirse, esto se verifica realizando el procedimiento anterior.

Otro punto importante que se observó en el campo durante las aplicaciones con voleadora radica en que según las condiciones del terreno en que se esté trabajando, la velocidad con que se realiza la aplicación de una pasada a otra en una misma terraza, o de terraza a terraza varia, por consiguiente la dosis también se ve afectada dado que la apertura de la voleadora es la misma aunque se modifique la velocidad.

En las zonas de difícil paso del tractor la velocidad se reduce. Sin embargo, la cantidad de fertilizante que sale se mantiene constante realizando así una sobre aplicación de este, contrario a esto se da una sub aplicación fertilizante cuando las condiciones del terreno permiten un desplazamiento más rápido del tractor o por descuido del operador la velocidad de avance es mayor.

Dicho comportamiento se observó claramente a medida que las condiciones del terreno se fueron complicando, conforme se inundaban los lotes, ejemplo de esto fue que se cambió el tipo de rodamiento de los tractores tanto para evitar el patinaje, así como para disminuir el tamaño de la huella. Se pasó de llantas de hule delgadas a llantas metálicas más delgadas como se las que se observan en la figura 4.8.



Figura 4.8. Rodaje metálico para condiciones de suelo húmedo
Fuente: Autor

Aun así se apreciaron gran cantidad de momentos en los que el tractor se encontraba trabajando con un alto porcentaje de patinaje descargando así la misma tasa de fertilizante que se debería aplicar si fuera con la velocidad adecuada según la calibración.

Además por las difíciles condiciones del terreno o descuidos por parte del operador la velocidad de avance normal y las revoluciones del motor se ven disminuidas durante la operación, al tener menores revoluciones por minuto en el motor, la velocidad de giro en la toma de fuerza disminuye de 540 rpm a 400 o 450 rpm, siendo las 540 rpm necesarias para tener una adecuada uniformidad en la distribución de fertilizante.

La comprobación de la adecuada calibración se realiza de manera regular previendo las situaciones antes mencionadas, por lo que al cierre de la aplicación del lote no deberían sobrar ni faltar cantidades importantes de fertilizante respecto a la que se tenía prevista, sin embargo puede que al final la aplicación no haya sido realizada de una manera uniforme.

Por ejemplo mientras se da la aplicación normal, después de realizar 5 o 6 terrazas al verificar la dosis se obtiene que en lugar de los 150 kg/ha definidos se aplicaron 110 kg/ha en promedio, quedando un remante de fertilizante que debió ser distribuido, luego se da la calibración para lo cual se requiere una o dos terrazas en donde teóricamente se deberían aplicar los 150 kg/ha, sin embargo la dosis es mayor porque al final del lote no existe ese sobrante de fertilizante respecto a lo que se tenía presupuestado. Esta situación se puede repetir varias veces en un mismo lote tanto en el caso de una sobre aplicación o sub-aplicación.

La calidad de la fertilización también podría verse afectada cuando a la hora de realizar las calibraciones iniciales y verificaciones posteriores no se trabaja en muchos casos con cantidades conocidas de fertilizante así como tampoco se conoce el dato preciso del área.

Esto se da porque pueden presentarse una serie de combinaciones de estos factores como por ejemplo si se inicia y termina la saca de fertilizante de 405 kg una vez que se ha aplicado una terraza y 5 pasadas en la otra terraza lo cual implica que se tiene que hacer una estimación aproximada del área cubierta por las 5 pasadas realizadas para tener el área total en la cual se aplicaron los 405 kg de fertilizante y a partir de estos valores se obtiene la dosis aplicada.

La situación antes mencionada también se podría presentar cuando se empieza la aplicación de una terraza sin haberse acabado por completo el fertilizante de la tolva antes de volverla a llenarla con la nueva saca, por lo que no se puede saber con claridad cuanto fertilizante se esparció.

Por otro lado, si la tolva se encuentra vacía y se llena con la saca completa de fertilizante se aplican 2 terrazas completas (área conocida), sin embargo al final queda un sobrante de fertilizante del cual se hace una estimación para obtener el dato de la masa esparcida y poder calcular la dosis a partir del área aplicada, dado que esta voleadora convencional no cuenta con los dispositivos de pesaje.

Por decisión del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura no se realiza la nivelación de la voleadora longitudinalmente simplemente se trabaja en la máxima altura posible. En condiciones de suelo muy húmedo el tractor se hunde considerablemente en la parte trasera lo que hace que la voleadora quede prácticamente nivelada longitudinalmente.

Durante este periodo de observación del proceso de abonado cabe destacar la habilidad de los operadores, los cuales conocen y manejan de buena manera el funcionamiento del EZ-Guide 250 equipo antecesor al EZ-Guide 500, lo cual permitió concentrarse al operador en las aplicaciones necesarias para trabajar en conjunto con el control de la voleadora.

4.3 Mediciones de Campo

De las cuatro pruebas planteadas inicialmente en el presente Proyecto para validar el funcionamiento del equipo utilizando los colectores, únicamente se pudieron realizar la prueba uno y dos, las cuales corresponden a la medición de la tasa y la uniformidad de aplicación en una pasada simple y en una pasada doble para una dosis fija de fertilizante, debido a que el cultivo en los terrenos se encontraba a una altura superior a los 40 cm y estos a su vez se encontraban totalmente inundados imposibilitando la colocación de los colectores.

Dichas pruebas se apegaron en la medida de lo posible a las directrices planteadas en la metodología. Entre las que pudieron tomar en cuenta fue que las pruebas se realizaron en terrenos con pendiente menor al 2% y la velocidad de trabajo ideal fue de 10 km/h.

El análisis granulométrico del fertilizante realizado por el fabricante, arrojó los siguientes resultados: el fertilizante 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S) tuvo un tamaño promedio de partícula de 2,8 mm y el 41-0-5-0-0,3(B) un promedio de 2,635 mm, ambos son mayores a la medida mínima de 2 mm (Anexo 3).

La uniformidad de la granulometría de los abonos utilizados se considera aceptable, dado que la suma de los porcentajes de las partículas de fertilizante que se encuentran por debajo de los 2 mm es de 13,18 y 14,32% para el abono 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S) y el 41-0-5-0-0,3(B) respectivamente como se observa en el gráfico 4.1, esta clasificación se infiere a partir de la información de los abonos en la nota teórica dado que estos valores se encuentran entre el 10 y 20% rango definido como aceptable.

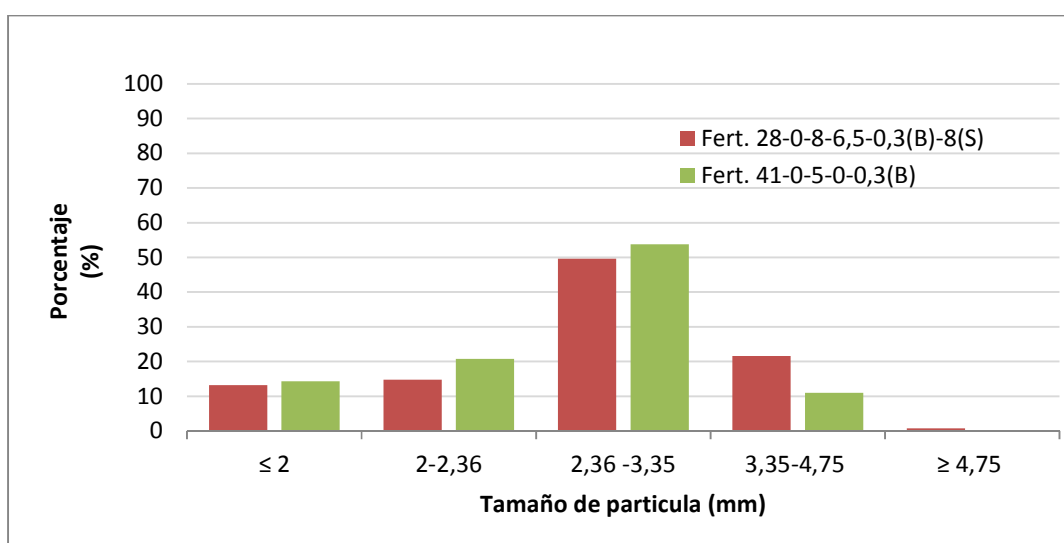


Gráfico 4.1. Distribución granulométrica de los abonos utilizados en las pruebas
Fuente: Abopac, 2011

Antes de realizar las mediciones utilizando los colectores se realizó la calibración de la abonadora (tasa aplicada de fertilizante), siguiendo el procedimiento utilizado en la finca, así como la verificación de la anchura de distribución.

Cuando se descargó la saca de fertilizante se comprobó el funcionamiento de la balanza dado que estas indicaron la cantidad de 407 kg en donde el proveedor certifica que estas contienen la cantidad de 405 kg de fertilizante. Posteriormente fue requerida la carga de la abonadora con más sacas de fertilizante observando que el peso de estas estaba en el rango de los 403 y 407 kg.

Para completar dicha información se realizó el pesaje de varios patrones de masa certificados, los documentos de certificación se encuentran en el anexo 4. Se utilizaron 5 patrones de 20 kg cada uno para un peso total de 100 kg colocados en la voleadora (figura 4.9), de 10 mediciones realizadas solo 3 no fueron los 100 kg exactos, dichos patrones se muestran en la imagen 4.9.



Figura 4.9. Patrones de prueba y pesaje
Fuente: Autor

Las primeras mediciones de la tasa de aplicación de fertilizante utilizando el procedimiento convencional se realizaron a un ancho entre pasada y pasada de 20 metros, configurado en el EZ-Guide 500 y el cual se verificó midiendo con la cinta métrica entre las pasadas contiguas realizadas por el tractor.

Durante la aplicación de estas terrazas se verificó que el ancho total de distribución del abono era superior a los 40 metros, dado que a una distancia lateral de 20 metros del centro del tractor y la voleadora se comprobó de manera física el impacto de los gránulos de fertilizante esparcidos por la voleadora, conforme se encontraba más cerca de la voleadora, la visualización y los impactos de los gránulos eran en mayor cantidad y más fuertes.

Al notar este comportamiento se verificó también que se estaba cumpliendo con el 100% de traslape solicitado por el Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura dado que la distancia entre pasada y pasada es de 20 metros, esto se corroboró posteriormente a través del patrón de distribución transversal, el cual se obtuvo a partir de las pruebas planteadas utilizando los colectores.

Simultáneamente a la determinación del ancho de distribución se realizó la evaluación convencional avalada en el apartado 5.4.1 de la norma ASABE S341.3, en donde se obtuvo una dosis cercana a los 200 kg/ha. Dichas mediciones se realizaron por varias terrazas de manera consecutiva obteniendo resultados muy similares en la tasa de aplicación.

Una vez que se comprobaron con éxito tanto el ancho de trabajo como la dosis aplicada utilizando los métodos más prácticos se realizó la primera prueba con los colectores.

Durante los días que se utilizó el equipo del proyecto en el proceso de fertilización se notaron diferencias importantes respecto a la aplicación con la abonadora convencional entre los aspectos a destacar se tienen:

- a) Regulación automática de la tasa aplicada, según la velocidad de avance: Esto fue importante dado que en muchos tramos de la aplicación se observó cómo por las condiciones del terreno o decisión del operador la velocidad variaba. En algunos casos disminuía hasta casi detenerse cuando se daba el patinaje, el cual es muy frecuente por las condiciones difíciles de muchos los lotes. Cuando esto ocurrió automáticamente se cerraban los dosificadores contrario a la abonadora convencional en la que la apertura era la misma y se daba un sobre aplicación importante hasta que el operador mecánicamente realizara el cierre lo cual muchas veces no se dio dado que este se concentraba más en maniobrar para no permitir que el tractor estancara en el terreno.

Durante la operación, cuando se daban estas variaciones de velocidad, se verificó en la pantalla del controlador de la abonadora como el valor que indica la apertura de las correderas de dosificación constantemente aumenta o disminuye según la necesidad, esto con el fin de mantener la tasa de aplicación lo más uniforme posible.

b) El cierre y apertura de la voleadora según su posición en el campo:

Se logró corroborar en los momentos en que se acabó el fertilizante dado que a la hora de salir e ingresar al punto donde se había terminado el abono, por fallo del operador este abría o cerraba antes la voleadora dejando así zonas sin aplicar o por el contrario sobre aplicadas, esto sucedía con la abonadora convencional mientras que con la evaluada en el proyecto automáticamente se cerraba o abría librando así al operador de esta responsabilidad.

Lo mismo sucedió cuando era necesario abandonar una terraza o sección para ingresar a otra, muchas veces se pasaba por zonas ya aplicadas por lo que automáticamente la abonadora se cerraba. Además de la situaciones antes mencionadas con presionar un botón en el controlador se puede cerrar la corredera de dosificación individualmente de cada tolva, lo cual permite en casos cuando no se quiera realizar aplicaciones en los bordes de las terrazas que den hacia caminos u otras zonas, se cierre únicamente la tolva que sea necesaria contrario a la abonadora convencional en la que se da la apertura y cierre de ambos dosificadores de manera simultánea mediante un accionamiento hidráulico.

c) Facilidad y precisión en la calibración:

Cuando se realizó la calibración utilizando el método convencional con la voleadora del proyecto se programa la dosis de manera sencilla en el EZ-Guide 500. Para la verificación se contó con la información en pantalla de

los kilogramos restantes en la tolva constantemente teniendo así mayor precisión de cuanto fertilizante se esparció en cierta área, sino se contara con los planos del lote esta se puede determinar según la información generada en la barra de luces. En caso de que la dosis calculada no fuera la programada, en el Quantron E con presionar un botón simplemente se abre o cierran las correderas de dosificación el porcentaje necesario para calcular la dosis exacta. En la abonadora del proyecto la apertura de las correderas se realiza por medio de actuadores electrónicos, los cuales no se desajustan durante la operación en el campo como en el caso de la voleadora convencional debido al mecanismo de ajuste con que cuenta como se observó en la figura 4.6.

d) Limpieza en las salidas del fertilizante:

Durante la aplicación en lotes inundados o muy húmedos no se acumuló fertilizante en la salida de la abonadora evaluada en el proyecto esto porque constante se está abriendo y cerrando las correderas de dosificación según la velocidad de avance, contrario a la voleadora convencional en la cual se obstruía parcial o totalmente la salida de este en repetidas ocasiones debido a que la apertura de las tolvas se mantiene constante permitiendo así que se dé una acumulación importante de fertilizante, agua y barro.

4.3.1 Tasa de aplicación

En las figuras 4.10 y 4.11, se muestra la forma en como se colocaron los colectores en el campo y la manera en que los atraviesa el tractor a través de estos.

En dichas figuras se aprecia que la separación entre los colectores es mayor a lo realizado por otros autores, así como que algunos de estos se encuentran

inclinados lo que podría afectar las mediciones al igual que las irregularidades importantes que se observan en el terreno. La inclinación de los colectores en el campo se dio en cierto grado por condiciones propias de la operación de los equipos de fertilización, así como por condiciones desfavorables del terreno y clima de la zona de estudio. Estos inconvenientes se trataron de minimizar en la medida de lo posible, sin embargo tuvieron un impacto en los resultados del proyecto.



Figura 4.10. Colocación de los colectores en las pruebas de campo
Fuente: Autor



Figura 4.11. Prueba de campo tipo pasada simple
Fuente: Autor

Las primeras mediciones utilizando los colectores se realizaron en el lote Algodones 2 (ver figura A.79, Anexo 6) el 25 de agosto del 2011, en dichas mediciones la dosis programada en el equipo fue de 200 kg/ha del fertilizante fórmula 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S), esta prueba se realizó durante la aplicación de pasada doble, la cantidad de abono recolectado por cada colector se muestra en el cuadro A.1 del Anexo 2.

En el cuadro 4.1 se muestran las tasas de aplicación en kilogramos por hectárea obtenidas a partir de la cantidad de fertilizante recolectada en cada colector, como se observa, en dicha prueba se realizaron 2 mediciones de 3 repeticiones cada una.

En estos datos se observan variaciones importantes en la tasa de aplicación, tal es el caso de los colectores 3.2.2 y 3.2.3 en los cuales se obtuvieron 0 kg/ha y 38,09 kg/ha de fertilizante respectivamente, estos se valores encontraron muy por

debajo de la tasa de aplicación media que fue de 153,34 kg/ha y de la dosis teórica definida en 200 kg/ha.

Cuadro 4.1. Tasa de aplicación pasada doble, dosis teórica 200 kg/ha

		Medición 1			Medición 2		
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
No. de colector	Distancia (m)	Dosis (kg/ha)					
1	-10	165,07	159,63	143,31	145,12	141,49	143,31
2	-8	168,70	157,82	166,89	141,49	146,93	139,68
3	-6	159,63	166,89	159,63	168,70	0,00	38,09
4	-4	88,89	168,70	175,96	32,65	146,93	168,70
5	-2	174,14	188,66	150,56	161,45	175,96	172,33
6	0	170,52	181,40	192,28	170,52	168,70	175,96
7	2	179,59	165,07	174,14	234,01	179,59	179,59
8	4	174,14	194,10	166,89	190,47	159,63	145,12
9	6	161,45	36,28	188,66	110,65	139,68	197,73
10	8	192,28	146,93	83,44	150,56	161,45	143,31
11	10	154,19	145,12	150,56	161,45	136,05	141,49

Fuente: Autor

Como se muestra en el cuadro anterior ningún valor está por encima de los 200 kg/ha, ni se aproximan a este valor. Sin embargo, según la calibración utilizando el método convencional, la tasa de aplicación se encontró muy próxima a dicha dosis en algunos casos más bien la superaba.

A partir de un análisis estadístico utilizando intervalos de confianza para las tasas de aplicación obtenidas, se puede decir que de las 11 mediciones promedio solo la correspondiente a la línea de colectores 7 se considerada aceptable dado que el valor teórico de 200 kg/ha se encuentra dentro del intervalo de confianza el cual va de los 162,66 hg/ha a los 208 kg/ha como se observa en el cuadro 4.2, dicho análisis corresponde a los datos ordenados de manera longitudinal o en la dirección de avance.

Cuadro 4.2. Tasa de aplicación, análisis longitudinal prueba pasada doble 200 kg/ha

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	-10	149,66	140,36	158,95
2	-8	153,59	141,83	165,34
3	-6	115,49	45,42	185,56
4	-4	130,31	77,08	183,53
5	-2	170,52	158,42	182,61
6	0	176,56	168,23	184,90
7	2	185,33	162,66	208,00
8	4	171,73	154,50	188,96
9	6	139,07	83,93	194,21
10	8	146,33	113,44	179,22
11	10	148,14	139,68	156,61

Fuente: Autor

Este mismo análisis se realizó para los datos de manera transversal o perpendicular al avance del tractor, los resultados obtenidos se muestran el cuadro 4.3. En este caso para ninguna de las líneas transversales el resultado fue aceptable dado que dentro de los intervalos de confianza no está incluido el valor teórico de 200 kg/ha correspondiente a esta aplicación.

Cuadro 4.3. Tasa de aplicación, análisis transversal prueba pasada doble 200 kg/ha

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	157,08	139,54	174,61
2	148,50	128,35	168,65
3	154,44	138,62	170,26

Fuente: Autor

La segunda prueba se llevó a cabo el día 30 de agosto del 2011 en el lote Inés (ver figura A.79, Anexo 6) con abono 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S) en una dosis fija de

150 kg/ha donde el tipo de prueba realizada fue la aplicación en pasada simple, obteniendo las tasas de aplicación mostradas en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Tasa de aplicación pasada simple, dosis teórica 150 kg/ha

		Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2
No. de colector	Distancia (m)	Dosis (kg/ha)							
1	-20	0,00	0,00	0,00	32,65	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	-16	29,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-14	0,00	36,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	-12	41,72	34,47	39,91	34,47	39,91	59,86	70,75	81,63
6	-10	68,93	79,82	58,05	103,40	52,61	68,93	70,75	58,05
7	-8	45,35	96,14	38,09	63,49	108,84	48,98	76,19	99,77
8	-6	103,40	94,33	107,03	87,07	78,00	105,21	116,10	108,84
9	-4	68,93	110,65	101,58	97,96	97,96	92,51	34,47	112,47
10	-2	110,65	103,40	47,16	105,21	101,58	68,93	116,10	83,44
11	0	0,00	108,84	110,65	61,68	105,21	108,84	117,91	110,65
12	2	114,28	105,21	103,40	101,58	85,26	112,47	101,58	117,91
13	4	108,84	48,98	107,03	103,40	108,84	38,09	114,28	0,00
14	6	97,96	114,28	99,77	112,47	103,40	110,65	116,10	90,70
15	8	99,77	107,03	78,00	34,47	107,03	45,35	56,23	88,89
16	10	79,82	68,93	34,47	61,68	78,00	68,93	76,19	101,58
17	12	48,98	47,16	38,09	39,91	47,16	81,63	41,72	50,79
18	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	16	0,00	0,00	36,28	0,00	21,77	0,00	34,47	0,00
20	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Autor

Como se observa en el cuadro anterior se logró realizar las 4 mediciones con 2 repeticiones cada una propuestas en la metodología.

En gran cantidad de colectores se obtuvieron dosis de 0 kg/ha, este comportamiento era de esperarse en unos cuantos colectores, no así en el gran

número que se observa en el cuadro 4.4, esto porque la prueba correspondió a una tipo pasada simple en la cual no hay traslape en la aplicación, disminuyendo así la posibilidad de recolectar fertilizante principalmente en los extremos de la dispersión.

Contrario a no lograr recolectar nada de fertilizante en los colectores las dosis deberían ser mucho menores a las de la parte central como se notó en los patrones de distribución mostrados en la figura 2.4 de la nota teórica, cabe destacar que durante la operación del equipo, se comprobó físicamente por el impacto de los gránulos de fertilizante, que aún mas allá de los 20 metros medidos a ambos lados de la línea de avance del tractor en la aplicación se dispersaba fertilizante.

En algunos puntos se logró determinar tasas de aplicación muy pequeñas tal es el caso del colector 1.2.2 y el colector 19.2.1 con valores de 32,65 kg/ha y 21,77 kg/ha respectivamente.

La complejidad de medir el fertilizante recogido fue importante, dado que como se observa en el cuadro A.2 (Anexo 2) se logró pesar del colector 19.3.1, únicamente 0,12 g de abono con lo que se obtuvo la dosis de 21,77 kg/ha en al caso de las dosis con valores de 30 kg/ha a 40 kg/ha únicamente se pesaron de 0,18 g a 0,22 g de fertilizante.

En varios artículos observados sobre mediciones de campo de la dosis y la uniformidad de distribución, los autores mencionan que para mediciones utilizando los colectores en pruebas de tipo pasada simple con dosis inferiores a los 400 kg/ha, se deben de realizar varios pases en la misma dirección, hasta obtener la una cantidad de fertilizante suficiente en los colectores que facilite las mediciones.

Al tener tantos valores en 0 kg/ha o muy bajos en los extremos, la tasa de aplicación promedio se ve muy afectada siendo esta de 51,26 kg/ha con un

porcentaje de diferencia del 65,9% respecto la dosis teórica de 150 kg/ha, debido a este comportamiento se puso en evidencia la importancia tanto para lograr una adecuada tasa de aplicación como una aceptable uniformidad en la distribución el traslape en las aplicaciones, refirmando lo que se menciona en la nota teórica respecto a las abonadoras centrifugas de doble disco operando en distancias superiores a los 10 metros.

En el gráfico 4.2 se observan los resultados obtenidos al realizar el traslape teórico del 100% con los valores promedios de la medición 1 y 2, para simular el traslape se suman los valores de la parte derecha de ambas mediciones, dado que estas serían las que se superponen cuando se realice la aplicación una vez que se ha dado el pase de ida y el de vuelta.

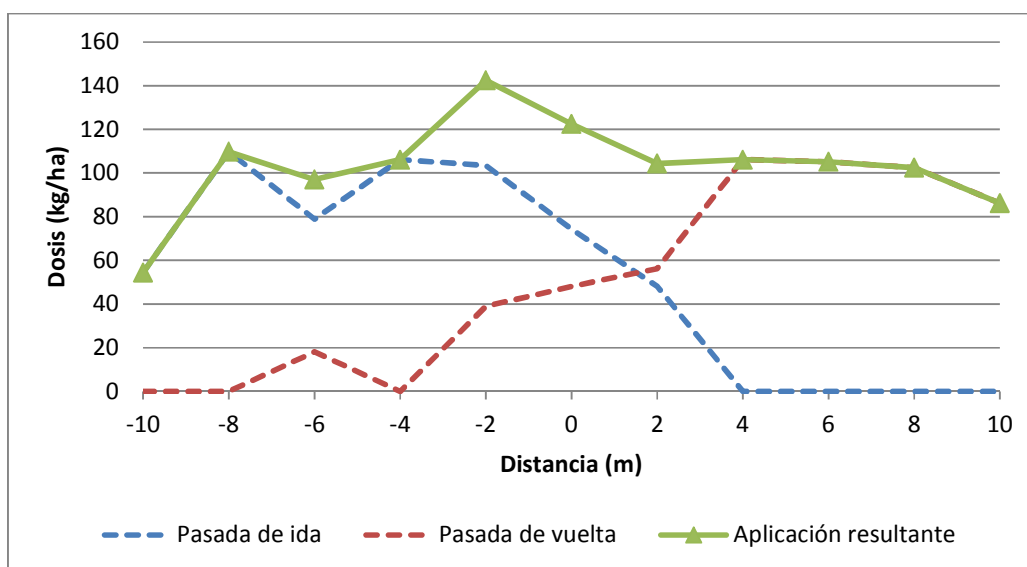


Gráfico 4.2. Superposición teórica promedio pasadas 1 y 2

Fuente: Autor

El valor promedio generado de la superponían teórica fue de 103,32 kg/ha, el porcentaje de diferencia respecto a la dosis teórica fue de 31%, valor muy por debajo del 65.9 % obtenido de aplicación realizada en un único pase, confirmando la necesidad de realizar un traslape en las aplicaciones

El comportamiento de las tasas de aplicación observado en la figura 4.2 fue muy similar al que se observó en los resultados de las pruebas tipo pasada doble, tanto para la aplicación de los 200 kg/ha como los 150 kg/ha (gráfico 4.4 y 4.5), en el gráfico 4.2 se aprecia una tendencia a que en la parte central entre las pasadas las tasas de aplicación son las más altas.

Para corroborar este comportamiento, se realizó el traslape teórico del 100% con los valores promedios obtenidos de las mediciones 2 y 3 en la prueba tipo pasada simple, en este caso se sumaron los valores del lado izquierdo de ambas mediciones con el fin de simular el traslape como si el tractor estuviera trabajado de izquierda a derecha en el campo. En el gráfico 4.3 se logra apreciar como nuevamente en la parte central entre las dos pasadas se obtienen las tasas más altas y cercanas a los 150 kg/ha teóricos que se debieron recolectar.

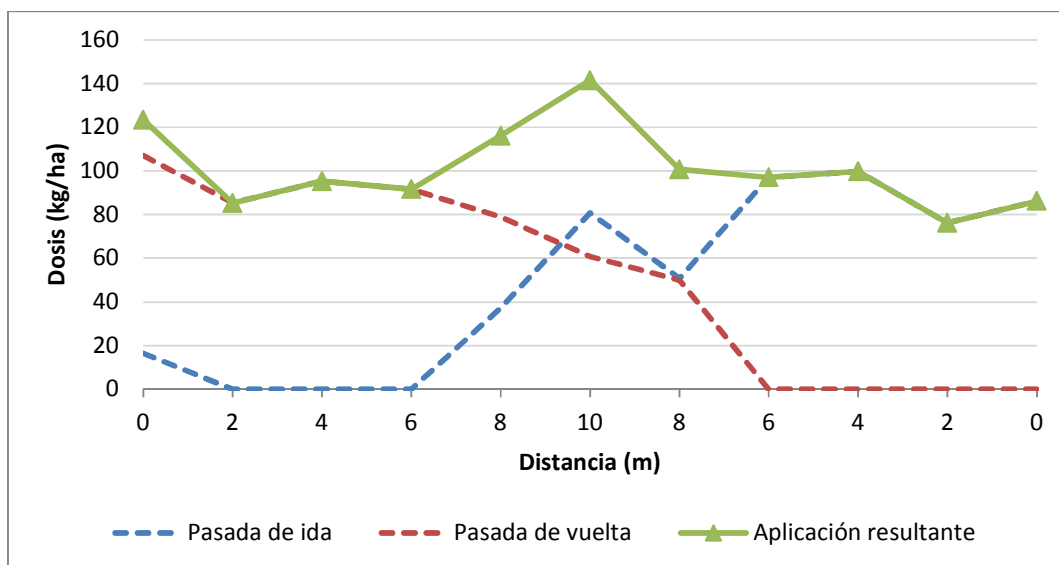


Gráfico 4.3. Superposición teórica promedio pasadas 2 y 3
Fuente: Autor

Para esta pruebas de pasada simple se llevó a cabo el análisis estadístico con los intervalos de confianza únicamente para los colectores ubicados del centro del

recorrido hasta los 12 metros a ambos lados de este, dado que a partir de esa distancia no se lograron obtener tasas de aplicación.

Cuadro 4.5. Tasa de aplicación, análisis longitudinal pasada simple 150 kg/ha

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
5	-12	17,68	35,24	65,43
6	-10	22,47	56,65	83,48
7	-8	24,52	49,34	94,87
8	-6	29,76	89,48	110,52
9	-4	28,97	67,85	111,29
10	-2	29,43	72,23	111,90
11	0	31,28	56,63	124,32
12	2	31,26	96,71	113,71
13	4	28,97	42,35	115,02
14	6	31,48	98,07	113,26
15	8	26,93	53,23	100,96
16	10	24,38	55,34	87,06
17	12	18,41	37,92	60,95

Fuente: Autor

Del cuadro 4.5 se observa que los intervalos que alcanzaron el mayor límite superior fueron los que se encontraron en el centro de la aplicación no más allá de los 8 metros, sin embargo no lograron incluir el valor teórico de los 150 kg/ha para poder decir que la tasa de aplicación fue aceptable.

Efectuado el análisis de los datos de manera transversal se obtuvo nuevamente que el valor teórico de la aplicación se encontraba fuera de los intervalos de confianza, en donde los límites superiores se encontraron aún más lejos de los 150 kg/ha deseados.

Este resultado era de esperarse dado que se tomaron en cuenta las tasas de aplicación del centro hasta los 12 metros a ambos lados como se observó en el cuadro 4.4, conforme se encontraban los colectores más lejos del centro la

cantidad de fertilizante fue considerablemente menor, lo cual corresponde a un comportamiento normal de este tipo de abonadoras, los promedios de tasa de aplicación así como los intervalos de confianza se muestran el cuadro 4.6, dichos valores se encuentran muy por debajo la dosis programada.

Cuadro 4.6. Tasa de aplicación, análisis transversal pasada simple 150 kg/ha

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	80,27	71,89	88,65
2	81,56	73,65	89,47

Fuente: Autor

Al igual que en la prueba de la aplicación de pasada doble de 200 kg/ha se utilizó el procedimiento de calibración convencional del equipo antes de realizar las mediciones utilizando los colectores, en dichas pruebas de calibración la tasa de aplicación fue muy precisa alrededor de la dosis teórica programada en el equipo de 150 kg/ha.

Según la metodología planteada de cada prueba se deben realizar al menos 4 mediciones de cada una, debido a esto el mismo 30 de agosto y 7 de setiembre se realizaron 2 mediciones cada día para pasadas dobles con la dosis programada de 150 kg/ha, utilizando el abono 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S) .

Las tasas de aplicación calculadas se muestran en los cuadros 4.7 y 4.10, para cada medición se tuvieron 3 repeticiones, lo cual aumento el número de datos para realizar el análisis estadístico.

Cuadro 4.7. Tasa de aplicación pasada doble, dosis teórica 150 kg/ha prueba 1

		Medición 1			Medición 2		
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
No. de colector	Distancia (m)	Dosis kg/ha					
1	-10	97,96	94,33	92,51	103,40	96,14	94,33
2	-8	105,21	96,14	110,65	117,91	101,58	108,84
3	-6	41,72	110,65	96,14	107,03	97,96	88,89
4	-4	110,65	103,40	112,47	119,72	112,47	110,65
5	-2	119,72	123,35	116,10	130,61	117,91	121,54
6	0	123,35	125,17	88,89	123,35	116,10	125,17
7	2	87,07	121,54	123,35	121,54	126,98	126,98
8	4	110,65	103,40	112,47	39,91	61,68	116,10
9	6	116,10	110,65	99,77	119,72	116,10	108,84
10	8	110,65	107,03	108,84	126,98	130,61	121,54
11	10	103,40	99,77	101,58	99,77	116,10	110,65

Fuente: Autor

De los datos mostrados en el cuadro 4.7 se obtuvo una tasa de aplicación promedio de 107,91 kg/ha, por consiguiente una diferencia de 28,06% respecto a la dosis programada de 150 kg/ha, dicho porcentaje fue mayor al obtenido en la medición de la pasada doble de 200 kg/ha (23,33%).sin embargo este fue mucho menor al obtenido en las pruebas de tipo pasada simple (65,9%) como era de esperarse en este tipo de voleadora.

Se nota también como en la parte central las tasas de aplicación son más altas, pero como en las demás mediciones realizadas, estos valores se encuentran por debajo de la dosis programada.

Con el análisis estadístico según los intervalos de confianza para los datos ordenados de manera longitudinal se confirmó dicha observación dado que de las 11 filas de colectores, ninguno de ellos incluyo la dosis programada de 150 kg/ha, los limites superiores más cercanos a dicho valor fueron el que se ubicó en la

parte central de las pasadas y los siguientes colectores colocados a ambos lados con valores de 131,88 kg/ha, 133,97 kg/ha y 126,92 kg/ha respectivamente, como se observa en el cuadro 4.8.

Cuadro 4.8. Tasa de aplicación, análisis longitudinal pasada doble 150 kg/ha prueba 1

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	-10	33,58	92,38	100,51
2	-8	37,50	98,79	114,66
3	-6	32,56	64,06	116,73
4	-4	40,12	106,08	117,05
5	-2	43,94	116,15	126,92
6	0	42,93	102,12	131,88
7	2	43,07	101,85	133,97
8	4	33,83	57,18	124,22
9	6	40,72	104,38	119,35
10	8	42,46	107,01	128,20
11	10	38,17	98,19	112,23

Fuente: Autor

En el cuadro 4.9 se observa como en ninguno de los intervalos de confianza analizando los datos de manera transversal supera el valor de la dosis teórica, el valor máximo alcanzado fue de 116,68 kg/ha correspondiente a la primera línea de recolección.

Cuadro 4.9. Tasa de aplicación, análisis transversal pasada doble 150 kg/ha prueba 1

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	106,20	95,72	116,68
2	108,59	101,91	115,28
3	108,92	103,77	114,08

Fuente: Autor

De las mediciones llevadas a cabo el 7 de setiembre en el lote Algodones 2 (ver figura A79, Anexo 6) no se llegó a resultados con diferencias importantes respecto a las pruebas anteriores dado que fue la misma dosis programada de 150 kg/ha y en pasada doble, los resultados muestran en el cuadro 4.10.

El porcentaje de diferencia en esta prueba fue de 29,71% calculado a partir de una tasa de aplicación media de 105,43 kg/ha, dicho valor se aproxima al 28,06% obtenido de la prueba anterior.

Cuadro 4.10. Tasa de aplicación pasada doble, dosis teórica 150 kg/ha prueba 2

		Medición 1			Medición 2		
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
No. de colector	Distancia (m)	Dosis kg/ha					
1	-10	0,00	87,07	79,82	99,77	90,70	105,21
2	-8	78,00	99,77	110,65	94,33	81,63	114,28
3	-6	112,47	68,93	0,00	128,79	123,35	117,91
4	-4	99,77	125,17	116,10	137,86	126,98	117,91
5	-2	112,47	119,72	121,54	123,35	47,16	81,63
6	0	121,54	121,54	117,91	136,05	137,86	123,35
7	2	112,47	92,51	125,17	146,93	130,61	128,79
8	4	117,91	117,91	108,84	56,23	126,98	112,47
9	6	88,89	112,47	119,72	99,77	116,10	116,10
10	8	85,26	99,77	110,65	92,51	125,17	121,54
11	10	112,47	110,65	92,51	88,89	117,91	90,70

Fuente: Autor

Los intervalos de confianza obtenidos dejaron por fuera la tasa de aplicación programada, esto tanto en el análisis longitudinal como transversal de los datos, dicha información se muestra el cuadro 4.11 y 4.12 respectivamente.

Comparando los intervalos de confianza del cuadro 4.8 con el 4.11 se observa como los intervalos en la parte central de este último se aproximan más a la dosis programada, además de esto la franja central con valores más altos es mayor

dato que desde la líneas 3 a la 8 superaron los 130 kg/ha contrario a los del cuadro 4.8 de los cuales solo los obtenidos de las líneas 6 y 7 superan dicho valor.

Cuadro 4.11. Tasa de aplicación, análisis transversal pasada doble 150 kg/ha prueba 2

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	-10	77,10	36,34	117,85
2	-8	96,44	80,91	111,98
3	-6	91,91	39,60	144,22
4	-4	120,63	107,18	134,08
5	-2	100,98	68,88	133,08
6	0	126,38	117,56	135,20
7	2	122,75	103,35	142,15
8	4	106,72	79,98	133,47
9	6	108,84	96,27	121,41
10	8	105,82	89,02	122,62
11	10	102,19	88,69	115,69

Fuente: Autor

Cuadro 4.12. Tasa de aplicación, análisis longitudinal pasada doble 150 kg/ha prueba 2

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Límite inferior I1 (kg/ha)	Límite superior I2 (kg/ha)
1	102,08	88,20	115,96
2	108,18	98,22	118,14
3	106,04	93,96	118,11

Fuente: Autor

La constante como se observó en los cuadros 4.1, 4.4, 4.7 y 4.10 es que no se lograran obtener tasas de aplicación más cercanas a las dosis programadas, de todas las pruebas se obtuvo como mínimo 23,33% de diferencia lo cual se puede atribuir a distintos factores. Sin embargo, en todos los casos las dosis calculadas utilizando el método convencional dieron valores muy cercanos a la teórica.

El principal factor a tomar en cuenta para justificar este comportamiento es la eficiencia de los colectores utilizados esto porque la forma y dimensiones varían considerablemente a las recomendadas en la norma utilizada como base y demás artículos consultados.

Por ejemplo, en la ASAE S341.3 recomiendan colectores rectangulares o cuadrados de al menos 30cm x 30cm, en las pruebas realizadas por Gil et al, 2008, los colectores utilizados fueron de 50cm x 50cm. En ambos colectores el espesor es menor a los 2,3 mm además en el fondo están cubiertos por una superficie cuadrículada, estos dos aspectos evitan el rebote de gránulos de fertilizante hacia afuera de los colectores asegurando así que la recolección es más eficiente, en la figura 4.12 se muestran un colector más adecuado para realizar las pruebas.



Figura 4.12. Colectores ideales para las pruebas
Fuente: Vida Rural, 2008

Los colectores utilizados en las pruebas fueron de apertura y base circular, con un área de entrada de $0,055 \text{ m}^2$ siendo menor a los $0,09 \text{ m}^2$ recomendados como mínimo por la norma, además de esto, son ligeramente cónicos y tienen un grosor de borde de 1,5 cm lo cual aumenta considerablemente la posibilidad de que gran cantidad de gránulos reboten y salgan fuera de los colectores. El que los

colectores tuvieran el área de entrada y fondo circular podría haber afectado considerablemente, esto porque en comparación con los rectangulares o cuadrados no tienen esquinas por lo que el posible fertilizante que podría caer en estas zonas no fue cuantificado.

En todas las pruebas se identificaron datos con 0 kg/ha o valores muy pequeños en el rango de los 20 a 40 kg/ha. Dichos valores se encontraban por debajo de las tasa de aplicación media, razón por la cual se puede atribuir a un error en particular con los colectores como pudo haber sido que estos se inclinaran lo que dificulto el ingreso del abono, o en caso de que ingresaran los gránulos de fertilizante por la misma inclinación estos se salieran del colector, esta situación se pudo presentar por el efecto del viento.

El otro factor, aunque se trató de limitar al máximo fue el error humano que se pudo haber dado cuando se pasó el fertilizante de los colectores al recipiente en la balanza a través del embudo, permitiendo que el fertilizante se escapara por los extremos del colector, que algunos gránulos se quedaran adheridos al colector o embudo por lo que no se pesó el total abono recolectado.

Sumado a los problemas descritos con anterioridad y debido a la irregularidad del terreno y la velocidad de avance, se observó que dependiendo de los movimientos producidos en el tractor se daba una variación importante en la medición de la masa fertilizante restante en la tolva, los cuales o aumentaban o disminuían considerablemente y el equipo al estar trabajando en la modalidad "Auto km/h + Auto kg" la voleadora automáticamente se ajusta según la dosis programada a partir de la información de velocidad y de los kilogramos de fertilizante restantes en las tolvas.

Si el valor de los kilogramos de fertilizante en las tolvas no es estable se pueden inducir errores en la calibración, de ahí la necesidad de en algunos casos de

aumentar o disminuir el porcentaje en la apertura de las correderas de dosificación para llegar a la dosis deseada a partir de los chequeos durante la aplicación.

Esta necesidad de modificar la apertura de las correderas también se presentó cuando se utiliza otro tipo de fertilizante dado que las características de este variaban, ejemplo: En un par de ocasiones se tenía una dosis programada de 150 kg/ha al realizar el chequeo se calculó una tasa de aplicación de 130 kg/ha por lo que en el controlador de manera sencilla se aumentaba en un 15% la apertura de las correderas y al volver a corroborar la dosis, era muy similar a los 150 kg/ha.

Los aspectos antes mencionados son muy significativos dado que se está trabajando con cantidades muy reducidas de abono, y pese a que el tamaño promedio de partícula y uniformidad se considera aceptable, sus valores no son los más adecuados para realizar este tipo de pruebas, dado que a mayor uniformidad y tamaño promedio de partícula de fertilizante se eliminan más factores que pueden inducir a errores en las mediciones.

4.3.2 Diagramas y uniformidad de distribución

En esta sección de los resultados, el objetivo es determinar el diagrama de distribución de la voleadora y el coeficiente de variación de las aplicaciones para obtener la uniformidad de distribución longitudinal y transversal de la aplicación, el cual es un parámetro de suma importancia al igual que la tasa de aplicación, posterior al cálculo de las tasas de aplicación se graficaron los valores promedio dando origen a los diagramas de distribución

En el gráfico 4.4 se observa el diagrama de las mediciones realizadas en la aplicación tipo pasada doble para la dosis teórica de 200 kg/ha. En dicho grafico se nota como a los 6 metros de izquierda a derecha en la medición 2 se tuvo la mayor variación, la cual es atípica al resto de los puntos de medición, dicho valor

se puede haber presentado por alguna de las situaciones descritas en la sección anterior.

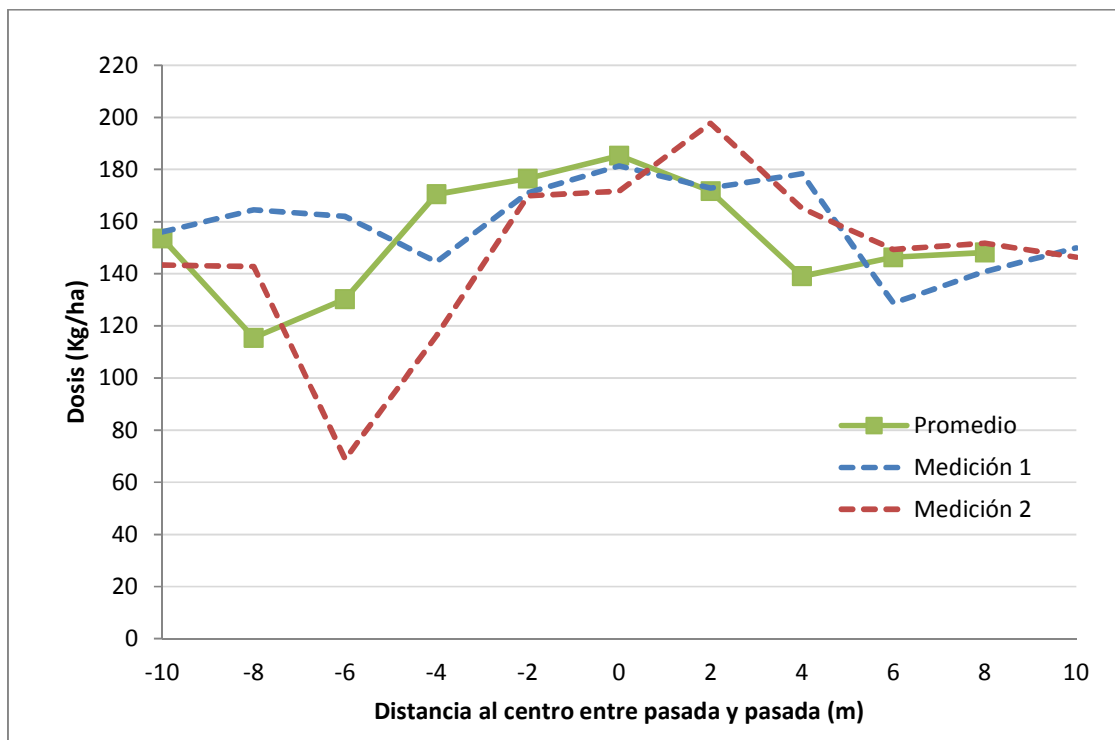


Gráfico 4.4. Diagrama de distribución, según promedios pasada doble 200 kg/ha
Fuente: Autor

Debido a que el gráfico 4.4 corresponde a los resultados obtenidos en la prueba tipo pasada doble, se logró observar que en la parte central del ancho de trabajo definido en 20 metros es donde se dan las mayores tasas de aplicación, con lo cual se pone en evidencia que el ancho de trabajo no es el adecuado más bien es menor al que debería de tener, en otras palabras el traslape es mayor al 100%, si este fuera el adecuado en esta zona deberían de tenerse valores muy similares al de los extremos por consiguiente un 100% de traslape, por el contrario. En caso de que la separación entre pasada y pasada fuera mayor se obtendría en esta zona menores tasas de aplicación o su equivalente tendría un porcentaje de traslape menor al 100%.

Este comportamiento se observó en los gráficos 4.2 y 4.3, en donde se hizo la superposición teórica de las mediciones de la pasada simple, en dichos graficos se observa que las tasas de aplicación en el centro entre la pasada de ida y la de vuelta son las más altas, esto se da debido a que el ancho entre ellas se definió en 20 metros y según estos datos la distancia podría ser mayor por ejemplo 22 metros, por consiguiente decir que el traslape en la aplicación es de 100% sería un error porque es mayor, se confirmó de manera visual y física por el impacto de las partículas de fertilizante a distancias superiores a los 20 metros.

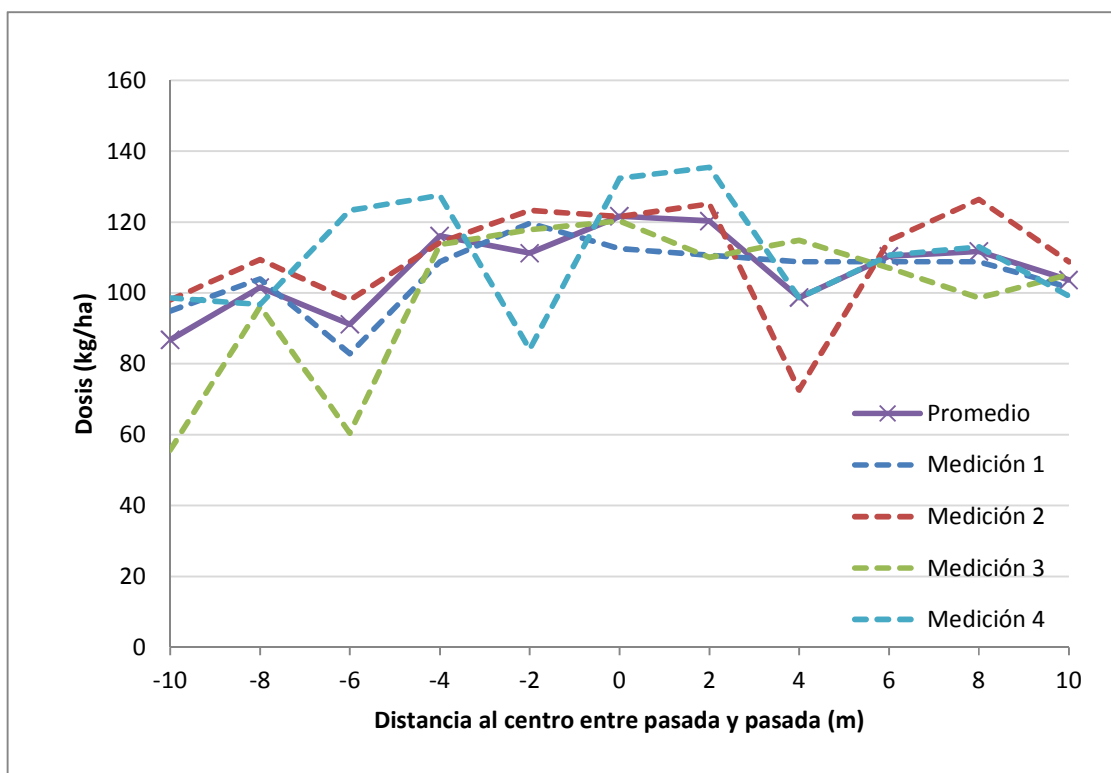


Gráfico 4.5. Diagrama de distribución, según promedios pasada doble 150 kg/ha
Fuente: Autor

El comportamiento típico al realizarse las pruebas de pasadas dobles con la dosis programada de 150 kg/ha, y al estar bajo las mismas condiciones que la de 200 kg/ha como se observa en el gráfico 4.6 un comportamiento muy similar al del

gráfico 4.4, sin embargo, en menor medida dado que la tasa de aplicación disminuyó.

En el gráfico anterior también se observaron en los promedios de las mediciones los puntos en los que las tasas de aplicación fueron mucho menores, viéndose afectada la uniformidad de la distribución considerablemente por coeficientes de variación con valores de 65,6%, 44,17% y 41,00%. En la mayoría de estos puntos se pueden atribuir a errores a la hora de colocar los colectores en el campo o un error humano a la hora de la medición como se mencionó anteriormente.

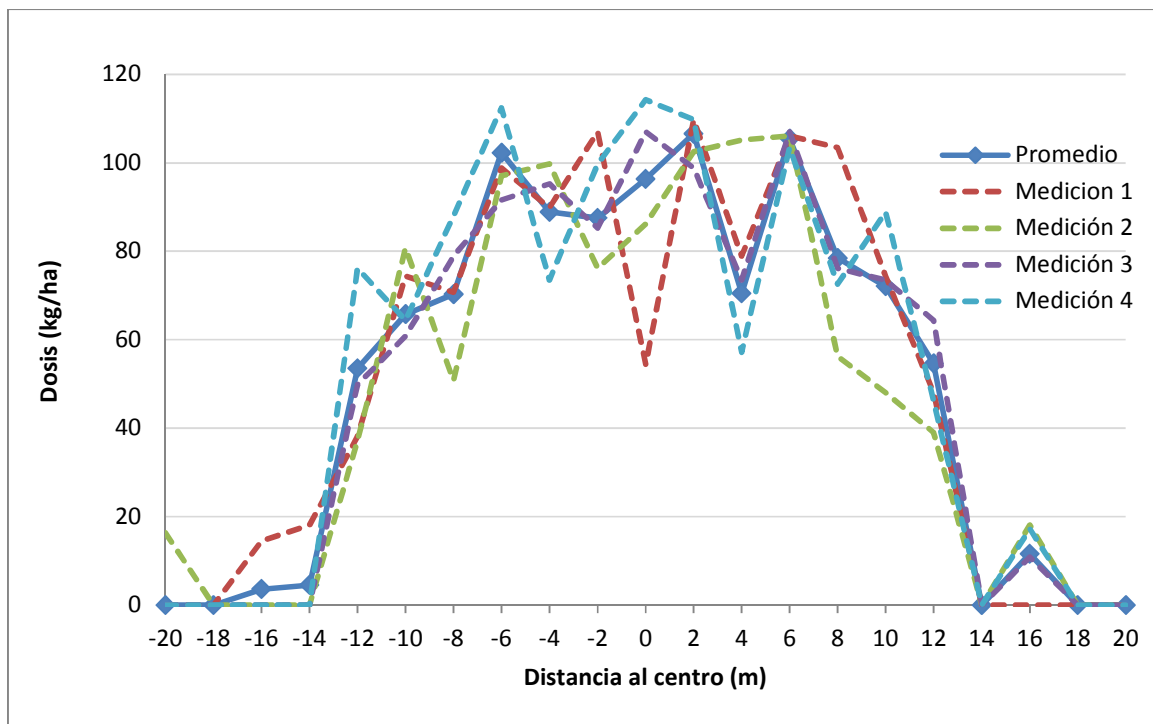


Gráfico 4.6. Diagrama de distribución, según promedios pasada simple 150 kg/ha
Fuente: Autor

Del gráfico 4.6 se puede observar que el diagrama de distribución da la voleadora es aceptable, dado que si más allá de los 12 metros se lograra hacer una medición adecuada se tendría un diagrama tipo plano, ovalado como los que se muestran

en la figura 2.4. Dichos diagramas se consideran aceptables para una voleadora centrífuga de doble disco.

En cuanto a la uniformidad de distribución longitudinal en la prueba de pasada doble de 200 kg/ha se obtuvieron coeficientes de variación aceptables o correctos, dado que en su mayoría estuvieron por debajo del 10%, a excepción de algunas las líneas de colectores en las que se detectaron problemas ya sea con la colocación de estos en el campo o un error a la hora de la medición. Varias de las tasas calculadas fueron mínimas o nulas influyendo de tal manera que se generaron coeficientes de variación de 65,6% y 44,17% siendo estos los más altos, dichos resultados se muestran el Cuadro 4.13.

Cuadro 4.13. C.V, pasada doble 200 kg/ha análisis longitudinal

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Desviación Estándar (kg/ha)	Coefficiente de Variación (%)
1	-10	149,66	10,05	6,72
2	-8	153,59	12,71	8,27
3	-6	115,49	75,76	65,60
4	-4	130,31	57,55	44,17
5	-2	170,52	13,08	7,67
6	0	176,56	9,01	5,10
7	2	185,33	24,51	13,23
8	4	171,73	18,63	10,85
9	6	139,07	59,62	42,87
10	8	146,33	35,56	24,30
11	10	148,14	9,15	6,18
Promedio				21,36

Fuente: Autor

Pese a esto, el promedio resultante de los coeficientes de variación en la dirección de avance fue de 21,36%, considerándose aun así una uniformidad de distribución aceptable, por ser una prueba realizada en campo como menciona en la nota teórica según la clasificación dada por Gil (2009), Sin embargo no se considera

aceptable según la clasificación de la FAO mencionada por Barreiro y Ruiz (2000), porque el C.V supera el rango del 10 al 15%.

En cuanto a la uniformidad transversal no aplica lo mismo, como se muestra en el cuadro 4.14, el valor promedio del coeficiente de variación fue de 26,29%, superior al 25% aceptado según la clasificación dada por Gil (2009), por consiguiente superó en mayor porcentaje los demás límites de C.V mencionados en la nota teórica.

Cuadro 4.14. C.V, pasada doble 200 kg/ha análisis transversal

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Desviación Estándar (kg/ha)	Coefficiente de Variación (%)
1	157,08	39,55	25,18
2	148,50	45,45	30,60
3	154,44	35,68	23,10
Promedio			26,29

Fuente: Autor

Analizando de manera conjunta las 4 mediciones realizadas en pasada doble pero de una dosis programada de 150 kg/ha se obtuvo un coeficiente de variación promedio de 17,03% definiendo la uniformidad longitudinal aceptable al estar está por debajo del 25%. Además se observa en el cuadro 4.15 que los valores son mayores a los obtenidos en la prueba de 200 kg/ha (cuadro 4.13); sin embargo, para esta prueba se obtuvo un promedio de 21,36% el cual fue más alto porque en los casos donde se dieron las variaciones, esta fue sumamente mayor con valores hasta el 65,6%, aumentando considerablemente así el promedio.]

Cuadro 4.15. C.V, pasada doble 150 kg/ha análisis longitudinal

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Desviación Estándar (kg/ha)	Coefficiente de Variación (%)
1	-10	86,77	21,36	27,20
2	-8	101,58	11,18	11,21
3	-6	91,15	37,47	41,00
4	-4	116,10	9,02	7,65
5	-2	111,26	17,86	17,25
6	0	121,69	11,29	9,38
7	2	120,33	16,90	14,02
8	4	98,71	28,71	29,55
9	6	110,35	9,56	8,69
10	8	111,71	13,05	11,86
11	10	103,70	9,78	9,47
Promedio				17,03

Fuente: Autor

En el cuadro 4.16 se observa el análisis transversal. Se obtuvo un valor de promedio de 20,66% para el coeficiente de variación, el cual se considera aceptable. Este valor fue el menor de todos los análisis realizados en esta dirección.

Cuadro 4.16. C.V, pasada doble 150 kg/ha análisis transversal

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Desviación Estándar (kg/ha)	Coefficiente de Variación (%)
1	104,14	27,47	26,46
2	108,39	18,77	17,32
3	107,48	19,43	18,18
Promedio			20,66

Fuente: Autor

Similar al análisis realizado con las tasas de medición en la prueba de una pasada simple, solo se realizó el cálculo de los coeficientes de variación para las filas de colectores a 12 m a un lado y otro del centro de la pasada, esto porque después

de esta distancia la recolección de fertilizante fue casi nula en todos los casos, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4.17.

Cuadro 4.17. C.V, pasada simple 150 kg/ha análisis longitudinal

No. de colector	Distancia (m)	Promedio (kg/ha)	Desviación Estándar (kg/ha)	Coefficiente de Variación (%)
5	-12	17,68	18,06	35,87
6	-10	22,47	16,05	22,90
7	-8	24,52	27,23	37,77
8	-6	29,76	12,58	12,58
9	-4	28,97	25,98	29,01
10	-2	29,43	23,73	25,77
11	0	31,28	40,49	44,75
12	2	31,26	10,17	9,67
13	4	28,97	43,46	55,23
14	6	31,48	9,08	8,60
15	8	26,93	28,55	37,03
16	10	24,38	18,97	26,64
17	12	18,41	13,77	27,86
Promedio				28,75

Fuente: Autor

En la prueba tipo pasada simple para 150 kg/ha se observa como los valores obtenidos en el análisis longitudinal son los más altos, únicamente 2 están por debajo del 10%; los demás, están entre el 22,9% y el 55,23%, obteniendo como resultado un valor C.V de 28,75%, a partir del cual se establece que en estas mediciones la uniformidad de distribución no es aceptable, y se comprueba con esto la necesidad de realizar un adecuado traslape, con lo que se disminuyen los coeficientes de variación hasta alcanzar los obtenidos en las pruebas de pasada doble.

Los coeficientes de variación en el la prueba del análisis longitudinal son altos respecto a los de la pasada doble. En el análisis transversal, estos van a ser mayores también, de obtuvieron valores de 34,78% y 34,82% para las líneas de

recolección 1 y 2 respectivamente por lo que se considera que la uniformidad en dicha medición es mala o inaceptable, según los rangos de valores tomados como referencia, cabe destacar que se dejan por fuera 8 mediciones debido a que no se logró obtener ninguna medición aunque estas se esperaba que fueran relativamente bajas lo que hubiera llevado a un aumento de los coeficientes de variación, el resumen de los valores obtenidos se muestra en el cuadro 4.18.

Cuadro 4.18. C.V, pasada simple 150 kg/ha análisis transversal

Línea de recolección	Promedio (kg/ha)	Desviación Estándar (kg/ha)	Coefficiente de Variación (%)
1	80,27	30,09	37,48
2	81,56	61,66	34,82
Promedio			36,15

Fuente: Autor

En las pruebas se obtuvieron resultados acorde con la teoría, ejemplo de esto es que los coeficientes de variación en los análisis de uniformidad en la distribución longitudinal fueron menores y en su mayoría con valores que permiten decir que esta fue aceptable en comparación a los obtenidos en el análisis de uniformidad transversal, dado que en la obtención de la uniformidad de distribución longitudinal intervienen menor cantidad los factores externos por lo que esta es más fácil de comprobar.

Los valores de la mediciones de podrían considerar aceptables si se toma como referencia el valor máximo de 25% para el coeficiente de variación, considerando de que las condiciones de las pruebas fueron muy diferentes a las que se tienen en los ensayos en campo donde se obtienen los parámetros utilizados como referencia, esta diferencia se basa en aspectos como como las condiciones del terreno, los colectores, las dosis de fertilizante, el régimen de la toma de fuerza entre otros aspectos, esto porque en el presente proyecto las mediciones se realizaron bajo condiciones reales de operación.

Dentro de las razones por las cuales no se lograron tener distribuciones más homogéneas es la eficiencia de los colectores y la manera en cómo se mide el fertilizante recolectado en ellos. Además, debido a la cantidad de colectores con que se contó, la separación entre estos que fue de 2 metros contrario a lo que se recomienda en la teoría para este tipo de pruebas donde los colectores no se separan a distancias mayores a los 50 cm. Esto porque la variación en la medición de un colector a otro puede ser muy significativa contrario a que si la distancia es menor la variación es gradual.

Por otro lado, en la teoría también se menciona que las irregularidades del terreno y la velocidad del viento como factores externos que junto con la inclinación, la altura, ancho de trabajo, velocidad de avance y el régimen de funcionamiento de la toma de fuerza pueden afectar la precisión de las mediciones.

Cuando se trabaja en bajo condiciones reales de operación, en el momento de tomar las mediciones, fue clara la presencia de irregularidades del terreno, que producían movimientos importantes del tractor, variaciones de velocidad de avance y velocidad de giro en la toma de fuerza. Además, fuertes ráfagas de viento intermitentes que, además de trasladar el abono, este podría volcar o mover los colectores colocados en el campo.

En cuanto a la altura de trabajo y nivelación de la abonadora no se siguieron las recomendaciones dadas por el fabricante dado que por las condiciones del terreno y el tipo de rodamiento utilizado, la nivelación de la voleadora es muy compleja, dado que constantemente el tractor profundiza su huella ocasionando que esta quede casi en contacto con el suelo disminuyendo el área de dispersión de fertilizante. Por último, en el análisis realizado el ancho de trabajo no fue el más adecuado esto porque según el ajuste realizado, se trabajó con un traslape mayor al 100%.

Debido a la dificultad de las condiciones del terreno no se pudo llevar a cabo las mediciones utilizando los colectores operando el equipo bajo el mapa de dosis variable.

Las pruebas de pasada simple y doble para una dosis fija de fertilizante que se realizaron tienen como objetivo servir de parámetro en la evaluación del funcionamiento de la voleadora cuando se realiza el cambio de dosis.

4.4 Generación y validación de la aplicación de dosis variable

La generación del mapa de aplicación de dosis variable, se realizaría para el lote Desmontes. De este terreno, se contó con la información del mapa de rendimiento generado por la cosechadora en el invierno 2009 así como el verano 2010 y 2011, dichos mapas se debían normalizar e intersecar utilizando un programa de computo (Sistema de Información Geográfica) para identificar las posibles zonas de manejo diferenciado de fertilizante, en la figura 4.13 se muestra uno de los mapas facilitados por el Ingeniero Soto¹.

¹ Ingeniero Alejandro Soto, encargado del manejo de información utilizando Sistemas de Información Geográfica, parte del personal del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura

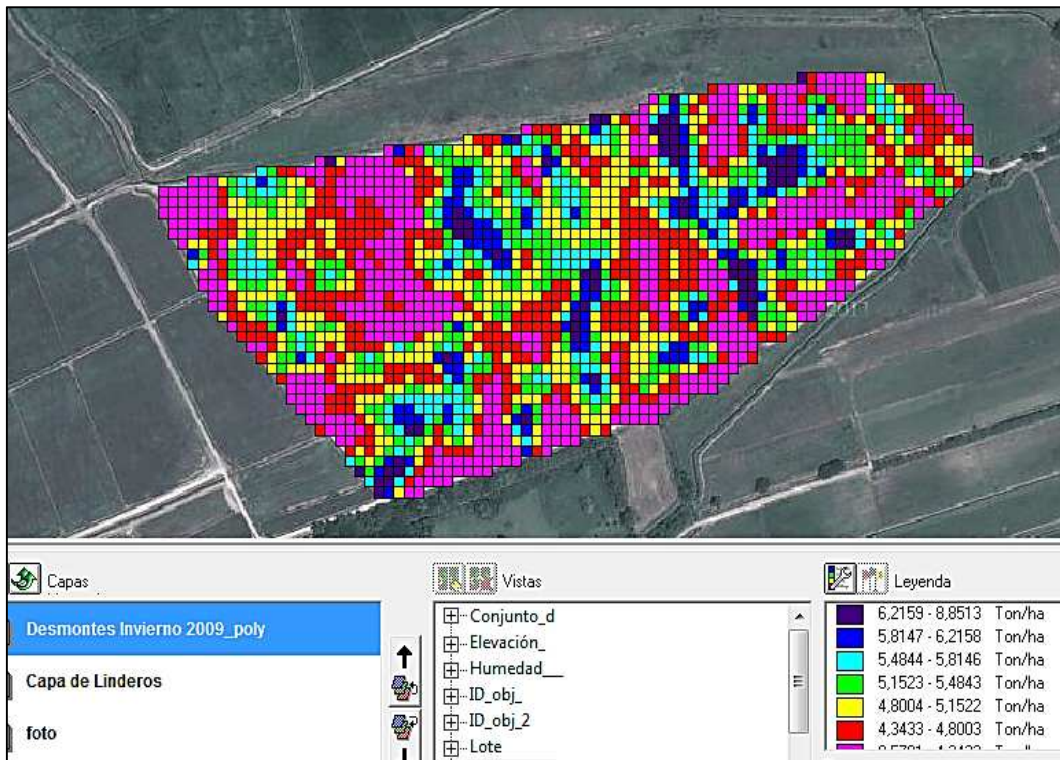


Figura 4.13. Mapa de rendimiento lote Desmontes cosecha invierno 2009
Fuente: Departamento Agrícola Pelón de la Bajura

Para tomar la decisión final se debía realizar un recorrido por el lote con el encargado de este, dado que se debían tomar en cuenta cuales zonas presentaban problemas de rendimiento por otras razones como humedad, plagas u otros aspectos los cuales se levantarían espacialmente utilizando el receptor GPS de mano (Juno SC).

Para poner en práctica el sistema de gestión basado en agricultura de precisión se deben utilizar, además de los aspectos antes mencionados, información del tipo de suelo, el análisis nutricional de estos, fotografías aéreas entre otros sin embargo en para la realización del presente proyecto no se contó con dicha información.

Por decisión del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura este lote no se sembró razón por la cual se debía realizar el mapa de aplicación en algún otro lote de la finca, sin embargo para cualquier otro lote se debía utilizar únicamente la experiencia del encargado en la definición de las distintas zonas de manejo diferenciado.

A la hora de definir el nuevo lote a utilizar se contó con la colaboración del Ingeniero Alejandro Soto el cual escogió el lote “José Joaquín” dado que por la experiencia profesional, identifica varios sectores que permitirían variar la dosis y por otro lado el Ingeniero Arnoldo Rodríguez² encargado actual de este lote definió las dosis a aplicar.

Este lote ya se encontraba dentro de los últimos en el plan de fertilización y en las mismas condiciones de los terrenos en que se trató de realizar las mediciones utilizando los colectores teniendo un resultado fallido, dado que estos se encontraban totalmente inundados, el arroz se encontraba a una altura superior a los 30 cm y la dosis a aplicar era de 100 kg/ha lo que hace aún más difícil la recolección de datos.

En la figura 4.14 se observa el mapa resultante de la delimitación realizada con el Ingeniero Soto, en este punto del proyecto aún no se encontraban asignadas las dosis finales que se iban a aplicar.

² Ingeniero Arnoldo Rodríguez, encargado de la producción del lote José Joaquín, forma parte del personal del Departamento Agrícola del Pelón de la Bajura

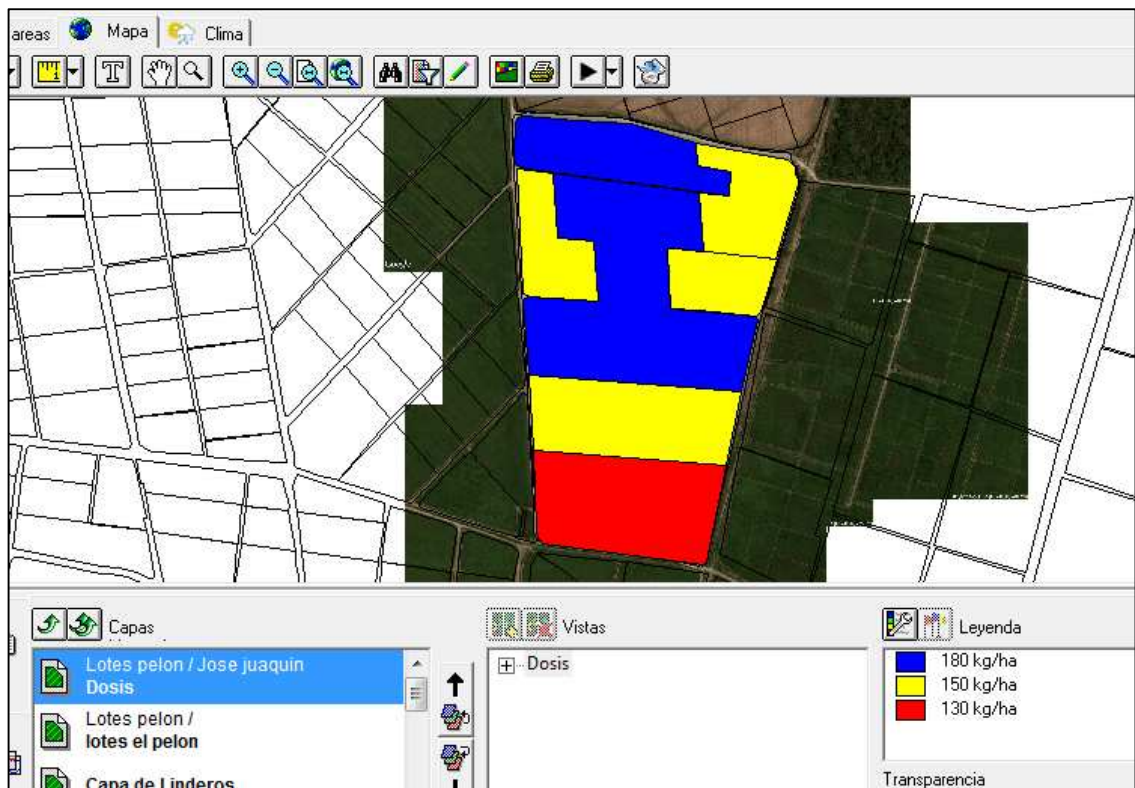


Figura 4.14. Delimitación de distintas zonas de aplicación lote José Joaquín
Fuente: Autor

Posteriormente se le mostró al Ingeniero Rodríguez el procedimiento completo utilizado para la creación del mapa de aplicación de dosis variable, durante el cual se modificaron las dosis previamente supuestas. La dosis programada para esta aplicación era de 100 kg/ha, debido a esto la decisión que se tomó fue aplicar los mismos 100 kg/ha pero distribuidos de una manera diferente, razón por la cual no hubo ninguna reducción en la cantidad de fertilizante aplicado sino más bien por el contrario al final se aplicó un poco más dado que según la distribución de las áreas con dosis distintas estas no fueron las exactas para mantener la proporción.

Las dosis fueron 125 kg/ha para las zonas según la experiencia con menor rendimiento, 100 kg/ha para las zonas de rendimiento promedio y 75 kg/ha en las zonas que han presentado mejores rendimientos, el mapa resultante se muestra

en la figura 4.15, en la parte inferior derecha de dicha figura se aprecia la leyenda en la cual se identifica cada zona con su dosis y el área correspondiente a cada una de estas.

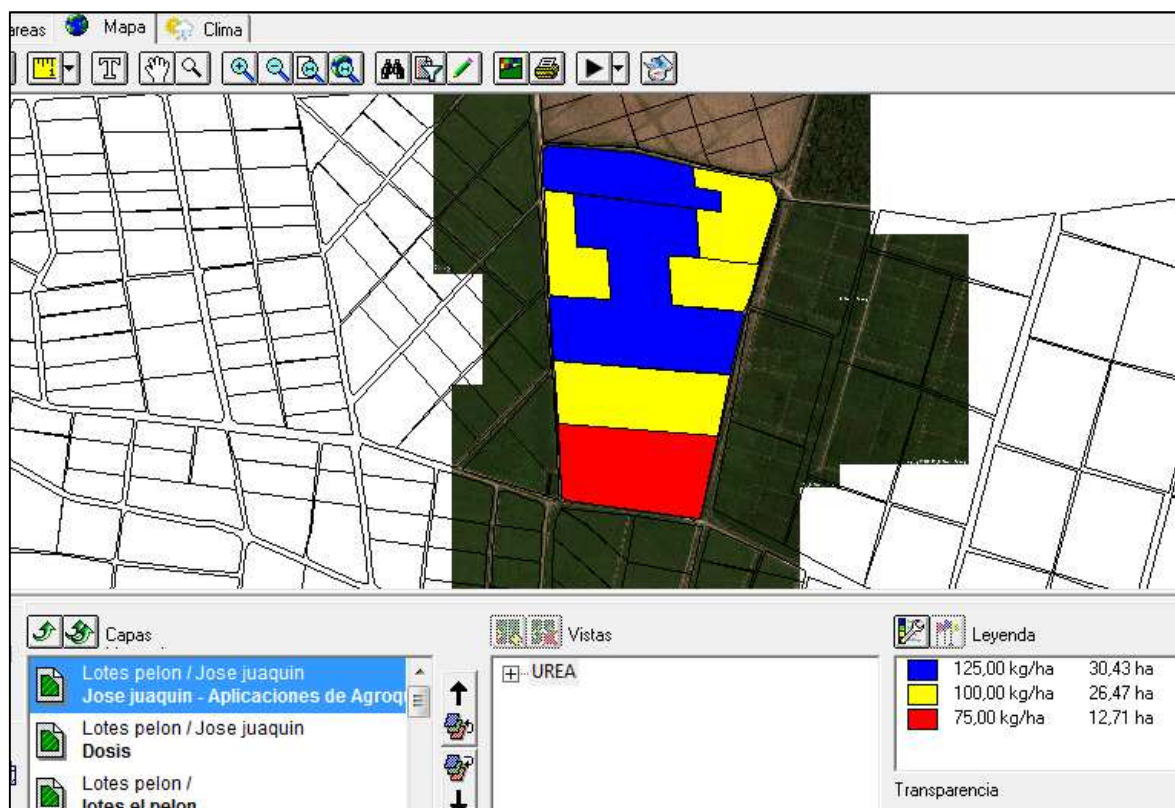


Figura 4.15. Mapa de dosis variable lote José Joaquín
Fuente: Autor

Automáticamente al crear la prescripción en el programa de cómputo Farm Works se genera la tarea para la aplicación de fertilizante, en la cual se muestra información como el nombre, el lote, cultivo, hora, fecha de inicio y finalización, el nombre del operador, el tractor e implemento usado así como los datos de la aplicación de dosis variable, adicionalmente. Adicionalmente se puede ingresar gran cantidad de parámetros como el consumo de combustible por hora o hectárea del tractor, asimismo el salario del operador, el costo del fertilizante entre muchos otros parámetros.

Esta información además de la que se genera una vez concluida la aplicación es de suma importancia para poder llevar un registro más ordenado y preciso de las aplicaciones o tareas realizadas en el campo. Esta información se puede ingresar manualmente en el EZ-Guide 500 sin embargo es un proceso muy tedioso y en muchos casos muy difícil para los operadores por lo que el utilizar esta herramienta facilita y mejora claramente el manejo de la información que posteriormente se analizará y se utilizará para tomas de decisión, en la figura A.78 del Anexo 6 se muestra la imagen resultante de la tarea generada en el programa de computo Farm Works.

Una vez que se cargó la tarea y la prescripción en el EZ-Guide 500, siguiendo la metodología utilizada en la primera parte de la práctica se realizó la aplicación de fertilizante en el lote “José Joaquín”.

Dicha aplicación se realizó en 2 días, en la figura 4.16 se muestra el lote completo una vez que se ha finalizado la primera etapa de la aplicación, en ella se logra observar las zonas con distinta dosis de aplicación como se visualiza en el EZ-Guide 500 además de esto se aprecia en amarillo la cobertura generada según las pasadas realizadas por el tractor, dicha cobertura en la imagen se ubica al interior del círculo rojo.



Figura 4.16. Visualización EZ-Guide 500 aplicación día 1
Fuente: Autor

En la figura 4.17 se observa el lote completo y al área total aplicada al final de los dos días, los sectores del lote en los cuales no se visualiza la cobertura fueron aplicados con la abonadora convencional.



Figura 4.17. Visualización EZ-Guide 500 aplicación completa
Fuente: Autor

El lote no fue posible fertilizarlo en su totalidad con el equipo del proyecto debido a que por la condición del clima (posibilidad de lluvia) y decisión del encargado de fertilización la aplicación se debía terminar lo más rápido posible, debido a esto parte del lote fue aplicado utilizando la voleadora convencional.

En cuanto a la verificación utilizando los colectores, no se pudo realizar como se mencionó al inicio debido a que el lote se encontraba totalmente inundado y con una altura del arroz por encima de los 40 cm, en la figura 4.18 se observan las condiciones antes mencionadas.



Figura 4.18. Condiciones del terreno pruebas dosis variable
Fuente: Autor

La validación del funcionamiento del equipo se realizó de dos maneras:

- i. Visual: se observó cómo se daba el cambio de la dosis en el controlador según su ubicación en el campo y con esto como variaban los porcentajes en la pantalla que indicaban la apertura de las correderas de dosificación, además de la variación de estos también según la velocidad de avance.
- ii. Procedimiento convencional: se utilizó en la finca para realizar la calibración de la voleadora, el cual se describió en el apartado 5.4.1 de la norma (ASABE S341.3), obteniendo como resultado tasas de aplicación muy similares a las programadas según el mapa, llamando positivamente la atención del personal encargado de la aplicación.

Además de estas mediciones, se contó con el resumen de la actividad importando la tarea del EZ-Guide 500 al programa Farm Works, en la figura 4.19 se muestran las dosis aplicadas según las zonas. En dicha imagen se observa la manera en cómo fueron realizadas las pasadas, además en la parte inferior derecha un resumen de los valores estimados de las tasas de aplicación.

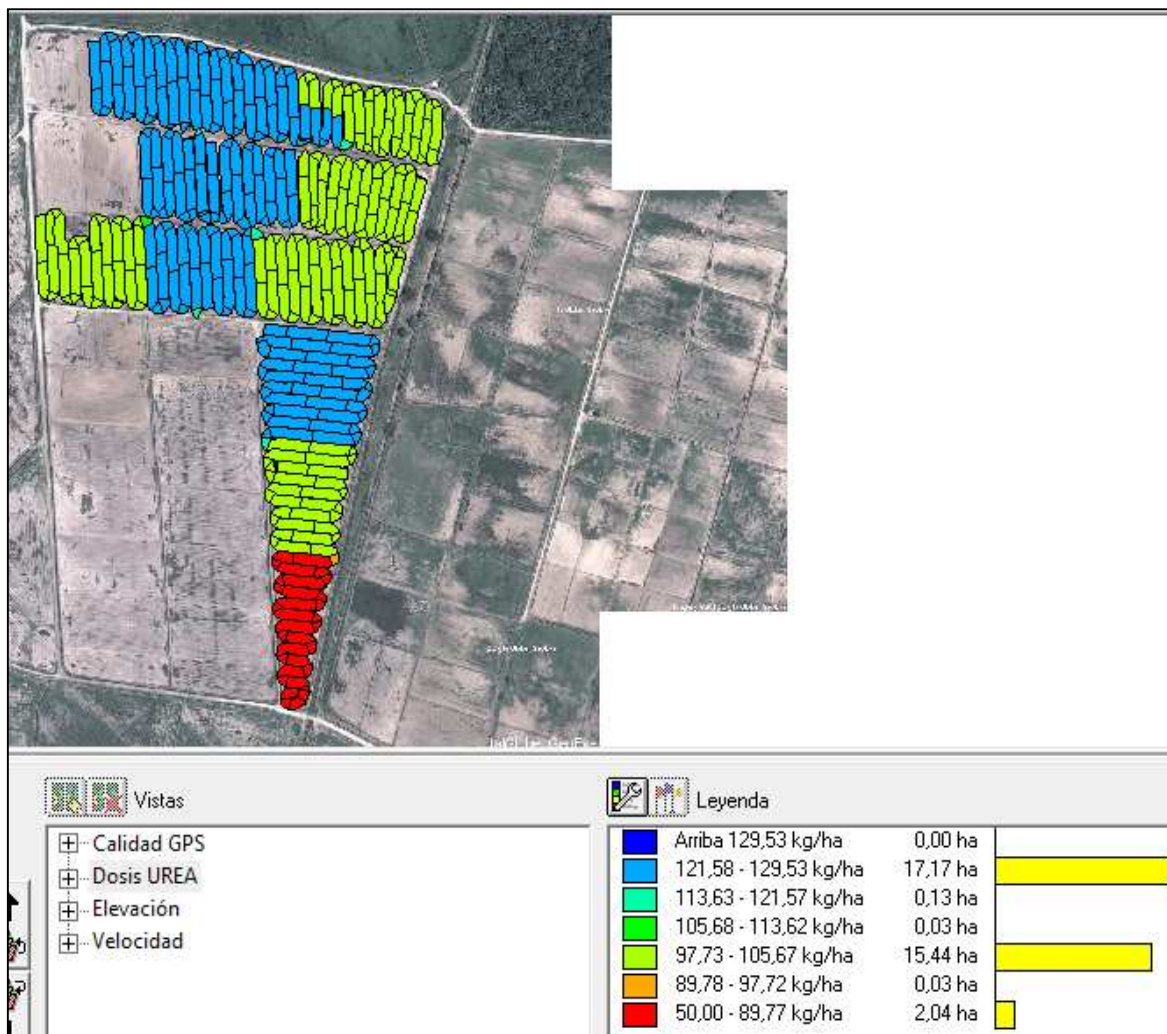


Figura 4.19. Resumen de la tarea, Vista dosis aplicada en Farm Works
Fuente: Autor

Como se observa en la imagen anterior, en el intervalo para las dosis de 121,58 kg/ha a 129,53 kg/ha se aplicaron en 17,17 hectáreas. Dicha área se referencia a la dosis programada de 125 kg/ha, los intervalos de 113,63 kg/ha a 121,57 kg/ha y de 105,68 kg/ha a 113,62 kg/ha corresponden a las transiciones a la hora de pasar de zonas con una dosis programada de 125 kg/ha a 100 kg/ha dichas transiciones se realizaron en un área de 0,26 hectáreas, esto aplica para las demás dosis cabe destacar que estos valores son calculados teóricamente y que

no tiene referencia alguna de los kilogramos de fertilizante restante en las tolvas, sin embargo si es un buen parámetro para comparar con los cálculos realizados en el campo.

Además de la visualización de las dosis aplicadas se puede generar la imagen e información de las velocidades de avance durante la aplicación realizada como se muestra en la figura 4.20.



Figura 4.20. Distribución de velocidades durante la aplicación
Fuente: Autor

A partir de dicha imagen se puede observar como constantemente se dan variaciones importante en la velocidad de avance, de estas variaciones muchas se dan a la hora de dar las vueltas al final de la pasada, también se observan los puntos donde se terminó y comenzó la aplicación una vez que se acaban las sacas de fertilizante lo cual también permite llevar un control de la aplicación, sin embargo hay que tener en cuenta que algunas de esas paradas que se notan se pueden haber presentado porque el tractor se detuviera por lo difícil del terreno o por alguna otra razón.

Tomando como referencia lo antes mencionado se puede decir que la aplicación de dosis variable fue realizada con éxito desde el punto de vista operacional según el método de calibración en cuanto a la tasa de aplicación utilizado en la finca y descrito en el apartado 5.4.1 de la norma (ASABE S341.3). Sin embargo, se dejó de lado en el análisis la uniformidad en la distribución dado que no se pudo determinar, se esperaría que el comportamiento fuera muy similar al que se obtuvo en las mediciones realizadas para una dosis fija de fertilizante.

CAPITULO 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se logró a partir del análisis del funcionamiento de cada uno de los equipos requeridos en el proyecto, conocer los requerimientos operativos logrando la comunicación correcta entre estos.

La verificación preliminar del funcionamiento de todos los mecanismos de la abonadora bajo condiciones normales de aplicación y según un mapa de dosis variable en las instalaciones de CRAISA fue realizada con éxito.

Después de realizar el estudio de las actividades diarias de fertilización en la Hacienda el Pelón de la Bajura, se observó como las condiciones reales de operación distan mucho de las condiciones ideales para trabajar con abonadoras de tipo centrifugas, siendo esto un factor importante por lo cual la calidad de la aplicación presentó desviaciones importantes con respecto a la teoría.

Se comprobó que durante la fertilización bajo condiciones reales de operación, la velocidad de avance varía constantemente por lo cual se hace necesario la implementación de sistemas que disminuyan el efecto que produce esta sobre la tasa de aplicación y la uniformidad de distribución, tal es el caso de abonadora utilizada en el proyecto dado que cuenta con un controlador electrónico que permite un ajuste proporcional según la velocidad de avance.

Durante todas las pruebas de campo se apreció como se le da poca importancia a la velocidad de giro de la toma de fuerza, y dicho parámetro es determinante en la calidad de aplicación realizada.

Según las observaciones durante la fertilización simultánea con ambas voleadoras, los principales factores que se mejoran en la aplicación de fertilizante con la utilización de abonadora del proyecto son la regulación automática en la

tasa aplicada según la velocidad de avance, el cierre y apertura según su posición en el campo de manera automática, la facilidad y precisión para realizar la calibración y la limpieza en las salidas de fertilizante.

Se comprobó que pese a tener tasas de aplicación muy precisas según las evaluaciones realizadas utilizando el método descrito en el apartado 5.4.1 de la norma, la uniformidad de la distribución puede no ser la adecuada, esto por la gran cantidad de factores que pueden intervenir en la aplicación, entre ellos los colectores utilizados, condición del terreno, condición climática, la velocidad de avance y régimen de la toma de fuerza entre otros.

Los porcentajes de diferencia calculados en la tasa de aplicación utilizando los colectores fueron relativamente altos, van desde el 23,33% en la de pasada doble de 200 kg/ha hasta el 29,71% en la pasada doble de 150 kg/ha prueba 2, es importante notar que en todos los casos la tasa real según las mediciones es menor a la programada en el equipo.

A partir del análisis de las tasas de aplicación utilizando los intervalos de confianza, se obtuvo que estadísticamente no se puede afirmar que la tasa real sea aceptable o se aproxime a la tasa programada dado que en ninguno de los intervalos de confianza se incluye el valor de la dosis teórica, dicho resultado tiene relación directa con los altos porcentajes de error obtenidos en las mediciones.

Según la metodología convencional definida en el apartado 5.4.1 de la norma, la voleadora evaluada en el proyecto se ajusta con gran precisión a la dosis programada contradiciendo así los resultados obtenidos a través de las mediciones con los colectores razón por la cual se puede atribuir la diferencia a distintos factores como la condición del terreno, condición climática, la velocidad de avance, régimen de la toma de fuerza y principalmente por el tipo de colector utilizado dado que son diferentes a los recomendados por la norma.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de pasada simple, se corroboró el patrón de distribución del fertilizante en abonadoras centrífugas y la importancia de realizar un traslape que se ajuste a las condiciones propias de las labores y los equipos utilizados en las mismas. Esto ya que el valor promedio generado de la superposición teórica fue de 103,32 kg/ha, el porcentaje de diferencia respecto a la dosis teórica fue de 31%, valor muy por debajo del 65.9 % obtenido de aplicación realizada en un único pase.

Se comprobó la importancia del uso de GPS para guiar al tractor y controlar el equipo de fertilización, ya que se asegura uniformidad de aplicación al minimizar el efecto de las variaciones en la velocidad de trabajo y permite que el ancho de trabajo asignado se mantenga constante a la largo de la aplicación, siendo este un factor importante para tener una adecuada aplicación.

Los coeficientes de variación obtenidos en las pruebas de campo superan en la mayoría de los casos los valores permitidos para una uniformidad en la distribución aceptable, cuando se realiza la aplicación de cobertura de fertilizantes nitrogenados, lo cual es algo muy común en este tipo de equipos como lo demostró la investigación realizada por Omaña y Terciado (2009).

Se comprobó que la uniformidad de distribución longitudinal es más aceptable con valores de promedio de C.V de 23 y 17,03% en comparación con la uniformidad de distribución transversal donde se obtuvieron 26,29 y 20,66% para las pruebas en pasada doble de 200 kg/ha y 150 kg/ha respectivamente como se menciona en la teoría dado que en la longitudinal son menos los factores que intervienen.

Pese a que la uniformidad en la distribución no se considera aceptable, los valores de C.V sobrepasan por poco los límites estimados en la teoría, debido a esto no se presentaron problemas por este factor en el desarrollo del cultivo, contrario a lo esperado si la aplicación fuera muy heterogénea.

A partir de los diagramas de distribución de las pruebas en pasada doble se observó que el ancho de trabajo es menor al adecuado para lograr una uniformidad aceptable según los ajustes iniciales realizados en la voleadora como el tipo de disco utilizado y el punto de extracción ajustado, dado que en la parte central de estos se obtuvieron los valores mayores de las tasas de aplicación.

La determinación de los diagramas de uniformidad son muy importantes para la caracterización de los equipos y las condiciones de trabajo sin embargo estas son muy laboriosas y complicadas por lo que el agricultor no puede realizarlas constantemente, de ahí que se debe verificar la certificación de las pruebas realizadas por el fabricante del equipo.

Se logró validar con éxito el funcionamiento del sistema de aplicación de dosis variable a través de las mediciones utilizando el método convencional definido en el apartado 5.4.1 de la norma, calculando en varias ocasiones que de manera precisa se iba aplicando la dosis programada en cada una de las diferentes zonas.

Se comprobó la importancia de la utilización del Farm Works dado que al final de la aplicación de dosis variable la información generada fue analizada y sirvió como punto de comparación en aspectos como la dosis aplicada, la velocidad de avance durante la operación, el recorrido realizado y la duración de la labor entre otros aspectos.

En general la implementación de este sistema traería grandes beneficios al productor y al medio ambiente, dado que al aplicar las cantidades requeridas de fertilizante en el lugar adecuado, implicaría un ahorro considerable en los costos y una disminución de la contaminación por sobre aplicación de producto.

Tomando como referencia el procedimiento descrito para generar un mapa de aplicación de dosis variable y su respectiva puesta en marcha para la aplicación de fertilizantes granulados, se podría extrapolar a la aplicación de fertilizantes o

productos fitosanitarios líquidos en su homólogo, un pulverizador con sistema de control electrónico (EZ-Boom o Field IQ).

Con la realización del presente proyecto se tiene una base adecuada para poner en marcha sistemas similares a partir de equipos de diferentes fabricantes, y sus posteriores evaluaciones.

El desarrollo de este Trabajo Final de Graduación permitió desarrollar el conocimiento requerido para la implementación y validación del funcionamiento de tecnologías emergentes, que tengan un impacto positivo en el sector productivo nacional.

5.1 Recomendaciones

Debido a la dificultad en las pruebas para la determinación de los diagramas y uniformidad de las aplicaciones, se recomienda tener en cuenta el uso de las Guía rápidas de calibración y ajustes de la Voleadora dadas por el fabricante, según la identificación del fertilizante utilizado, el ancho de trabajo deseado, la velocidad de avance y la dosis deseada.

Aunque en la Guía de Identificación de Fertilizante de la Abonadora se encuentre un fertilizante muy similar al que se desea aplicar, se recomienda realizar una verificación rápida de la dosis y el ancho de trabajo del equipo.

Para lograr aprovechar al máximo este sistema de aplicación de dosis variable es necesario contar con otros equipos y tecnologías como el uso de monitores de rendimiento, distintos sensores que monitorean las condiciones de los cultivos, estudios constantes de suelos además de personal capacitado en la utilización de todo este tipo de herramientas tecnológicas.

Se recomienda determinar de manera precisa el comportamiento de los cultivos que se fertilicen utilizando la abonadora centrífuga ante aplicaciones no uniformes

y así determinar el margen de tolerancia máximo permitido en estos, para obtener los máximos rendimientos.

Para lograr obtener mejores resultados de las pruebas y un funcionamiento adecuado del equipo se deben de realizar los ajustes de la abonadora dados por el fabricante y durante la operación tener en cuenta los parámetros ideales de esta como lo sería una adecuada velocidad de avance, las rev/min en la T.D.F óptimas, un ancho de trabajo óptimo.

Se recomienda establecer un contacto estrecho entre la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica, empresas Agroindustriales y Agencias distribuidoras de equipos agrícolas para realizar proyectos conjuntos que permitan colaborar, de manera sensible, en el desarrollo del sector agrícola del país.

Se recomienda realizar trabajos posteriores en los que se analicen los beneficios económicos y ambientales que se podrían tener con la utilización de este sistema de aplicación de fertilizante en dosis variable.

REFERENCIAS

- ASABE S341.3. Febrero 2004. Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating broadcast spreaders. *ASABE Standards 2006*. Recuperado de <http://www3.abe.iastate.edu/ast330/Labs/lab6/ASABES341.3.pdf>
- Barrerio, P; Ruiz M. 2000. Maquinaria para la aplicación y distribución de abonos minerales. *Revista Vida Rural*. Recuperado de http://oa.upm.es/6378/2/Barreiro_100.pdf
- Batte, M.T. & VanBuren, F.N. (1999), Precision farming – Factor influencing productivity. *Department of Agricultural, Environmental, and Development Economics The Ohio State University*. Recuperado de <http://aede.ag.ohio-state.edu/Programs/VanBuren/pdf/PrecisionFarming.pdf>
- Burks, TF; Shearer, SA; Fulton, JP. 2000. Assessment of Fertilizer Application Accuracy With The Use of Navigation Aids. *ASAE Paper No. 001154*. Recuperado de http://bae.uky.edu/precag/PrecisionAg/Reports/NavAids/navigational_aids.htm
- Chartuni. E; Carvalho. F; Marçal. D & y Ruz, E. 2007. Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria. *COMUNIICA. Edición Nº 1, II Etapa, enero-abril*. Recuperado de <http://webiica.iica.ac.cr/bibliotecas/replica/B0483e/B0483e.pdf>.

Cigana, C. 2003. Redução de custos prometida pela agricultura de precisão.

Recuperado de

<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=16550>.

Davis, G., Massey, R. & Massey, R. 2005. Precision agriculture: An introduction.

University of Missouri Extension. Recuperado de

<http://www.muextension.missouri.edu/explore/envqual/wq0450.htm>.

Fadel, M. 2004. Performance Assessment of VRT-based Granular Fertilizers

Broadcasting Systems. *Dept. of Arid Land Agriculture, College of Food*

Systems, UAE University. Recuperado de

<http://ecommons.cornell.edu/handle/1813/10412>

Márquez, L. 2011. La tecnología en las abonadoras de proyección Parte 1. *Revista*

Agrotécnica. Recuperado de

<http://www.unizar.es/centros/eps/doc/AbonadorasProyeccion.pdf>

Méndez, A; Vélez, J;Villaruel. 2003. Protocolo de dosificación variable de insumos

en el cultivo del maíz. *Proyecto Maquinas y Agrocomponentes Precisos –*

INTA Manfredi. Recuperado de

[http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Tecnologia-](http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Tecnologia-De-Aplicacion-Variable.asp)

[De-Aplicacion-Variable.asp](http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Tecnologia-De-Aplicacion-Variable.asp)

- Muscoplat, C. 2007. What is Precision Agriculture?. *Precision Agriculture center. Universidad de Minnesota*. Recuperado de <http://www.precision.agri.umn.edu/education.shtml>
- Parish, R. 1999. Granular Spreaders: Selection, Calibration, Testing, and Use. Recuperado de <http://www.lsuagcenter.com/NR/rdonlyres/D9458BB7-D852-40B4-B434-5A6FC0C43E0E/3925/B868.pdf>.
- Perry, C. 2005. GPS guidance – Going beyond the hype. *University of Georgia, Precision AG Team*. Recuperado de [http://www.nespal.cpes.peachnet.edu/PrecAg/GPS Guidance files](http://www.nespal.cpes.peachnet.edu/PrecAg/GPS%20Guidance%20files)
- Segarra, E. 2002. Precision agriculture initiative for Texas high plains. *Annual Comprehensive Report. Lubbock, Texas, Texas A&M University Research and Extension Center*. Recuperado de <http://engineeringworks.tamu.edu/precision-agriculture-2>
- Omaña, J.M., Terciado, M. (2009). Evaluación de abonadoras. *Convenio de Colaboración existente entre la Administración General de la Comunidad Autónoma de La Rioja, la Asociación Riojana de Agricultores y Ganaderos (AragAsaja), la Sociedad Cooperativa El Cierzo y AIMCRA*. Recuperado de <http://www.aimcra.es/Plan2014/documentos/Inf%20Abonadoras.pdf>

CAPITULO 6. Anexos

Anexo 1. Guía de Funcionamiento

En la presente guía rápida de implementación se describen los pasos a seguir para poner en marcha el sistema de control y suministro de dosis variable automatizado, primeramente se describirá el procedimiento a seguir para crear el mapa de dosis variable utilizando el software Farm Works y en segunda instancia los pasos para la configuración del EZ-Guide 500 y la voleadora.

Mapa de dosis variable

Para comenzar utilizar el Farm Works lo primero es crear una carpeta nueva dentro de la carpeta “farmproj” ubicada en archivos de programa en el disco C de la computadora, en dicha carpeta se guardaran los archivos que se importen de otros dispositivos tal es caso de los levantamientos de campo ya sean puntos, áreas o coberturas o demás archivos que se utilicen en el proyecto, para este caso se creó una carpeta llamada prueba

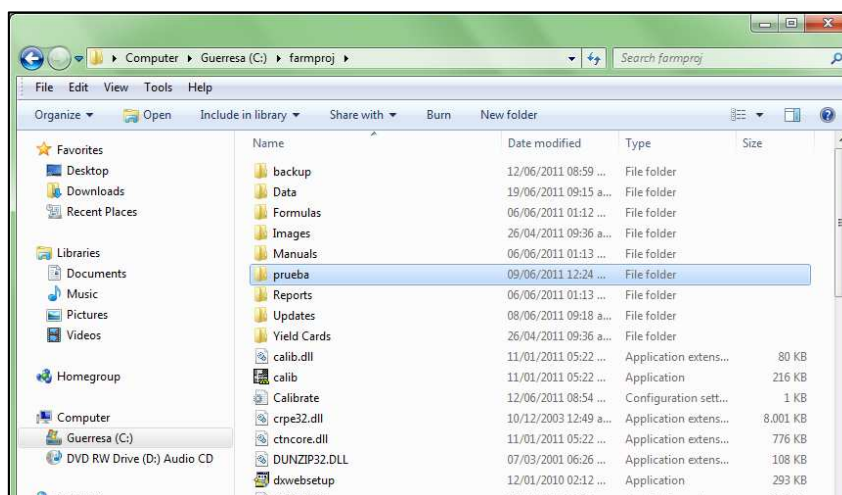


Figura A.1. Paso 1

-Al iniciar el programar lo primero es la creación de un nuevo proyecto, en caso de que se quiera mayor seguridad adicionar contraseña al proyecto



Figura A.2. Paso 2

-Seleccionar el nuevo proyecto creado o seleccionar proyectos anteriores en este caso seleccionar mapa de prescripción

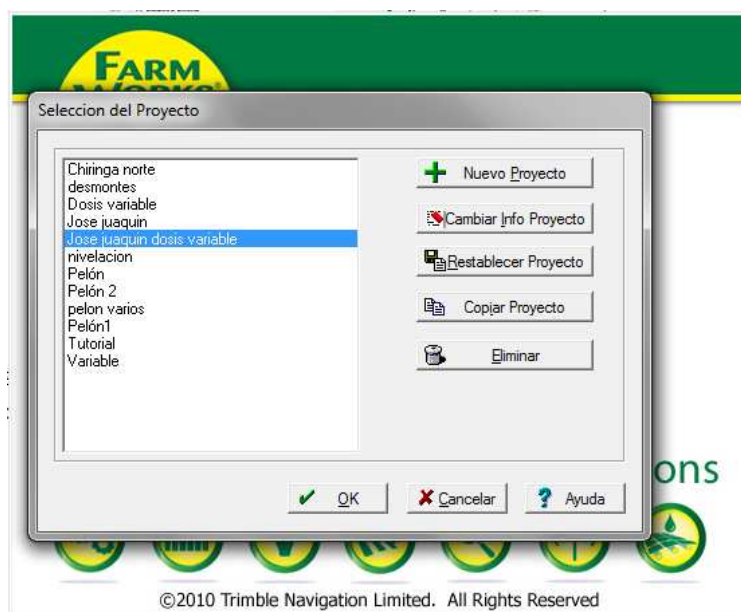


Figura A.3. Paso 3

Al seleccionar el proyecto el programa solicitará 2 parámetros iniciales, el tipo de unidades a utilizar seleccionar métrico y las coordenadas para georeferenciación seleccionar grados-minutos



Figura A.4. Paso 4 y 5

-Una vez que se abre la interfaz del programa seleccionar en la barra de menús superior “archivo/preferencias/información de usuario”, en preferencias también se puede cambiar el sistema de unidades o de georeferenciación en caso de que sea necesario.

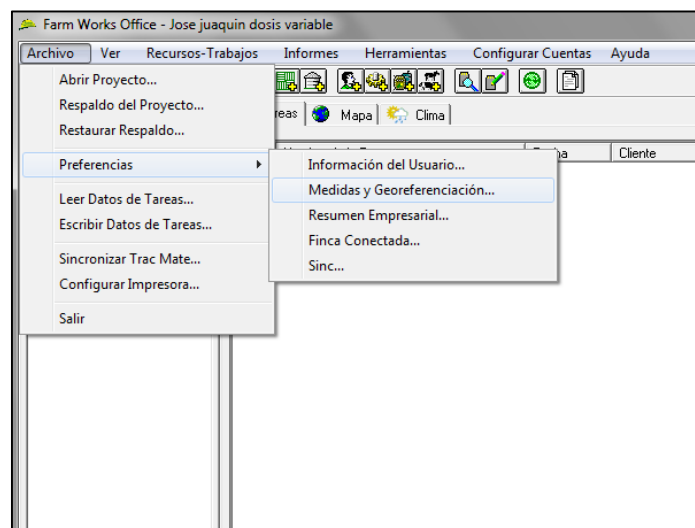


Figura A.5. Paso 6

-Dentro del sub menú de información de usuario agregar la información solicitada y hacer click en OK

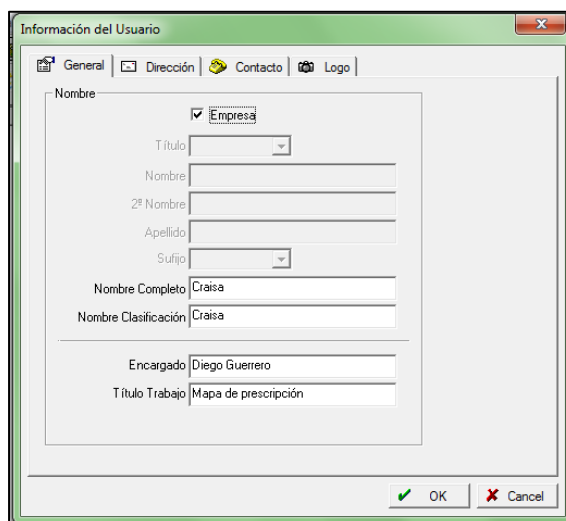


Figura A.6. Paso 7

-Se observa como aparece el nombre del usuario asignado en el área de información de la izquierda

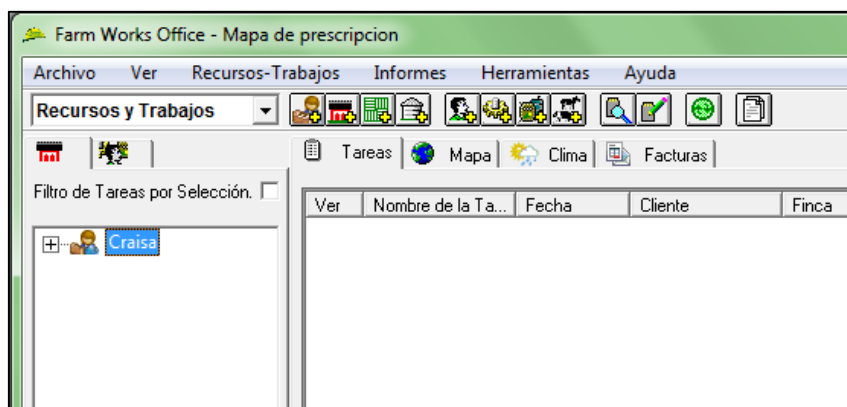


Figura A.7. Paso 8

-Al hacer click derecho sobre el usuario aparece un submenú utilizado para asignar la información requerida en el proyecto, para comenzar a agregar la información seleccionar “nuevo cliente”

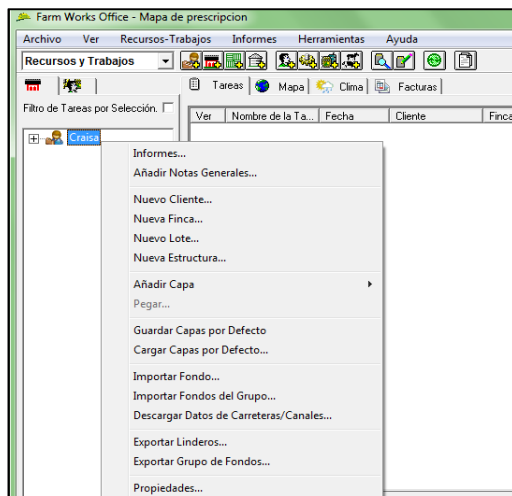


Figura A. 8. Paso 9

-Agregar los datos solicitados en el cuadro de dialogo hacer click OK

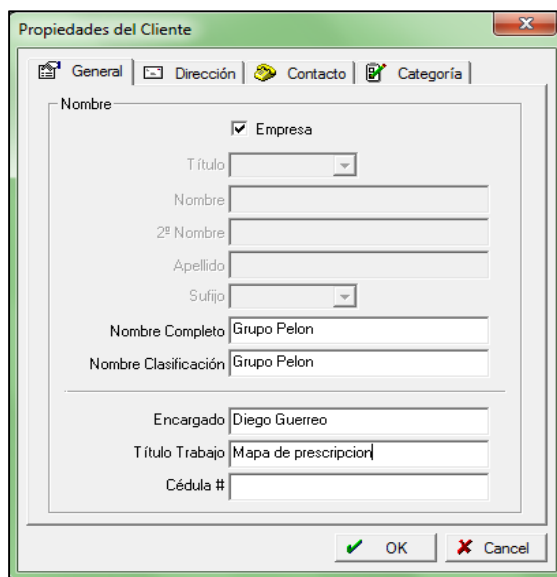


Figura A.9. Paso 10

-Repetir el paso anterior para agregar “nueva finca”, “nuevo lote” y al final obtener la información como se muestra en la imagen siguiente

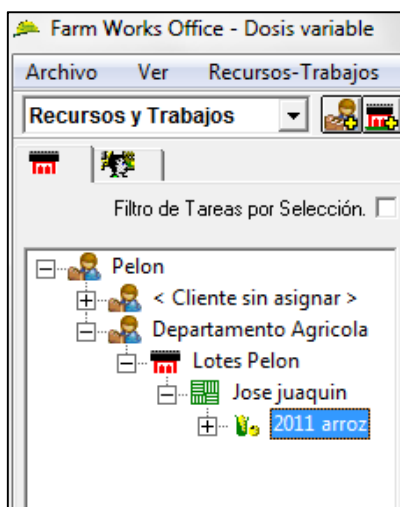


Figura A.10. Paso 11

-Para crear el mapa de prescripción lo primero es importar el mapa del lote en caso de se cuente con un levantamiento previo o cargar el levantamiento realizado con el Juno, para ello hacer click derecho sobre el nombre del lote en este caso “José Joaquín” y seleccionar del submenú “importar fondo”

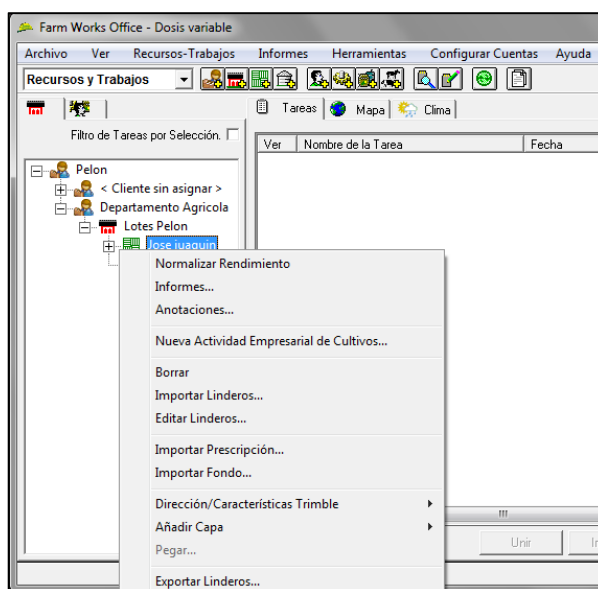


Figura A.11. Paso 12

-Del submenu desplegado buscar el archivo tipo “shp” en la carpeta donde se encuentre almacenado y seleccionar abrir, para este caso se conto con un mapa general de la finca llamado “lotes pelon”

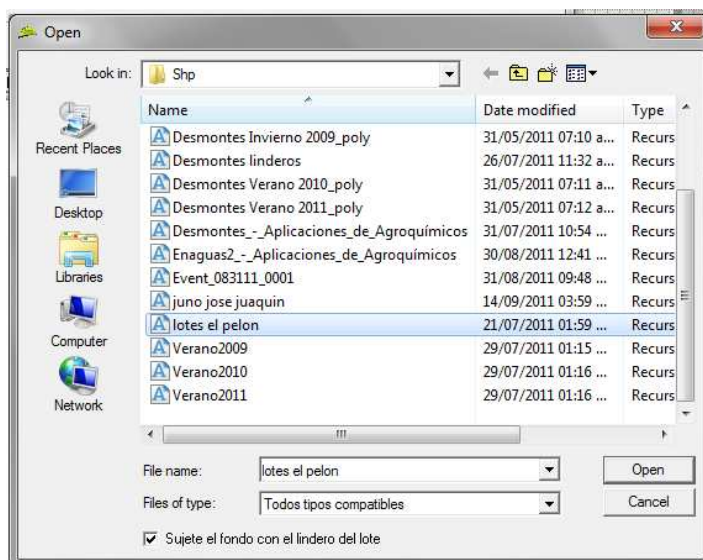


Figura A.12. Paso 13

-Como se observa en la figura siguiente aparece adicionado un nuevo archivo llamado “lotes pelón”, para observar el mapa se debe seleccionar la pestaña mapa que se observa encerrado en el círculo negro

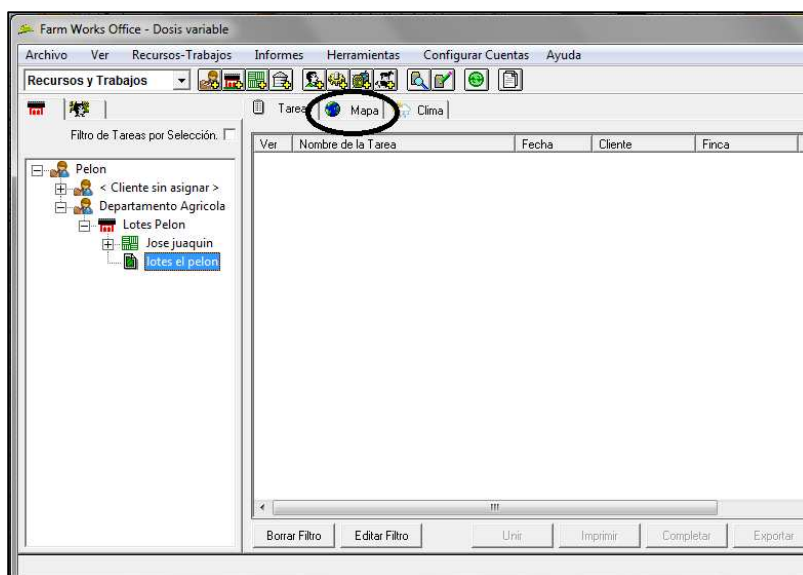


Figura A.13. Paso 14

En la siguiente figura se muestra el mapa una vez cargado

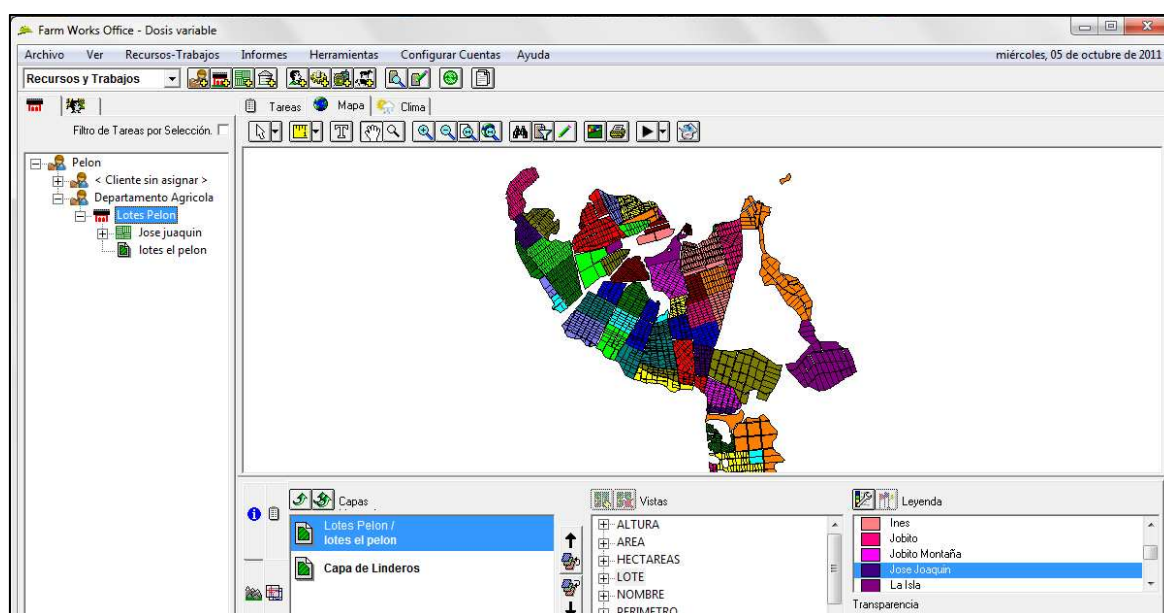


Figura A.14. Paso 15

-Hacer doble click sobre en nombre del lote en el submenu de leyendas para cargar le imagen aérea

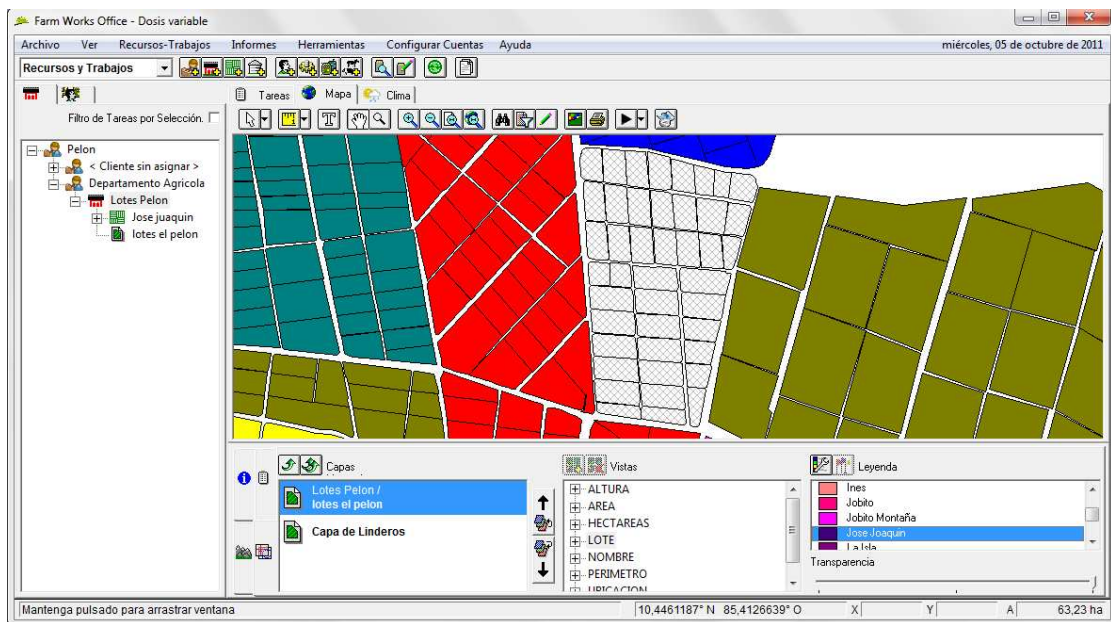


Figura A.15. Paso 16

Una vez ubicado el lote se procedió a cargar la imagen de google earth y a la vez se aumentó la transparencia de la capa “lotes pelón” con el fin de observar mejor la imagen aérea y definir mejor el límite del lote

La variación de la transparencia en los colores de la capa se realiza desplazando el icono señalado en la imagen siguiente de izquierda a derecha

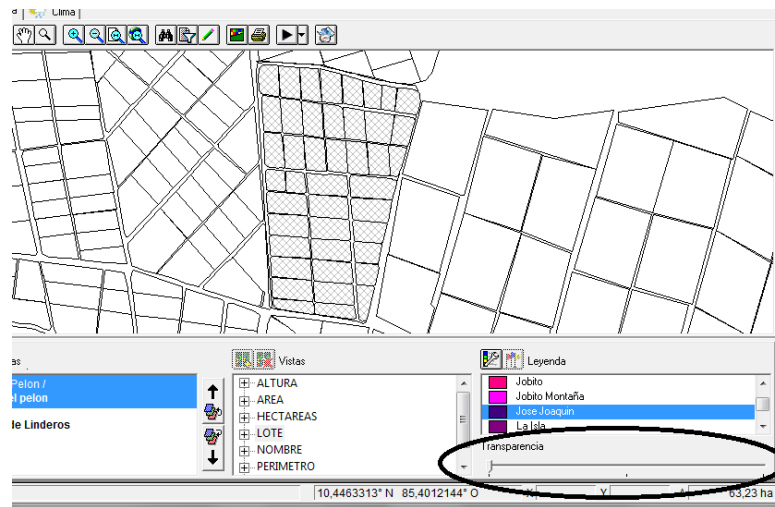


Figura A.16. Paso 17

-Hacer click derecho sobre el lote y seleccionar la opción “Obtener imagen aérea” para cargar le imagen aérea

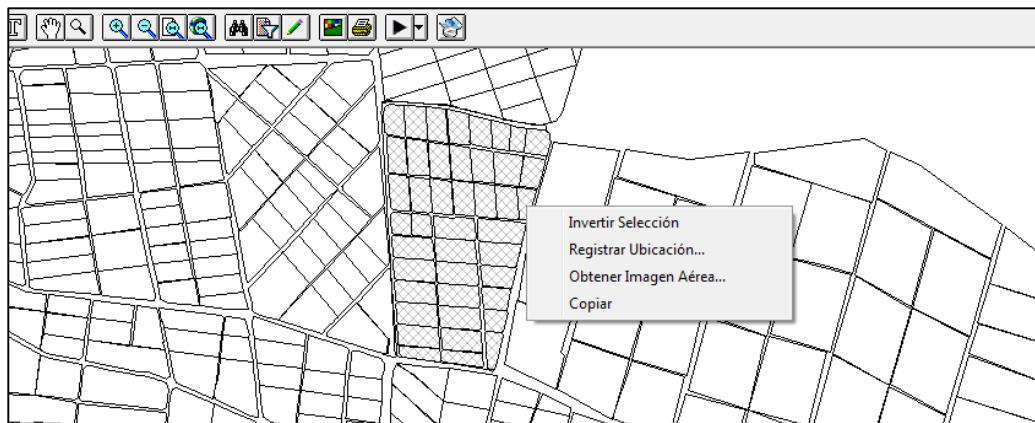


Figura A.17. Paso 18

-Agregar el nombre de la imagen para crear el polígono

-Seleccionar la el programa de procedencia y la resolución de esta, así como el lugar donde se desea agregar, para realizar este paso y una vez realizado poder

observar la imagen en trabajos posteriores únicamente se puede si se cuenta con conexión a internet

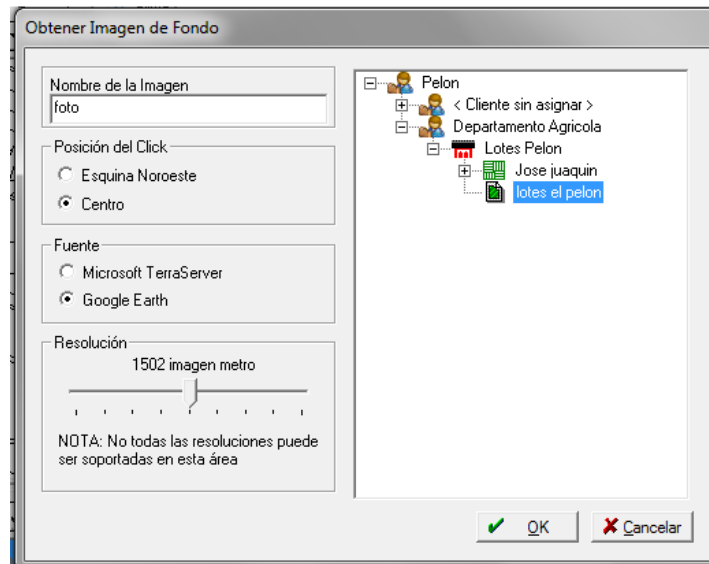


Figura A.18. Paso 19

-Como se observa en la imagen siguiente automáticamente el programa selecciona la fotografía según la ubicación del levantamiento de campo

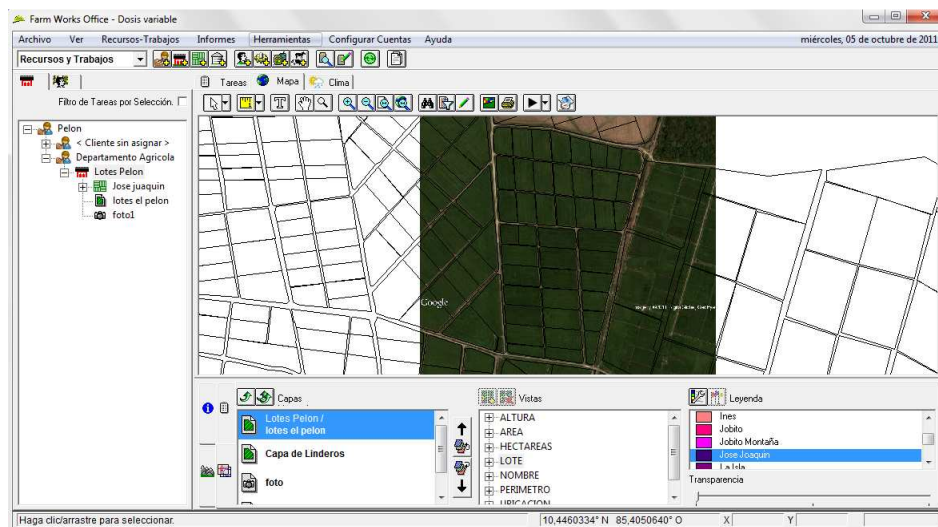


Figura A.19. Paso 20

-Para lograr una definición del lote más precisa con anterioridad se realizó un recorrido por todo el camino que bordea el lote utilizando el Juno y el Farm Works Mobile para crear la capa tipo Shp que se descarga en la computadora

-Esta capa creada en el Farm Works Mobile se importó al Farm Works Office como el lindero del lote, la cual va a ser utilizada como base para la creación del mapa de dosis variable con lo que se asegura que todo el área del lote queda incluida

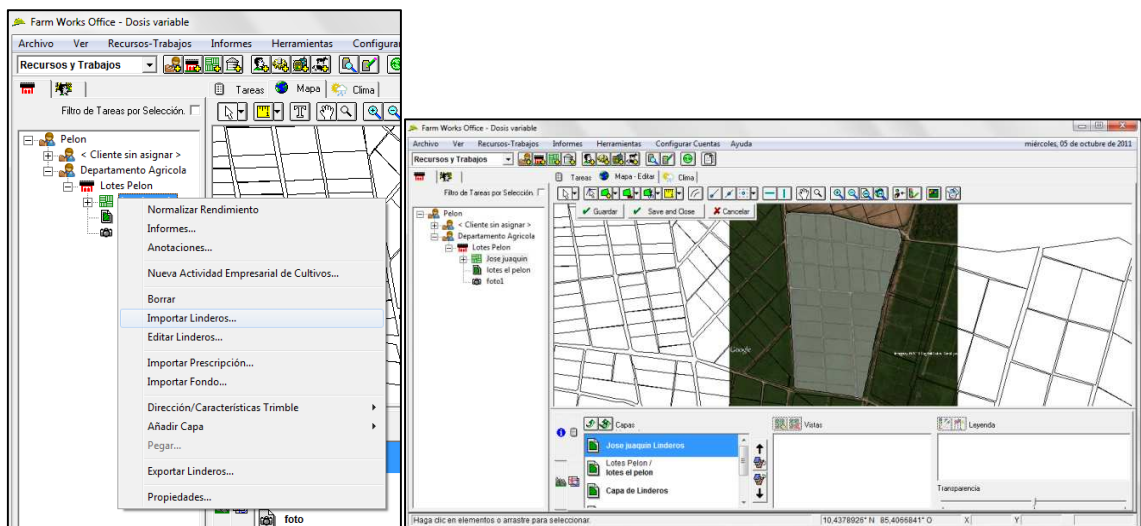


Figura A. 20. Paso 21 y 22

-De la misma forma como se importaron las capas anteriores se pueden agregar las generadas por algún otro SIG como resultado del cruce de las capas de la textura del suelo, capas de análisis nutricional, mapas de rendimiento así como demás información útil para la delimitación de las zonas de manejo diferenciado

Una vez con las capas necesarias cargadas

-Hacer click derecho sobre el nombre de lote “Jose Juakin”

-Seleccionar “añadir capa/añadir polígono/capa de áreas”

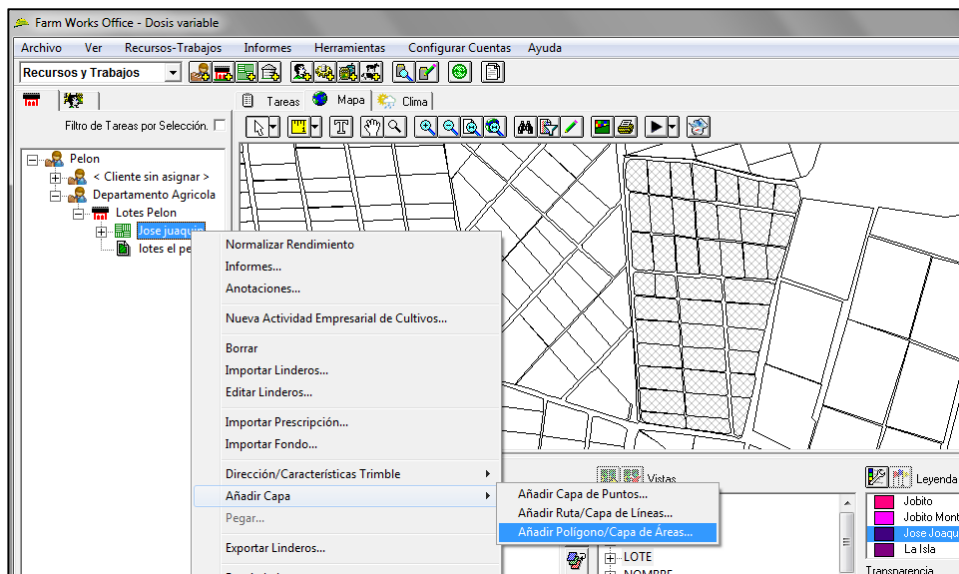


Figura A.21. Paso 23

-Seguidamente aparece el cuadro de dialogo para definir las propiedades de la capa, automáticamente se completan algunos datos los otros deben ser llenados tal es el caso de “Descripción y categoría”

-Hacer click en el icono añadir que se encuentra en la parte inferior

Propiedades de la Capa

Descripción:

Categoría:

Cliente:

Finca:

Lote:

Cultivo:

Descripción	Tipo	Decimal	Unidad	Suministro

Figura A.22. Paso 24

-Luego aparece la nueva línea para poder completar la información de las características que va a tener la capa, en el cuadro de “descripción” se escribe la descripción del trabajo a realizar con la capa que se está creando, la casilla de “tipo” corresponde al tipo de dato que se va representar con los polígonos creados, hacer click en la pestaña y seleccionar número, “decimales” corresponde a la cantidad de decimales que va a tener el dato, “unidades” esta opción permite seleccionar las unidades a representar por el dato numérico para crear el mapa de prescripción el dato importante es la dosis de aplicación que corresponderá a kg/ha para este ejemplo.

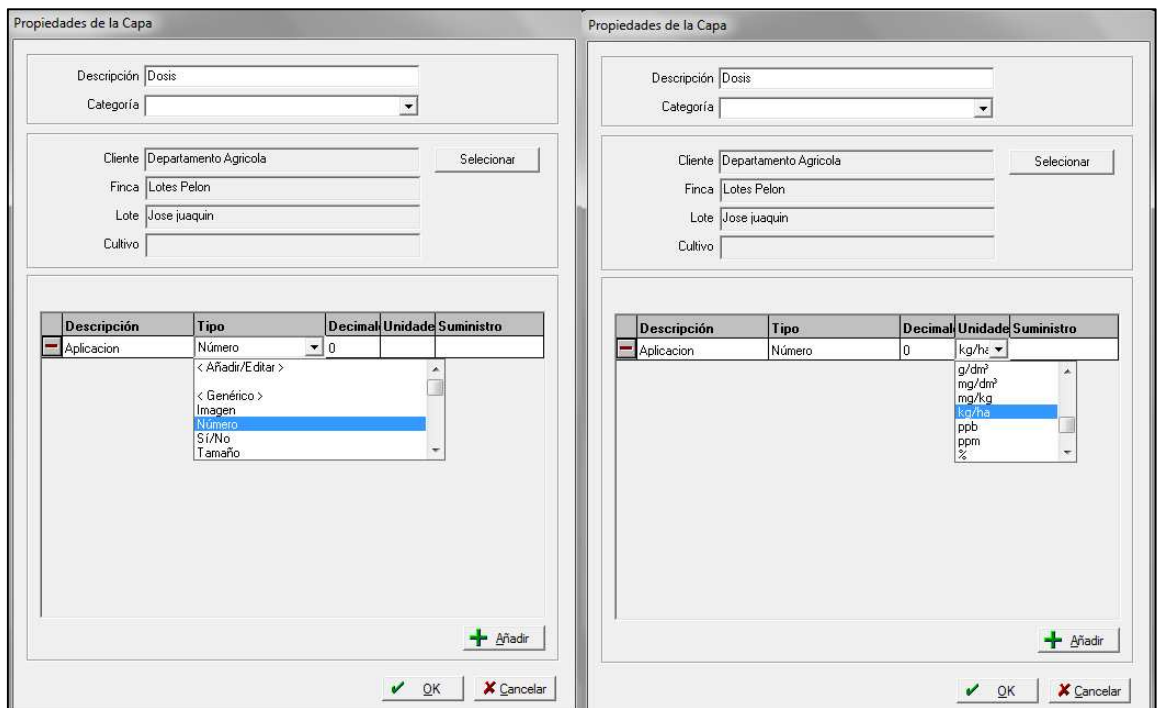


Figura A.23. Paso 25

-Hacer click en la capa “Dosis” ubicada en el menú de la parte inferior izquierda con esta se selecciona la capa que se quiere editar, luego seleccionar el icono



“Editar la capa” para comenzar a crear los polígonos

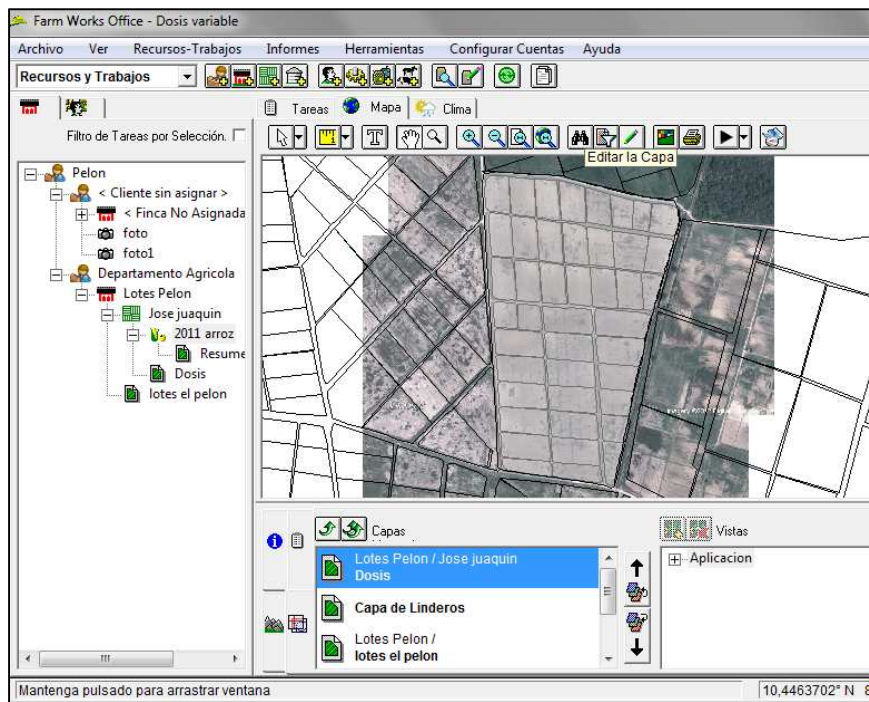



Figura A.24. Paso 26

-Seleccionar el  “herramienta de inclusión-Polígono” para crear el polígono

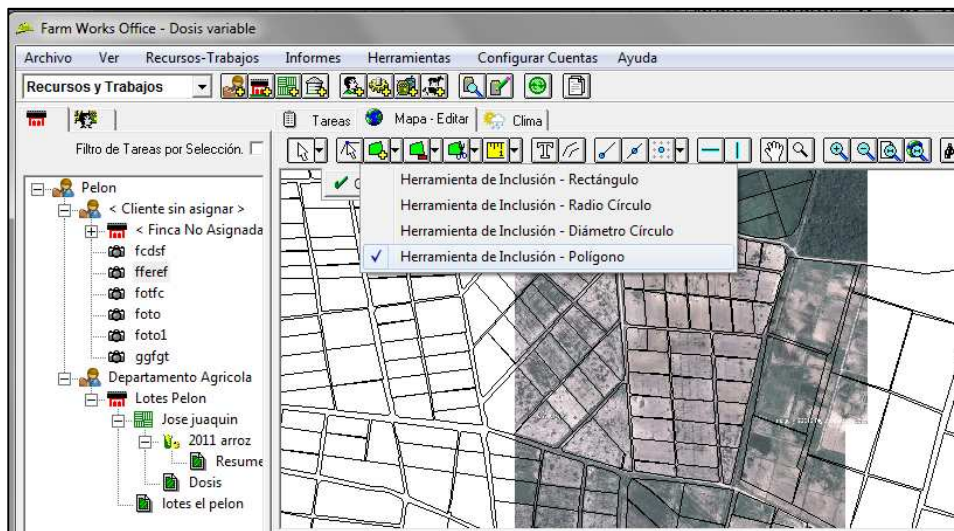


Figura A.25. Paso 27

-Hacer click en el primer punto para comenzar el polígono, continuar marcando los demás puntos para delimitarlo esto sobre los puntos tomados de campo utilizados para marcar el polígono, al llegar al último punto hacer click derecho seleccionar “final”

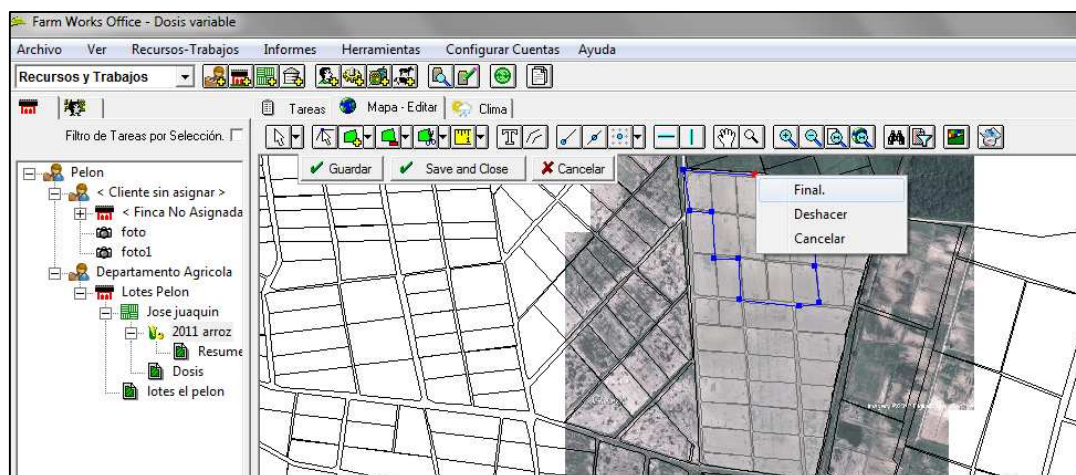


Figura A.26. Paso 28

Una vez que finaliza el polígono automáticamente se abre un cuadro de dialogo “propiedades del objeto”

-Escribir el valor correspondiente a la dosis deseada para ese polígono en este caso 180 kg/ha

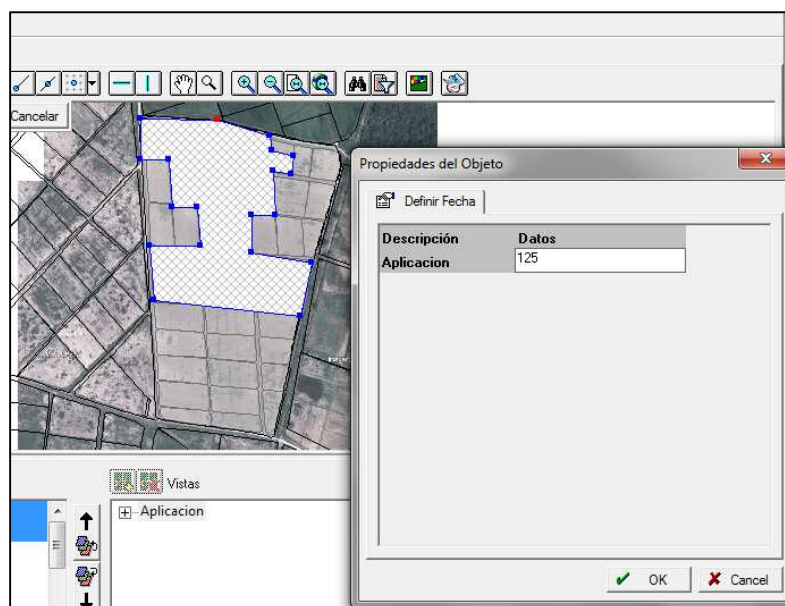



Figura A.27. Paso 29

-Repetir el mismo procedimiento para crear los demás polígonos hasta lograr obtener el mapa de aplicación deseado, al finalizar los polígonos hacer click en “Save and Close”

Como se observa en la siguiente figura se crean los polígonos y se muestra su respectiva leyenda para eso hay que hacer doble click sobre el icono  en el submenú ubicado en parte inferior de la interfaz, con esto se visualizan 3 nuevas opciones “capas”, “Vistas” y “leyenda”

-Hacer doble click sobre la capa que se acaba de crear

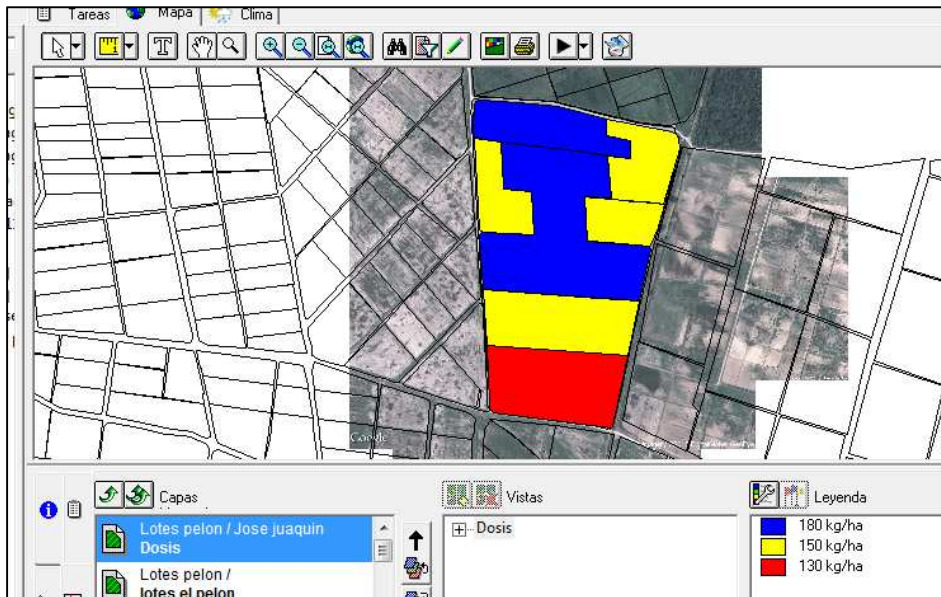



Figura A.28. Paso 30

-Seguidamente seleccionar el icono  el cual significa "Insumos" ubicado en la parte derecha de la pantalla, dado que para la creación del mapa de dosis variable por defecto el programa requiere el asignar información del personal, máquinas, equipos y suministros al lote, su ubicación en el programa se muestra en la imagen siguiente

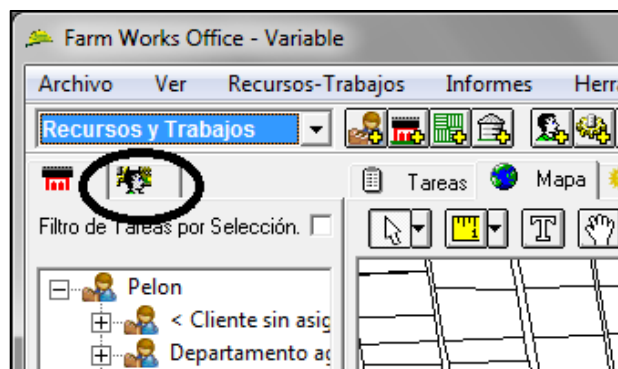


Figura A.29. Paso 31

Como se observa en la imagen posterior, una vez en el submenú “Insumos” este permite agregar la información de las maquinas a utilizar, el personal los suministros en esta caso del tractor y la voleadora

-Hacer click derecho sobre “Maquina” y agregar “Nueva Máquina”

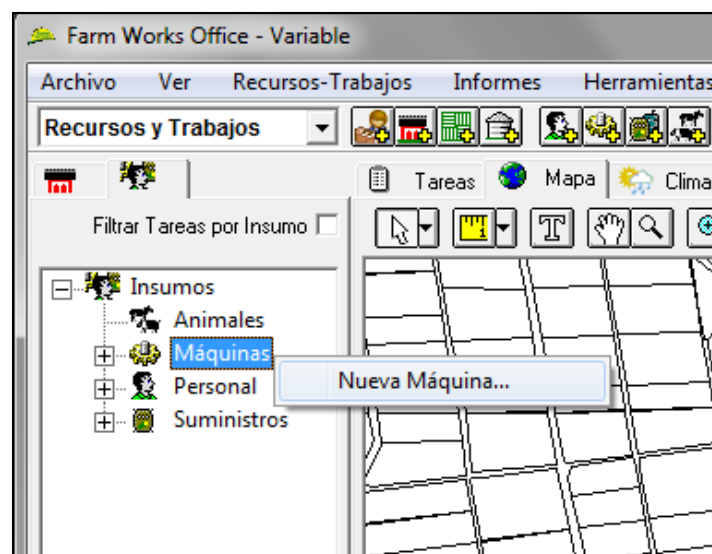


Figura A.30. Paso 32

-Llenar el cuadro de dialogo con la información necesaria

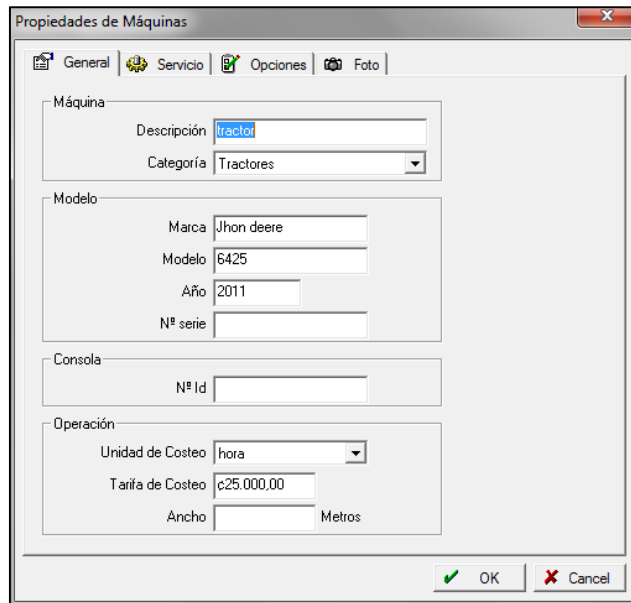


Figura A.31. Paso 33

-Agregar fotos e información adicional en caso de que sea necesario



Figura A.32. Paso 34

-Repetir el paso anterior para agregar la información de la abonadora

Propiedades de Máquinas

General Servicio Opciones Foto

Máquina

Descripción

Categoría

Modelo

Marca

Modelo

Año

Nº serie

Consola

Nº Id

Operación

Unidad de Costeo

Tarifa de Costeo

Ancho Metros

OK Cancel

Figura A.33. Paso 35

-Repetir el paso anterior nuevamente para agregar información del personal

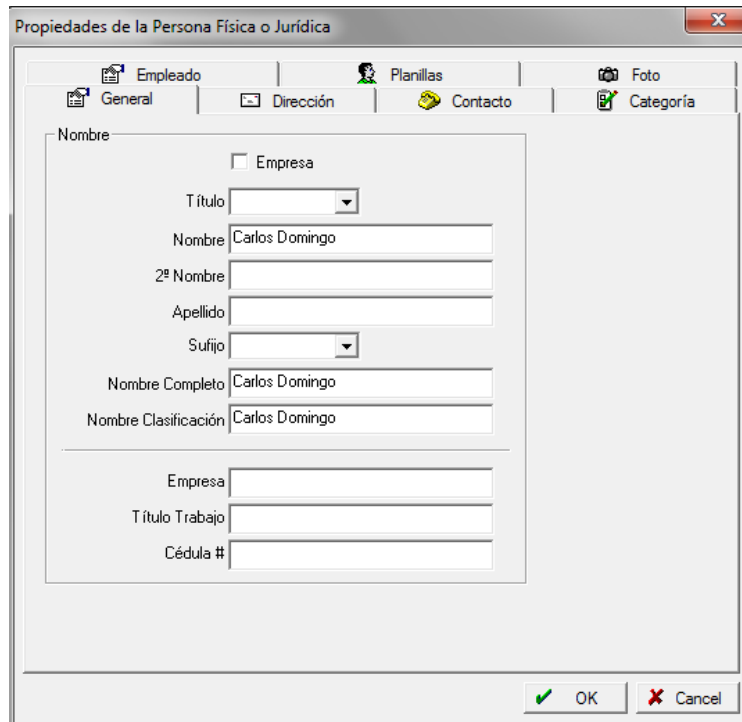


Figura A.34. Paso 36

-Hacer click derecho sobre la opción de suministros, agregar “Nuevo suministro” y en el cuadro de dialogo la información requerida para este caso fertilizante

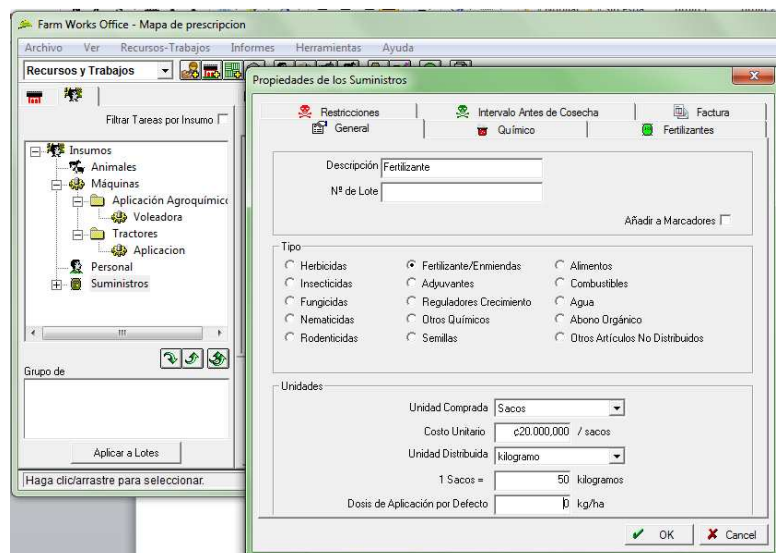


Figura A.35. Paso 37

Una vez que se tiene la información de los equipos esta se debe agregar al lote de trabajo, haciendo doble click o arrastrando el título de la información a la parte inferior del submenú en la parte izquierda de la interfaz como se observa en la siguiente imagen

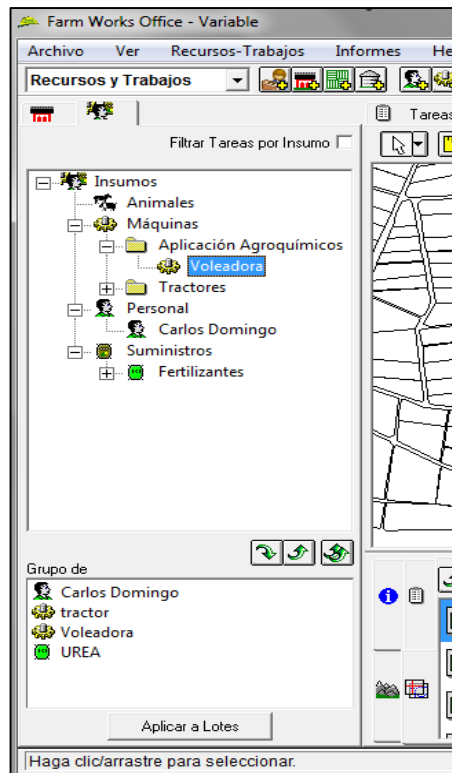


Figura A.36. Paso 38

Con la información deseada en el grupo de trabajo

-Hacer click en “Aplicar a lotes” y aparece el siguiente cuadro de dialogo, donde se debe marcar “Jose Juaquin”, lote al cual se pretende crear el mapa de prescripción, luego hacer click en “Registrar Tareas Completadas” o “Registrar a Tareas Planeadas” en este caso que solo se pretende crear el mapa de prescripción por lo que selecciona “Registrar Tareas Completas”

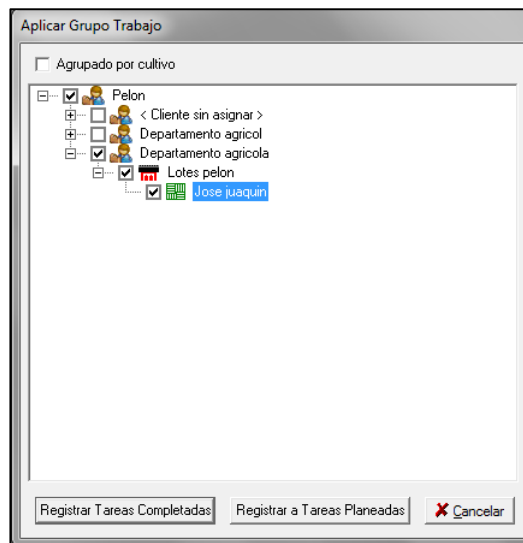


Figura A.37. Paso 39

Luego aparece el cuadro resumen con la información registrada en dicho cuadro se puede variar la información o agregar información adicional

Actividades Agrícolas

Carpeta Añadir Región

Nombre de la Tarea	Jose juaquin - Aplicaciones de
Nombre de la Región	
Nombre del Lote	Jose juaquin
Cultivos de la Empresa	2011 arroz
Tipo de tarea	Aplicaciones de Agroquímicos
Id. consola	
Área Cultivada	617.00
Fecha de Inicio	05/10/2011
Hora de Inicio	
Fecha de Finalización	05/10/2011
Hora de Finalización	
Horas de la Tarea	0.000
Operador	Carlos Domingo
Notas/Instrucciones	Anotaciones
Carlos Domingo	Borrar
Cantidad (horas)	0.000
Tarifa de la Labor (c/horas)	1.100,00
tractor	Borrar
Cantidad (hectáreas)	617.000
Tarifa de la Labor (c/hectáreas)	25.000,00
Voleadora	Borrar
Cantidad (hectáreas)	617.000
Tarifa de la Labor (c/hectáreas)	25.000,00
UREA	Borrar
Aplicación Dosis Variable	<input type="checkbox"/>
Máquina	Voleadora

OK Cancelar

Figura A.38. Paso 40

-Volver a las opciones de la parte inferior y en la opción "Vistas" hacer click derecho sobre "Dosis" para crear la aplicación simple

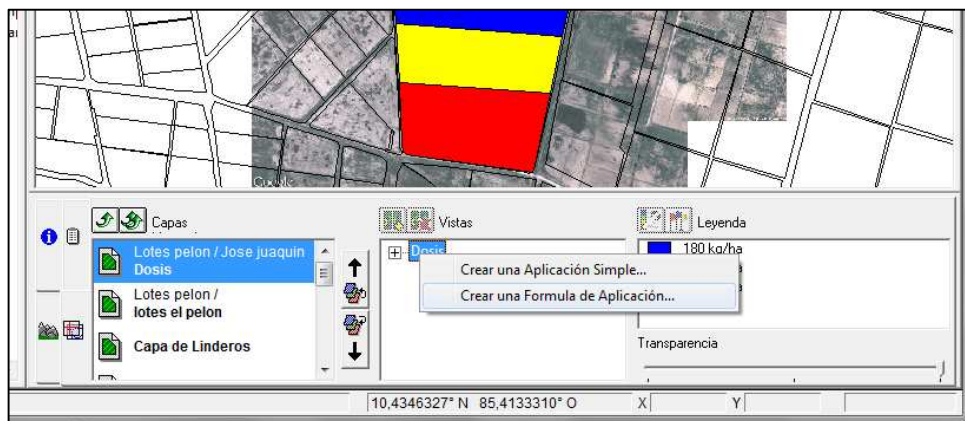


Figura A.39. Paso 41

Nuevamente aparece la información de la tarea para verificar si esta es la deseada y seleccionar "Ok"

The screenshot shows a software window titled 'Actividades Agrícolas' with a menu bar containing 'Carpeta', 'Añadir', and 'Región'. The main area displays a task summary for 'Jose juaquin - Aplicaciones de Agroquímicos'. The summary includes fields for 'Nombre de la Tarea', 'Nombre de la Región', 'Nombre del Lote', 'Cultivos de la Empresa', 'Tipo de tarea', 'Id. consola', 'Área Cultivada', 'Fecha de Inicio', 'Hora de Inicio', 'Fecha de Finalización', 'Hora de Finalización', 'Horas de la Tarea', 'Operador', and 'Notas/Instrucciones'. Below this, there are sections for 'Carlos Domingo', 'tractor', 'Voleadora', and 'UREA', each with a 'Borrar' button and associated data fields like 'Cantidad (horas)', 'Tarifa de la Labor (c/horas)', 'Cantidad (hectáreas)', and 'Aplicación Dosis Variable'. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancelar' buttons.

Nombre de la Tarea	Jose juaquin - Aplicaciones de
Nombre de la Región	
Nombre del Lote	Jose juaquin
Cultivos de la Empresa	2011 arroz
Tipo de tarea	Aplicaciones de Agroquímicos
Id. consola	
Área Cultivada	617,00
Fecha de Inicio	05/10/2011
Hora de Inicio	
Fecha de Finalización	05/10/2011
Hora de Finalización	
Horas de la Tarea	0,000
Operador	Carlos Domingo
Notas/Instrucciones	Anotaciones
Carlos Domingo	Borrar
Cantidad (horas)	0,000
Tarifa de la Labor (c/horas)	1.100,00
tractor	Borrar
Cantidad (hectáreas)	617,000
Tarifa de la Labor (c/hectáreas)	25.000,00
Voleadora	Borrar
Cantidad (hectáreas)	617,000
Tarifa de la Labor (c/hectáreas)	25.000,00
UREA	Borrar
Aplicación Dosis Variable	<input type="checkbox"/>
Máquina	Voleadora

Figura A.40. Paso 42

Como se observa en la imagen siguiente en la parte izquierda de la interfaz aparece el resumen de la aplicación de dosis variable a crear,

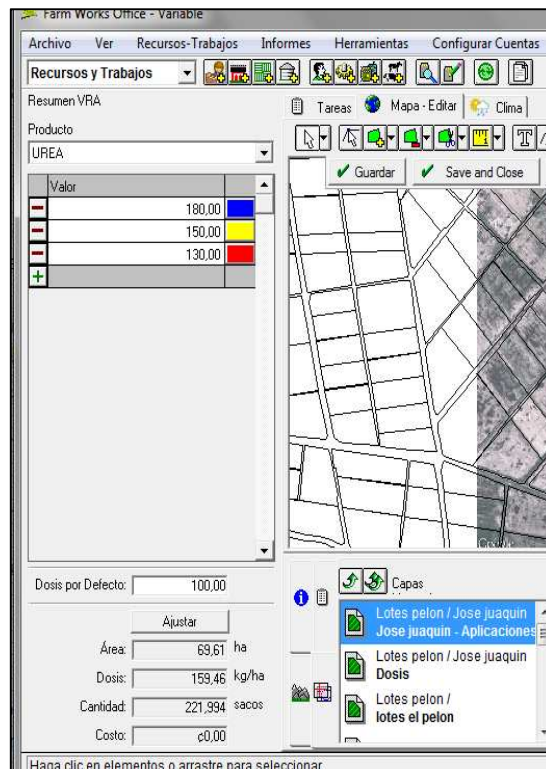


Figura A.41. Paso 43

En el submenú de la parte anterior se observan los valores de la dosis a aplicar, en este momento si es necesario se puede modificar dichos valores como se muestra en la siguiente imagen, por ultimo seleccione "Save an Close"

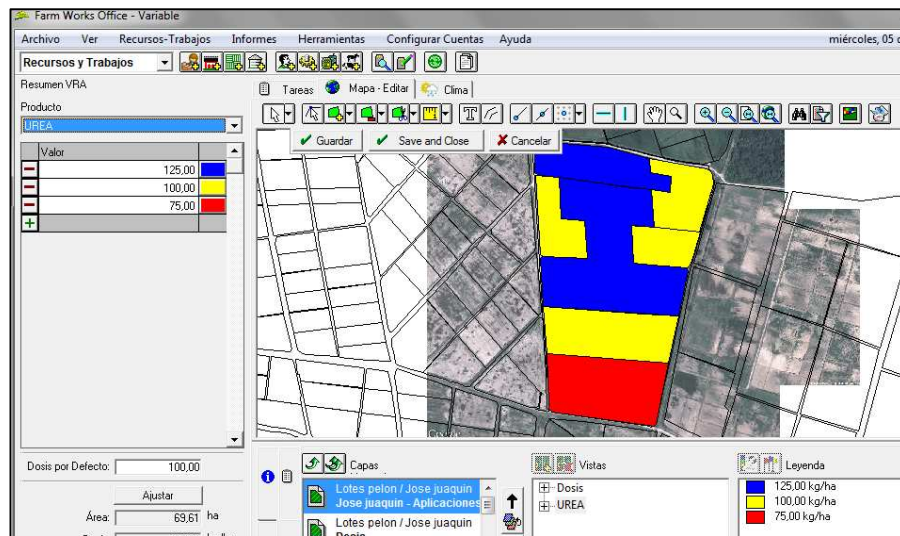


Figura A.42. Paso 44



-Hacer click en el icono  "Tareas", con esto se observa la información de las tareas o trabajos a realizar



Figura A.43. Paso45

-Marcar la tarea deseada, para esto haga click sobre el cuadro en blanco y el icono cambiara a  como se muestra en la imagen siguiente

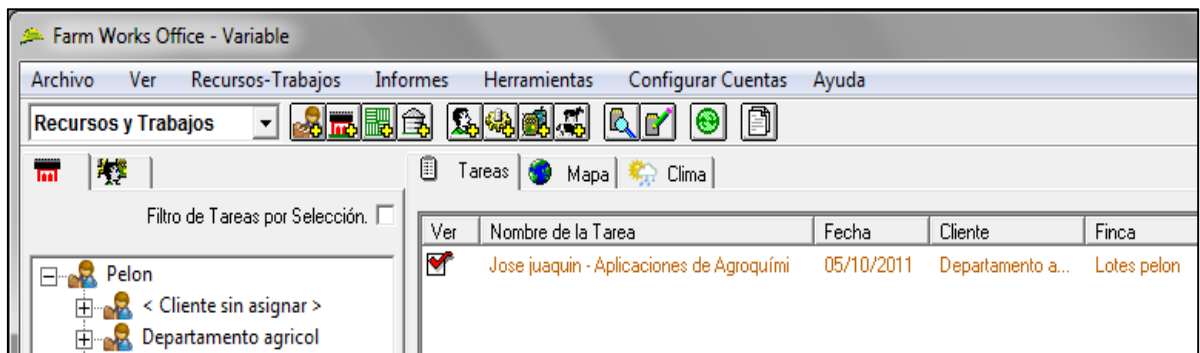



Figura A.44. Paso 46

-Hacer click derecho sobre la tarea que tiene el símbolo  y seleccionar la opción exportar archivo

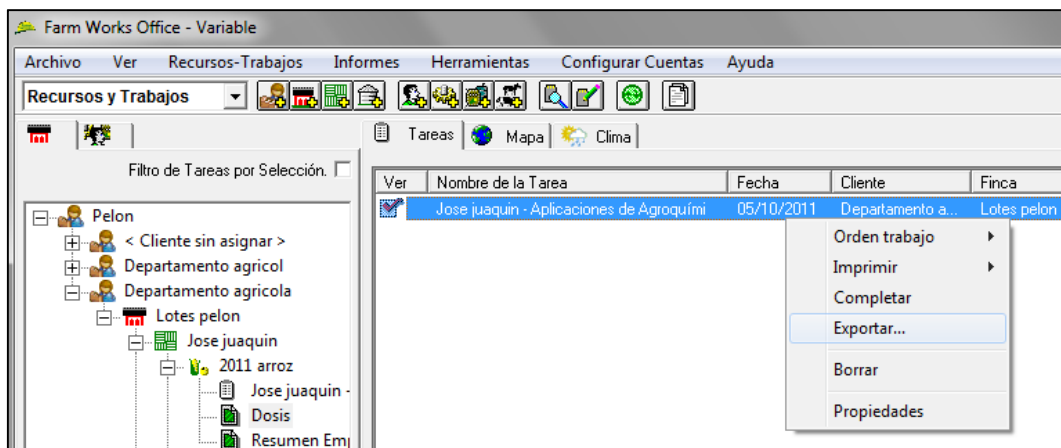


Figura A.45. Paso 47

-Exportar a Disco local C:/documents/datos/Shp, carpeta creada al inicio para guardar toda la información del trabajo en cuanto a archivos para importar y exportar, cambiar el nombre o mantener el creado por el programa y guardar como tipo archivo Arcview Shape (*.shp) el cual es el formato utilizado por el EZ-Guide 500 de trimble

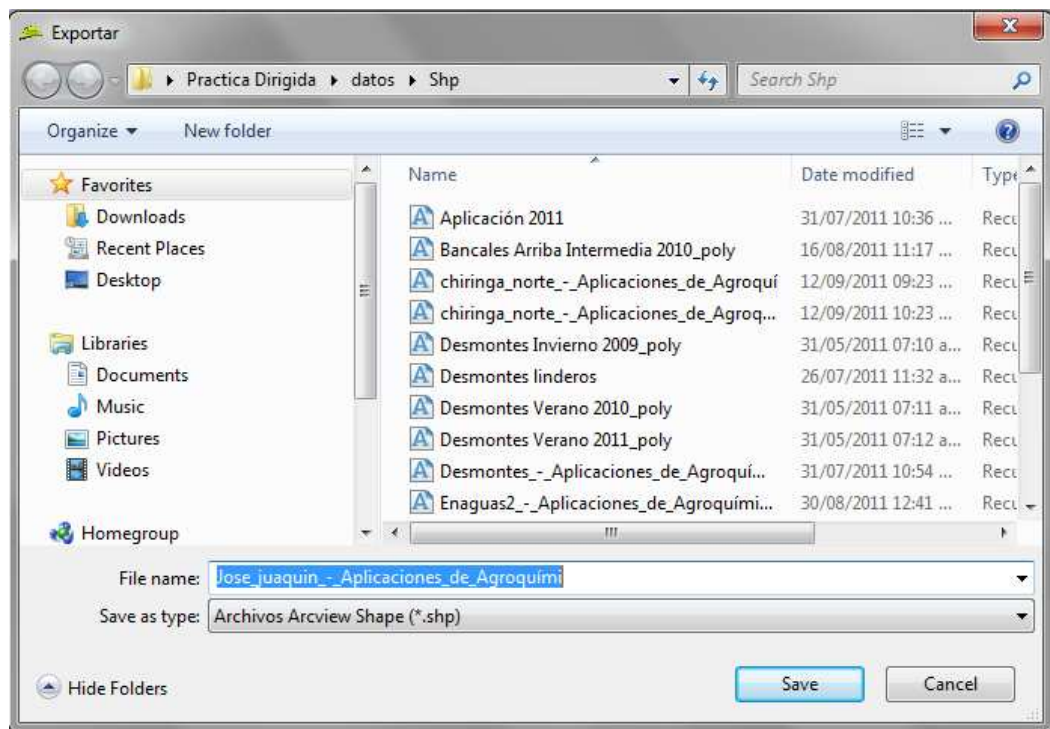


Figura A.46. Paso 48

El programa automáticamente va creando un archivo de respaldo el cual se deba actualizar cuando desea salir del programa, el archivo creado es de tipo zip, seleccionar el nombre con que se desea guardar el cual por defecto se guarda en la ubicación C:/farmproj/backup

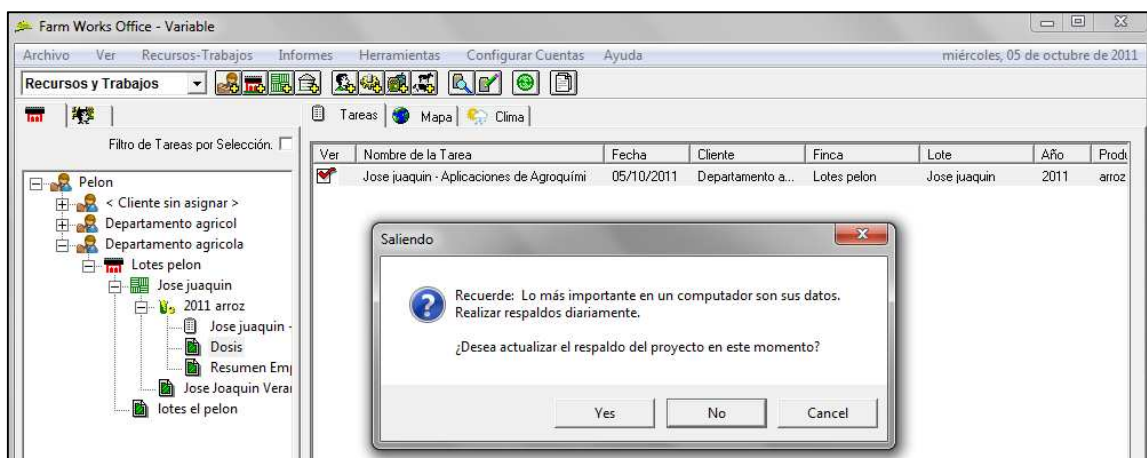


Figura A.47. Paso 49

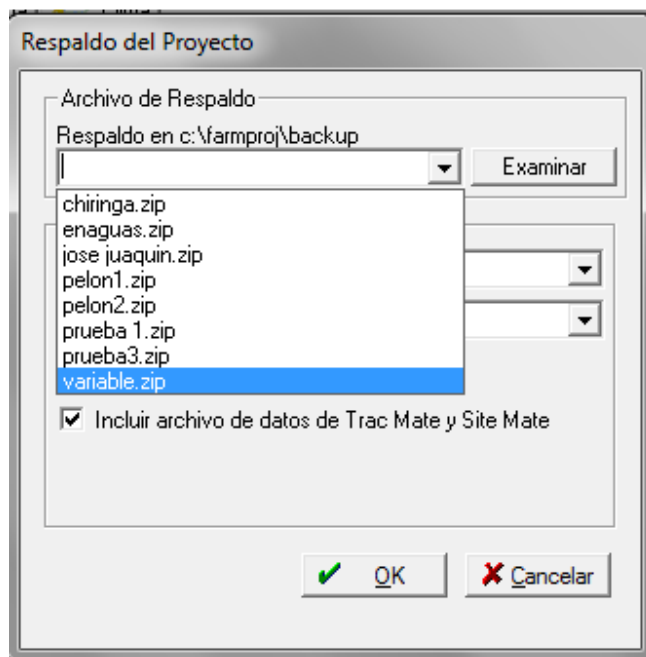



Figura A.48. Paso 50

Una vez realizado los pasos anteriores el mapa de aplicación con formato *.shp se encuentra listo para ser copiado en un dispositivo de almacenamiento USB y ser cargado en el EZ-Guide

Con el Farm Works se puede crear un archivo de la tarea en este caso la aplicación de fertilizante el cual contiene la información del lote, el operador, la

voleadora, el abono y demás información que permite manejar en el software la cual una vez terminada la aplicación, se vuelve a importar al Farm Works lo cual va a permitir realizar un posterior análisis de la información

Para crear la tarea seleccionar el icono  “Escribir datos de tarea”

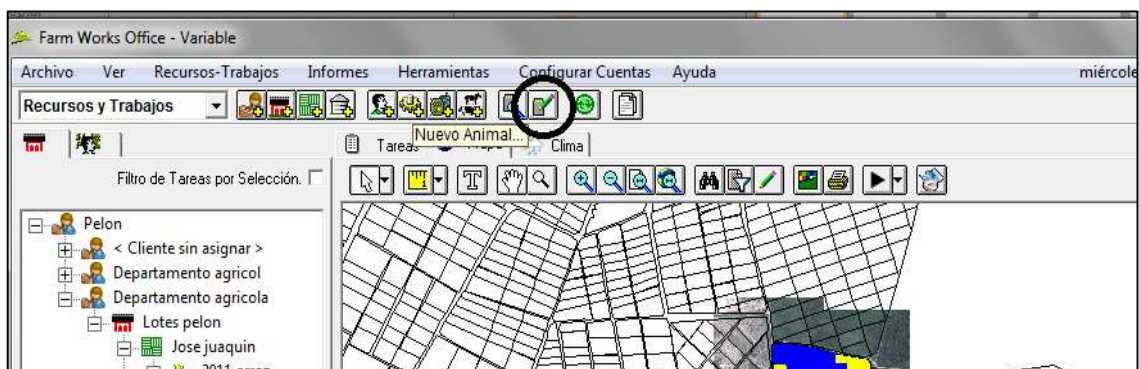


Figura A.49. Paso 51

-Seleccionar el dispositivo al cual se importara el archivo en este caso el EZ-Guide 500

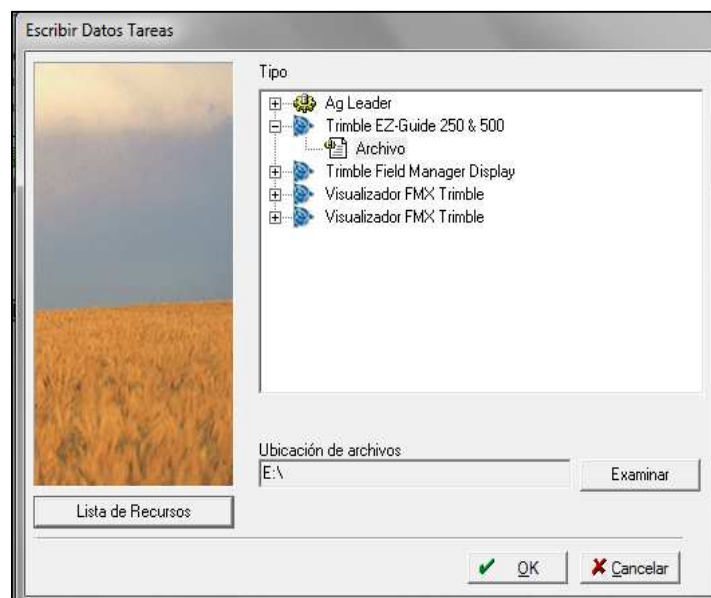


Figura A.50. Paso 52

Para cargar la información deseada

-Presionar la opción “Lista de Recursos”, en dicha opción se muestran 2 posibilidades de información “Fincas/Lotes” y “Propiedades”

-Seleccionar el lote en el cual se va a realizar la tarea de la opción “Fincas/Lotes”

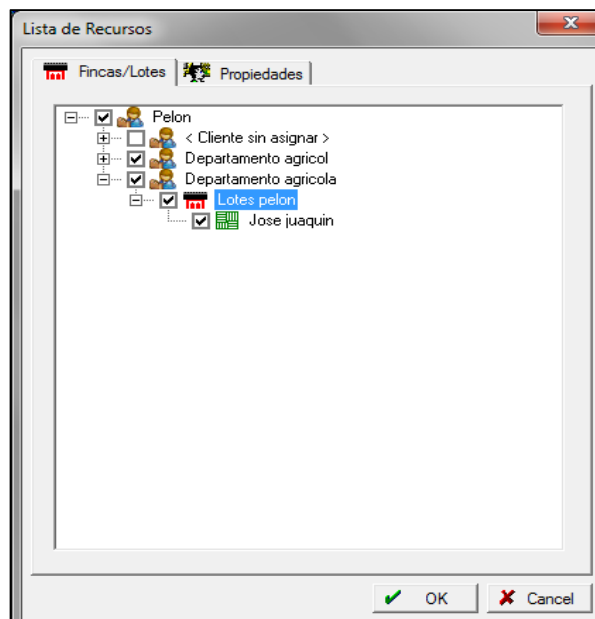


Figura A.51. Paso 53

-Seleccionar los equipos e insumos a utilizar en la tarea

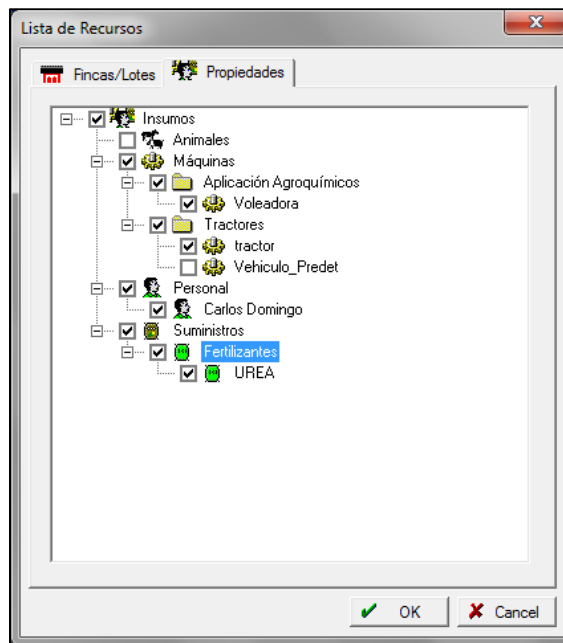


Figura A.52. Paso 54

Una vez seleccionada toda la información se procede a guardar el archivo ya sea en la computadora para luego ser copiado y pegado en el dispositivo USB o directamente en este

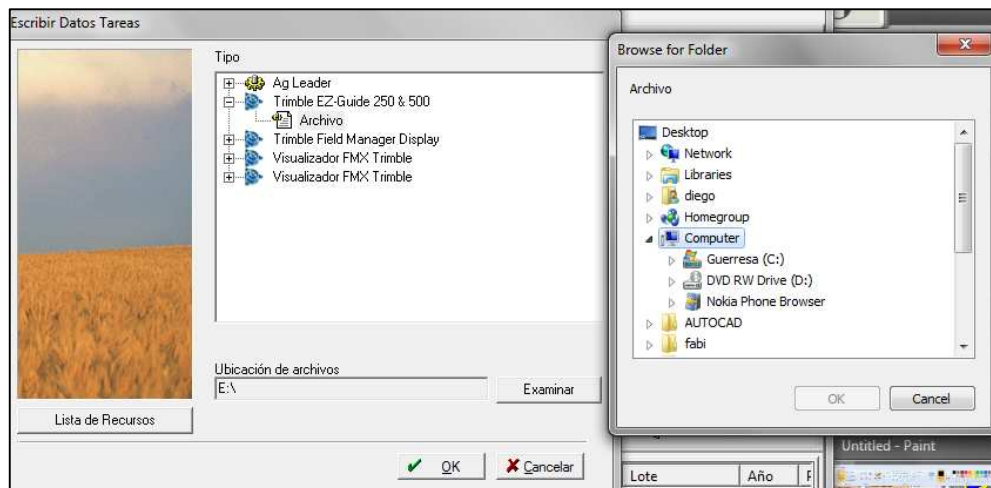


Figura A.53. Paso 55 y 56

El archivo generado es de tipo *.cfg y el nombre de este se guarda por defecto como se observa en la siguiente imagen

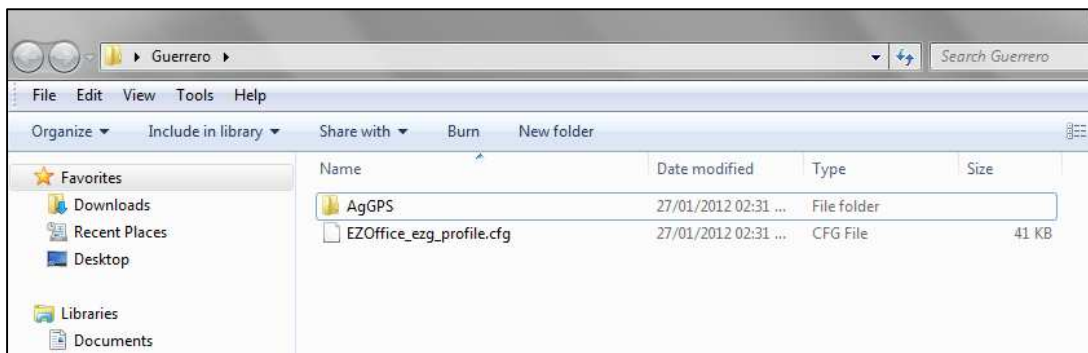


Figura A.54. Paso 57



Una vez concluida la tarea y que se han enviado los registros del EZ-Guide a la unidad USB esta se conecta en la computadora y desde el Farm Works utilizando el icono  se procede a leer o descargar los datos de la tarea



Figura A.55. Paso 58

-Seleccionar la tarea deseada, si esta ya fue realizada se muestra automáticamente el símbolo  como se observa en la imagen siguiente

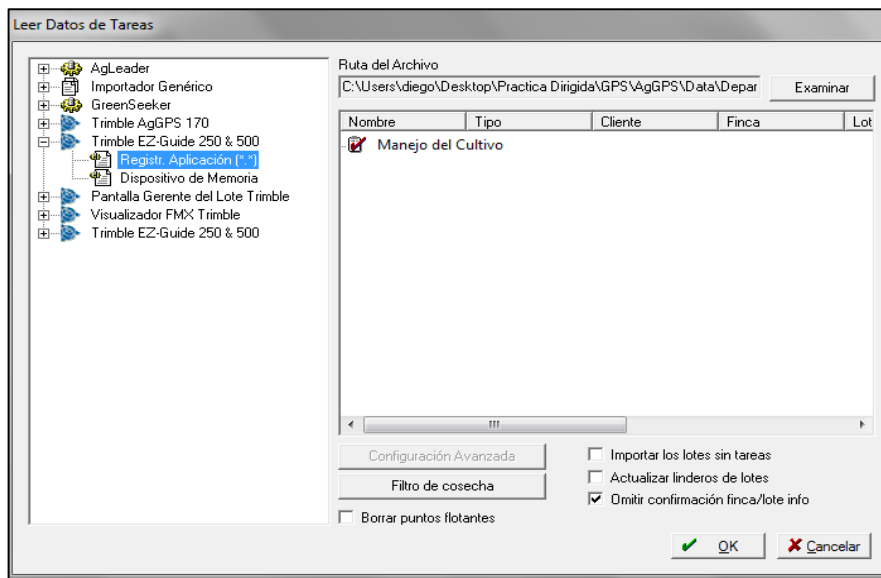


Figura A.56. Paso 59

Como se observa en la siguiente imagen en la parte izquierda aparece nuevamente la tarea realizada que en caso de ejemplo fue llamada “Manejo del Cultivo” una vez que ha sido cargada según el paso anterior

-Haciendo click derecho sobre esta se abre un submenú y se selecciona “Propiedades de tarea”

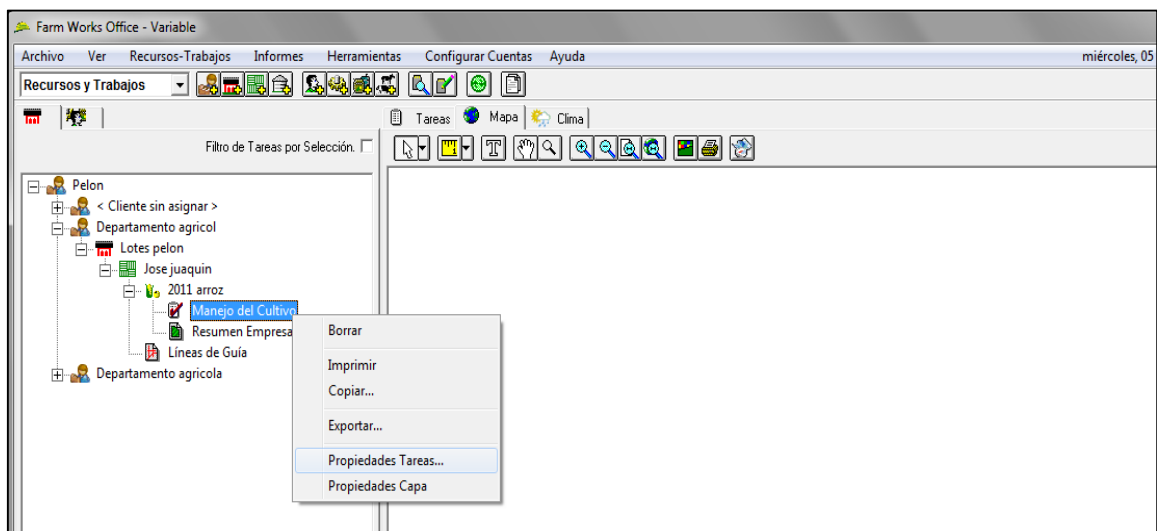


Figura A.57. Paso 60

Como principal diferencia respecto a las tareas planeadas o sin realizar se tiene el color de fondo en la tabla pasando de un color rojizo al color gris

Además de la información inicial se actualiza en aspectos como la hora y fecha de inicio y final de la labor, las hectáreas aplicas así como la cantidad estimada de fertilizante que se aplicó y en caso de que se lleve información de costos estos se actualizarían

Actividades Agrícolas

Carpeta Añadir Región

Nombre de la Tarea	Manejo del Cultivo
Nombre de la Región	
Seleccionar Tarea	<input type="checkbox"/>
Nombre del Lote	Jose juaquin
Cultivos de la Empresa	2011 arroz
Tipo de tarea	
Id. consola	
Área Cultivada	35.82
Fecha de Inicio	16/09/2011
Hora de Inicio	2:30 PM
Fecha de Finalización	17/09/2011
Hora de Finalización	9:56 AM
Horas de la Tarea	1,402
Operador	Carlos Domingo
Notas/Instrucciones	Anotaciones
Carlos Domingo	Borrar
Cantidad (horas)	1,402
Vehiculo_Predet	Borrar
Cantidad (horas)	1,402
UREA	Borrar
Máquina	Vehiculo_Predet
Área Aplicada	34.84
Dosis Planeada (kg/ha)	100.00
Dosis Actual (kg/ha)	110.90
Cantidad Usada (sacos)	77,279
Información del Lote	

OK Cancelar

Figura A.58. Paso 61

-Para ver las capas de información generada seleccionar en la pestaña de tareas la llamada "Manejo del cultivo" marcando el cuadro realizando sobre doble click sobre esta como se realizó anteriormente en el caso de las tareas planeadas

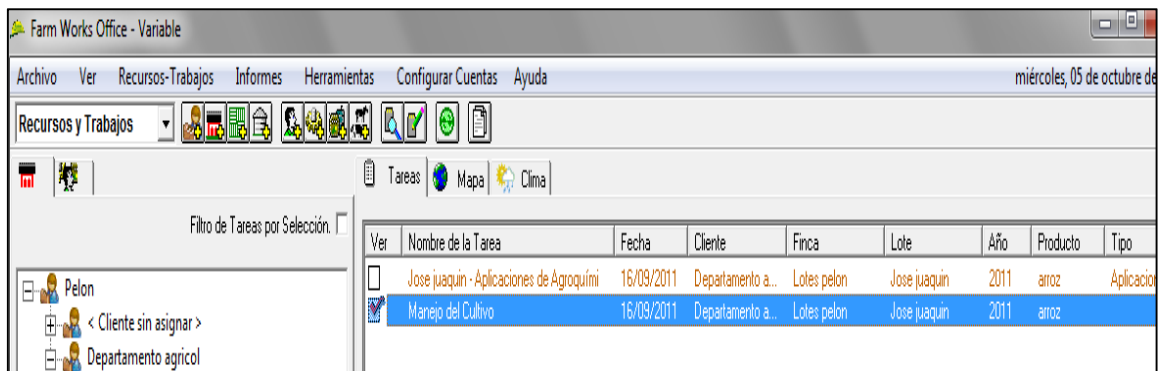


Figura A.59. Paso 62

-Seguidamente presionar la pestaña mapa en la cual se muestran las capas de información generada

-La información que se puede observar en cada una de las vistas son la "Calidad GPS", "Dosis de Fertilizante", "elevación" y "velocidad", cada una de ellas con su respectiva leyenda para identificar los rangos de valores y demás información

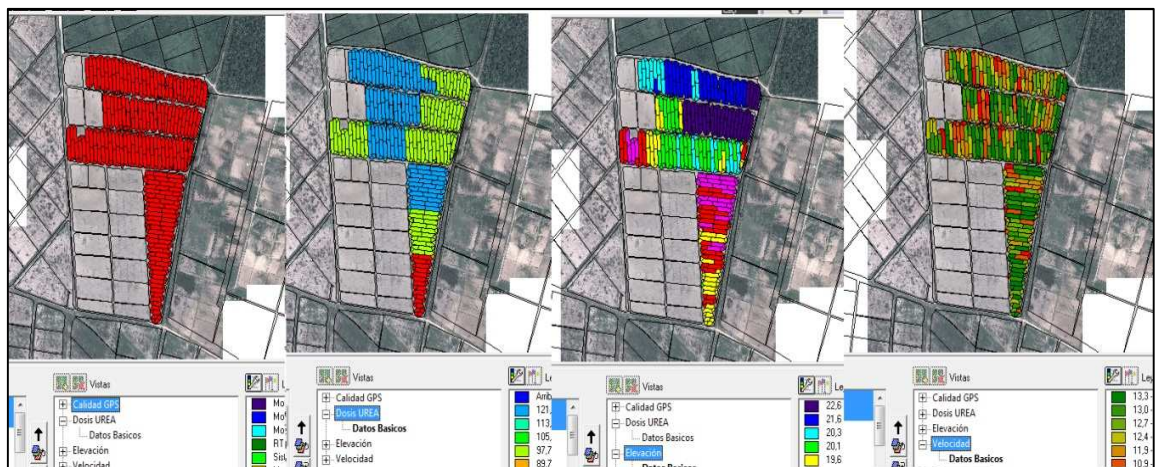


Figura A.60. Paso 63

Voleadora y controlador

Antes de iniciar a trabajar con el equipo lo primero es conocer las distintas medidas de seguridad mínimas para trabajar de manera segura con la abonadora, entre ellas se tiene los aspectos que se muestran a continuación, sin embargo se recomienda leer el manual de usuario de esta.

- No transportar pasajeros
- No utilizar ropa floja o accesorios que puedan engancharse en alguna de las partes móviles del equipo ya sea discos o eje cardan
- Verificar que se encuentran y que funcionen todos los dispositivos de protección
- Verificar que todos los dispositivos de fijación de las distintas partes móviles se encuentren en buen estado y con su adecuado ajuste
- Nunca revise o suba a la abonadora si esta se encuentra en funcionamiento
- Utilizar siempre la rejilla de protección en las tolvas
- En caso de mantenimiento o reparación asegurarse de que el tractor se encuentre apagado y que no exista la posibilidad de que este arranque por lo que se recomienda quitar la llave

Una vez que se tiene claro las medidas de seguridad se llevan a cabo los siguientes pasos.

-Acoplar la abonadora a los tres puntos del tractor

-Verificar que el eje cardan se encuentre debidamente acoplado

-Verificar que el valor seleccionado en las correderas de dosificación este ajustado en su valor máximo como se observa en la figura X



Figura A.61. Paso 64

- Verificar que los discos estén sean los adecuados según sea el tipo de fertilizante y el ancho de trabajo y la dosis deseada, esto a partir de la guía de ajuste previo dada por el fabricante
- Mover la corredera del punto de extracción al punto recomendado en la guía de ajuste previo dada por el fabricante según sea el tipo de fertilizante, el ancho de trabajo y la dosis deseada
- Fijar el controlador (Quantron E) al tractor de manera segura y que quede accesible al operador
- Realizar la conexión de los cables de alimentación para el controlador a la batería
- Verificar el estado del fusible
- Conectar el cable de la voleadora al controlador
- Presionar el botón de encendido en el Quantron E
- Ingresa al menú principal



Figura A.62. Paso 65

- Seleccione la opción "System / test"
- Del sub menú desplegado ingrese a "Languages" y luego seleccione "español"
- Regrese al sub menú "System / test"
- Seleccione la opción "transmisión de datos" y luego escoja el formato "LH 5000", dicho formato va a permitir la conexión con el EZ-Guide 500
- Regrese al menú principal
- Seleccione "Configuración de fertilizante" e ingrese uno a uno la información solicitada entre ella se tiene el tipo de disco utilizado, velocidad de la toma de fuerza, el valor del punto de extracción, nombre del fertilizante su composición y fabricante, ancho de trabajo, altura de acoplamiento entre otros
- Regrese al menú principal
- Seleccione la opción "Configuración de la maquina"
- Del submenú desplegado ingrese a la opción "tractor (km/h)"
- Ingrese a la opción "Nueva calibración"

-Una vez dentro del submenú “Nueva calibración” seleccione la opción “impulsos de radar” con lo cual el controlador tomara la señal de velocidad del GPS y no del sensor de rueda como viene por defecto si lo considera necesario ingrese el nombre del tractor y demás información solicitada

-Regrese al submenú “Configuración de la maquina”

-Ingrese a la opción “AUTO / MODO” y seleccione “auto km/h + auto kg/ha” con lo cual la calibración en la apertura de las correderas de dosificación será de manera automática y dependerá de la velocidad de avance y los kg de fertilizante y el ancho de trabajo

Realizando todos los pasos anteriores la voleadora y el controlador quedan listos para iniciar la operación en el campo una vez realizada la conexión con el EZ-Guide 500

EZ-Guide 500

-Fijar el EZ-Guide 500 al tractor de manera segura y que quede accesible al operador

-Realizar la conexión de los cables de alimentación a la batería

-Verificar el estado del fusible

-Colocar la antena receptora GPS en el tractor

-Conectar la antena al EZ-Guide 500

-Encender el EZ-Guide 500

-Ingresar al menú principal

-Seleccionar “Configuraciones”

-Del sub menú desplegado seleccione “Sistema”

-Dentro de la opción “Sistema” seleccione “Salida de Radar”



Figura A.63. Paso 66

-Una vez en el sub menú “Salida de Radar” habilitarlo y modificar la frecuencia de salida a 58,94 Hz/mph

-Regresar al menu principal

-Seleccionar la opcion“Controladores”

-Dentro del sub menu seleccione la opcion LH 5000 el cual es el formato para la transferencia de datos utilizado por la voleadora

-Realizados los ajustes anteriores el EZ-500 se encuentra listo para entrar en comunicación con el Controlador de la Abonadora (Quantro E)

-Conectar el cable de comunicación entre el EZ-Guide 500 y el Quantron E

-Si la conexión es realizada con éxito en la pantalla se verán nuevos iconos como se muestra en la imagen siguiente

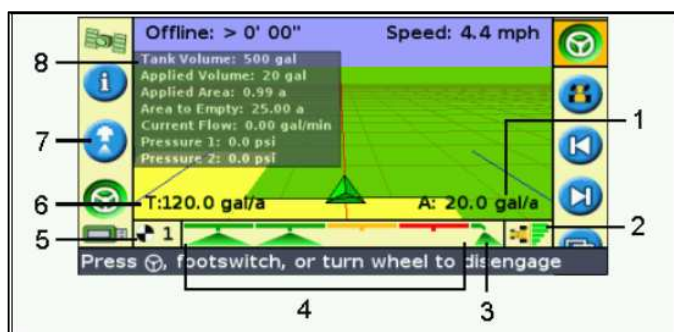


Figura A.64. Paso 67

-Para cargar la prescripción creada con anterioridad en el Farm Works insertar la unidad USB en el EZ-Guide 500 en el caso de que esta este nueva y no cuenta con la carpeta “AgGPS”

-Insertar la unidad USB en el EZ-Guide 500 esperar a que este la reconosca y presente en pantalla que el dispositivo USB esta listo para usarse, una vez que esto sucede automaticamente se crea la caperta “AgGPS” con sus respectivos directorios en la USB

-Apagar el EZ-Guide 500 y retirar la unidad USB

-Insertar la unidad USB en la computadora

-Copiar y pegar los tres archivos Shapefile (.shp, .dbf, .shx) en la carpeta \AgGPS\Prescripciones\ de la unidad USB, dado que el sistema EZ-Guide 500 sólo detectará los archivos de prescripción ubicados en la carpeta Prescripciones en la unidad USB

-Copiar y pegar el archivo de la tarea generado en al Farm Works en la unidad USB, dicho archivo no hace falta guardarlo en ninguna carpeta especifica dentro del Directorio “AgGPS”

-Insertar la unidad USB en el EZ-Guide 500, encenderlo y esperar hasta que en pantalla se muestre que el dispositivo está listo para usarse

-Ingresar y dentro del menú “Configuraciones” y el submenú “\Administración de Datos\Administrador de prescripciones\ esta la opción “Cargar Prescripciones de USB”



Figura A.65. Paso 68

-Una vez que la prescripción ha sido importada en la barra de luces EZ–Guide 500 podrá cargarse para su visualización

-Ademas de cargar el mapa de prescripción de debe importar al EZ-Guide 500 la información de la tarea generada previamente en el Farm Works, estos datos de la tarea corresponden a una nueva configuración del Sistema

-Ingresar al menu principal Configuración/administración de Datos/Grabar/Cargar Configuraciones/Cagar una configuración

-Seleccionar de la lista de configuraciones disponibles la creada en el Farm Works, una vez cargada la nueva configuracion se tendran todos los datos de la tarea planeada precargados para seleccionarlos conforme se avanza en el “Asistente de Nuevo Lote”

-Dicho asistente inicia solicitando si se quiere crear un nuevo lote, buscar un lote o seleccionarlo en el caso de que se encuentre alguno cargado previamente como es el caso haber cambiado la configuracion

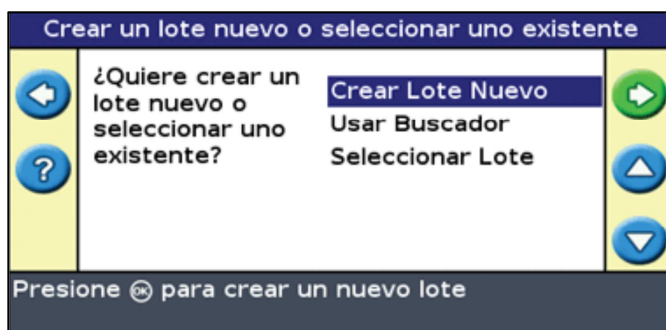


Figura A.66. Paso 69

-Las prescripciones son cargadas como parte del “Asistente de Nuevo Lote”

-Después de definir (o seleccionar) el lote, aparece la pantalla la lista de prescripciones disponibles seleccionar la prescripción deseada

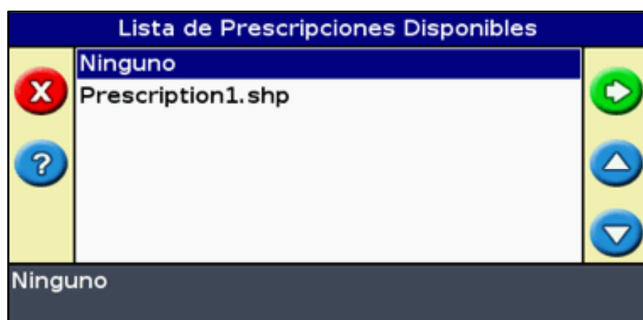


Figura A.67. Paso 70

-Posteriormente de haber seleccionado la prescripción aparece en pantalla los parametros de esta, se debe seleccionar en la “Columna de Dosis” el nombre del atributo definido a la hora de la creación del mapa de prescripción con los valores de la dosis, las “unidades de Dosis” a aplicar para el caso de la voleadora seran kg/ha, el “Factor de Escala” y la “Dosis Fuera de Prescripción” se puede modificar según sea la aplicación deseada

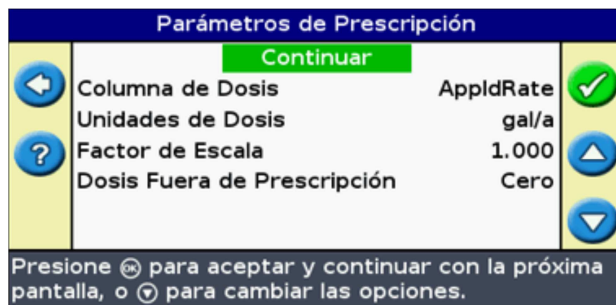


Figura A.68. Paso 71

-Una vez cargada la prescripción de manera adecuada se continua con el “Asistente” en la configuración del EZ-Guide 500

-Seguidamente se debe seleccionar el “Tipo de Patrón” a utilizar usualmente se utiliza “AB Recta”

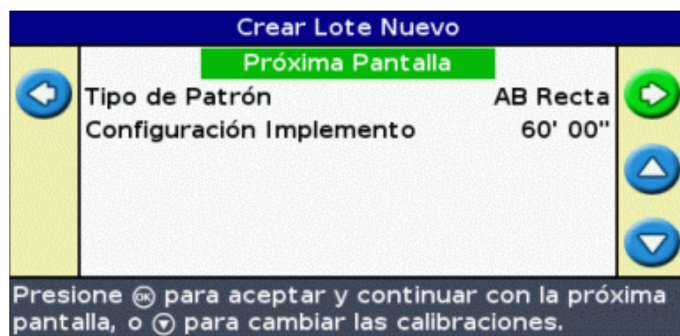


Figura A.69. Paso 72

-Configurar el implemento donde se indica el ancho del implemento dicho valor debera coincidir con el ajuste realizado en la voleadora y el controlador, el traslape o superposición permitido y tipo de enganche entre otros factores

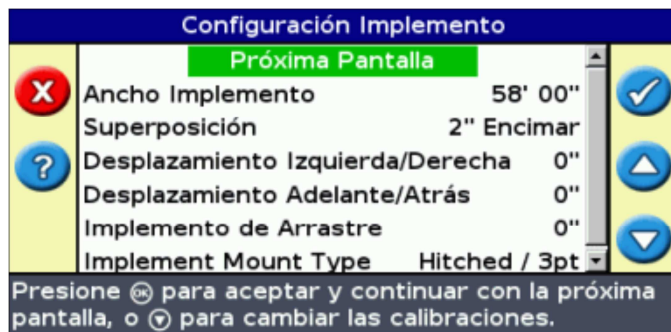


Figura A.70. Paso 73

-En la proxima ventana el "Asistente" solicita la informacion el nombre del cliente, del establecimiento, del lote y el evento, para ingresar dicha información si no se importan los datos de la tarea es muy lento y tedioso el escribir la información solicitada de manera manual por lo que muy pocas veces el operador lo realiza, al haber cargado la nueva configuración dicha información unicamente hay que seleccionarla

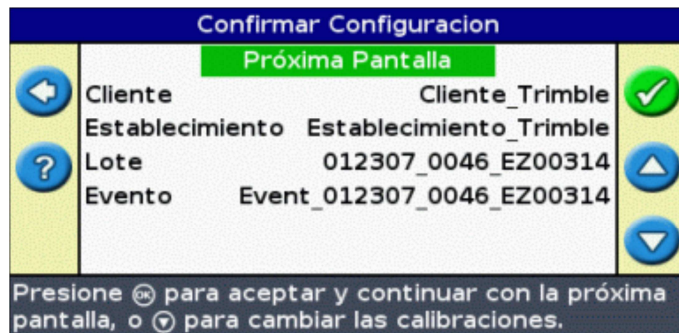


Figura A.71. Paso 74

-Seguidamente es solicitada mas información general de la tarea a realizar

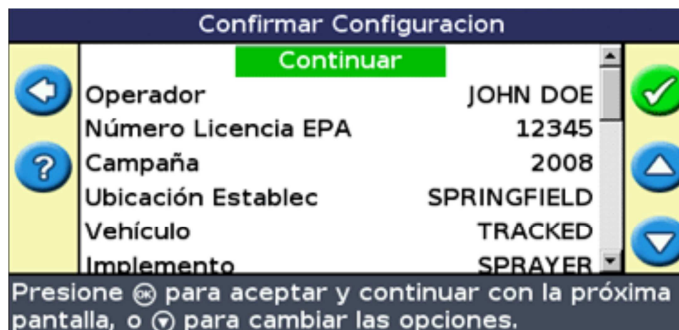


Figura A.72. Paso 75

Anexo 2. Datos tomados del campo

Cuadro A.1. Pesos tomados en campo prueba pasada doble 200 kg/ha

		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
	Colector	Distancia al centro (m)	Peso (g)		
	Medición 1	1	-10	0,91	0,88
2		-8	0,93	0,87	0,92
3		-6	0,88	0,92	0,88
4		-4	0,49	0,93	0,97
5		-2	0,96	1,04	0,83
6		0	0,94	1,00	1,06
7		2	0,99	0,91	0,96
8		4	0,96	1,07	0,92
9		6	0,89	0,20	1,04
10		8	1,06	0,81	0,46
11		10	0,85	0,80	0,83
Medición 2	1	0	0,80	0,78	0,79
	2	2	0,78	0,81	0,77
	3	4	0,93	0,00	0,21
	4	6	0,18	0,81	0,93
	5	8	0,89	0,97	0,95
	6	10	0,94	0,93	0,97
	7	8	1,29	0,99	0,99
	8	6	1,05	0,88	0,80
	9	4	0,61	0,77	1,09
	10	2	0,83	0,89	0,79
	11	0	0,89	0,75	0,78

Cuadro A2. Pesos tomados en campo prueba pasada simple 150 kg/ha

Colector	Distancia al centro (m)	Medicion 1		Medicion 2		Medicion 3		Medicion 4	
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2
		peso (g)		peso (g)		peso (g)		peso (g)	
1	-20	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	-16	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-14	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	-12	0,23	0,19	0,22	0,19	0,22	0,33	0,39	0,45
6	-10	0,38	0,44	0,32	0,57	0,29	0,38	0,39	0,32
7	-8	0,25	0,53	0,21	0,35	0,60	0,27	0,42	0,55
8	-6	0,57	0,52	0,59	0,48	0,43	0,58	0,64	0,60
9	-4	0,38	0,61	0,56	0,54	0,54	0,51	0,19	0,62
10	-2	0,61	0,57	0,26	0,58	0,56	0,38	0,64	0,46
11	0	0,00	0,60	0,61	0,34	0,58	0,60	0,65	0,61
12	2	0,63	0,58	0,57	0,56	0,47	0,62	0,56	0,65
13	4	0,60	0,27	0,59	0,57	0,60	0,21	0,63	0,00
14	6	0,54	0,63	0,55	0,62	0,57	0,61	0,64	0,50
15	8	0,55	0,59	0,43	0,19	0,59	0,25	0,31	0,49
16	10	0,44	0,38	0,19	0,34	0,43	0,38	0,42	0,56
17	12	0,27	0,26	0,21	0,22	0,26	0,45	0,23	0,28
18	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	16	0,00	0,00	0,20	0,00	0,12	0,00	0,19	0,00
20	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cuadro A3. Pesos tomados en campo prueba 1 pasada doble 150 kg/ha

		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
	Colector	Distancia al centro (m)	Peso (g)		
	Medición 1	1	-10	0,54	0,52
2		-8	0,58	0,53	0,61
3		-6	0,23	0,61	0,53
4		-4	0,61	0,57	0,62
5		-2	0,66	0,68	0,64
6		0	0,68	0,69	0,49
7		2	0,48	0,67	0,68
8		4	0,61	0,57	0,62
9		6	0,64	0,61	0,55
10		8	0,61	0,59	0,60
11		10	0,57	0,55	0,56
Medición 2	1	0	0,57	0,53	0,52
	2	2	0,65	0,56	0,60
	3	4	0,59	0,54	0,49
	4	6	0,66	0,62	0,61
	5	8	0,72	0,65	0,67
	6	10	0,68	0,64	0,69
	7	8	0,67	0,70	0,70
	8	6	0,22	0,34	0,64
	9	4	0,66	0,64	0,60
	10	2	0,70	0,72	0,67
	11	0	0,55	0,64	0,61

Cuadro A4. Pesos tomados en campo prueba 2 pasada doble 150 kg/ha

		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
	Colector	Distancia al centro (m)	Peso (g)		
	Medición 1	1	-10	0,00	0,48
2		-8	0,43	0,55	0,61
3		-6	0,62	0,38	0,00
4		-4	0,55	0,69	0,64
5		-2	0,62	0,66	0,67
6		0	0,67	0,67	0,65
7		2	0,62	0,51	0,69
8		4	0,65	0,65	0,60
9		6	0,49	0,62	0,66
10		8	0,47	0,55	0,61
11		10	0,62	0,61	0,51
Medición 2	1	0	0,55	0,50	0,58
	2	2	0,52	0,45	0,63
	3	4	0,71	0,68	0,65
	4	6	0,76	0,70	0,65
	5	8	0,68	0,26	0,45
	6	10	0,75	0,76	0,68
	7	8	0,81	0,72	0,71
	8	6	0,31	0,70	0,62
	9	4	0,55	0,64	0,64
	10	2	0,51	0,69	0,67
	11	0	0,49	0,65	0,50

Anexo 3. Análisis granulométrico del fertilizante

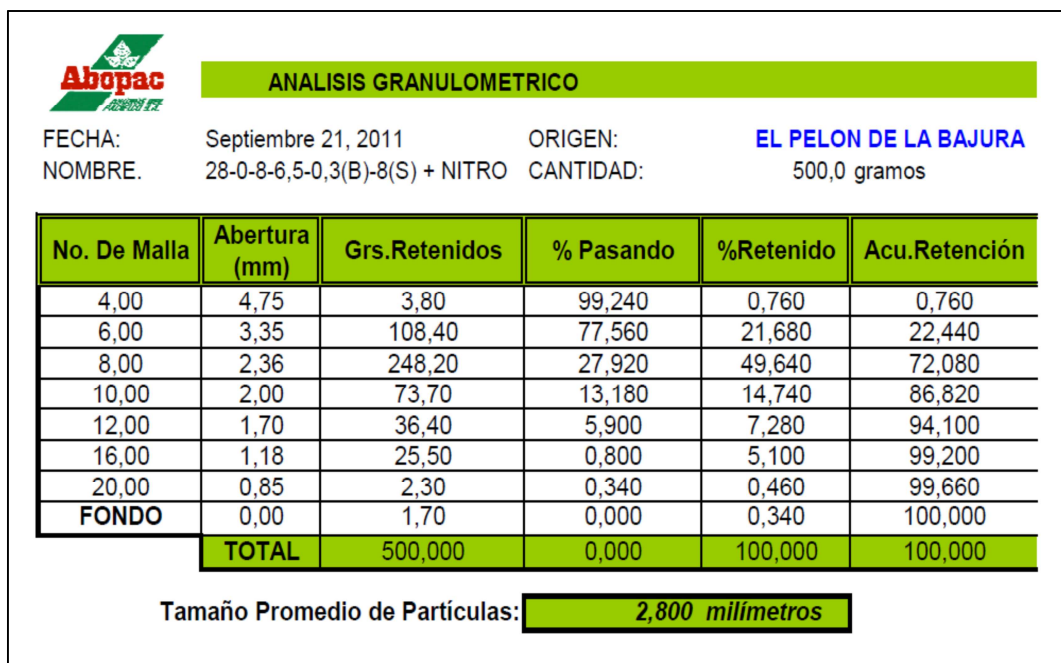


Figura A.73. Análisis granulométrico de fertilizante 28-0-8-6,5-0,3(B)-8(S)
Fuente: Abopac

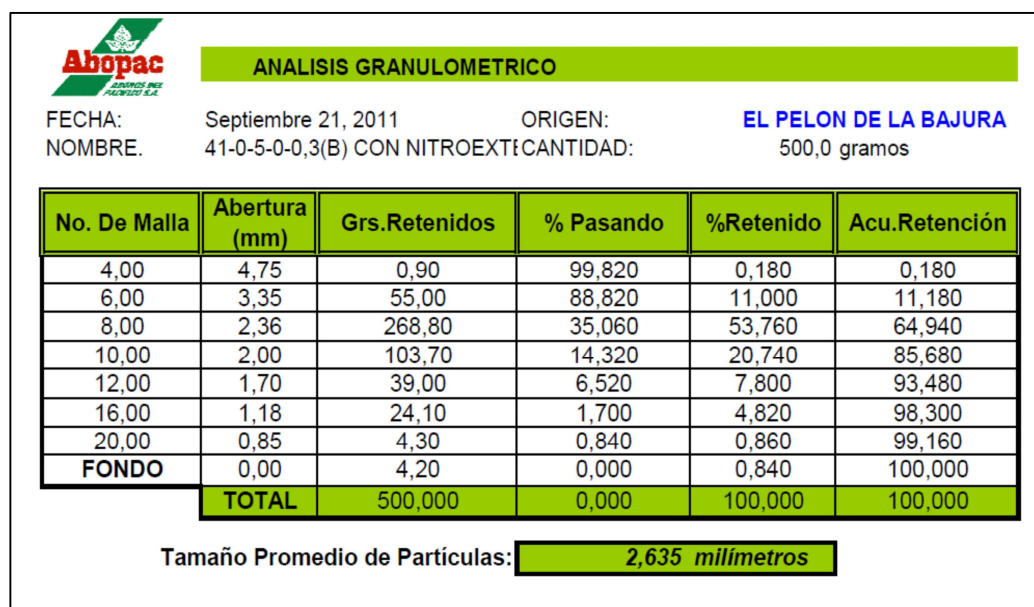



Figura A.74. Análisis granulométrico de fertilizante 41-0-5-0-0,3(B)
Fuente: Abopac

Anexo 4. Certificados Patrones de Masa



MET-CAL
ENGINEERING SERVICES
MET-CAL Engineering Services S.A.
25 E y 125 S Bomba Shell, San Francisco de Dos Rios, San José
Teléfax (506) 2268-4288
Cédula Jurídica # 3-101-273718

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado #: MC-CC-11-07-835C

Cliente: Compañía Arrocera Industrial Dirección del cliente: Guanacaste
Código del Instrumento: 0115MPO3-20K03 Fecha de Calibración: julio 07, 2011

Descripción: Masa Fecha sugerida de expiración: No aplica
Marca: No indica Lugar de Calibración: Laboratorio Met-Cal
Modelo: No indica Temperatura: 19.6 °C
Número de Serie: No indica Humedad Relativa: 62.5 %
Rango: 20 kg Presión Barométrica: 98.7 kPa
Resolución: No aplica Referencia a Orden de Trabajo # 2559
Ubicación: No aplica

DECLARACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGUN TOLERANCIAS SUMINISTRADAS POR EL CLIENTE

ESTADO INICIAL DE CALIBRACION	AJUSTES REALIZADOS	ESTADO FINAL DE CALIBRACION
No aplica	No requieren ajuste	No aplica

Resultados de Calibración (Encontrados)


Parámetros Calibrados	Prueba Punto #	Valor Nominal (kg)	Valor Obtenido (kg)	Corrección Total (kg)	Tolerancia ± (kg)	Incertidumbre ± (mg)
Mesa Convencional	1	20	19.99899	-0.00101	No aplica	99

Procedimiento de calibración: MCP-007 Procedimiento de calibración de Masa

Patrones Utilizados en la Calibración:

Activo	Equipo	Serie	Certificado	Trazabilidad
MCP-0072	Mesa Patrón	MCP-0072	MC-CC-11-04-074C	MET-CAL Engineering Services Vencimiento: octubre, 2012

Página 1 de 2
MC-001-2-001



MET-CAL
ENGINEERING SERVICES
MET-CAL Engineering Services S.A.
25 E y 125 S Bomba Shell, San Francisco de Dos Rios, San José
Teléfax (506) 2268-4288
Cédula Jurídica # 3-101-273718

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado #: MC-CC-11-07-835C

Cliente: Compañía Arrocera Industrial Dirección del cliente: Guanacaste
Código del Instrumento: 0115MPO3-20K02 Fecha de Calibración: julio 07, 2011

Descripción: Masa Fecha sugerida de expiración: No aplica
Marca: No indica Lugar de Calibración: Laboratorio Met-Cal
Modelo: No indica Temperatura: 20.2 °C
Número de Serie: No indica Humedad Relativa: 70.0 %
Rango: 20 kg Presión Barométrica: 98.6 kPa
Resolución: No aplica Referencia a Orden de Trabajo # 2559
Ubicación: No aplica

DECLARACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGUN TOLERANCIAS SUMINISTRADAS POR EL CLIENTE

ESTADO INICIAL DE CALIBRACION	AJUSTES REALIZADOS	ESTADO FINAL DE CALIBRACION
No aplica	No requieren ajuste	No aplica

Resultados de Calibración (Encontrados)

Parámetros Calibrados	Prueba Punto #	Valor Nominal (kg)	Valor Obtenido (kg)	Corrección Total (kg)	Tolerancia ± (kg)	Incertidumbre ± (mg)
Mesa Convencional	1	20	19.997503	-0.002497	No aplica	77


Procedimiento de calibración: MCP-007 Procedimiento de calibración de Masa

Patrones Utilizados en la Calibración:


Activo	Equipo	Serie	Certificado	Trazabilidad
MCP-0072	Mesa Patrón	MCP-0072	MC-CC-11-04-074C	MET-CAL Engineering Services Vencimiento: octubre, 2012

Página 1 de 2
MC-001-2-001

Figura A.75. Certificado Patrones de Masa 1 y 2
Fuente: Departamento Metrología Pelón de la Bajura



MET-CAL
ENGINEERING SERVICES
MET-CAL Engineering Services S.A.
25 E y 125 S Bomba Shell, San Francisco de Dos Rios, San José
Teléfono: (506) 2268-4268
Cédula Jurídica # 5-101-373718



Laboratorio de calibración
Alcance de Acreditación PPLC 085
Acreditado a partir de 08.02.2011
Alcance disponible en www.mec.ac.cr

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado #: MC-CC-11-07-0590

Cliente: Compañía Arrocera Industrial
Código del Instrumento: 0113MPOS-20K02

Dirección del cliente: Guacacaste
Fecha de Calibración: julio 09, 2011

Fecha sugerida de expiración: No aplica
Lugar de Calibración: Laboratorio Met-Cal
Temperatura: 21.1 °C
Humedad Relativa: 66.0 %
Presión Barométrica: 88.7 kPa
Referencia a Orden de Trabajo# 2553

Descripción: Masa
Marca: No indica
Modelo: No indica
Número de Serie: No indica
Rango: 20 kg
Resolución: No aplica
Ubicación: No aplica

DECLARACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGUN TOLERANCIAS SUMINISTRADAS POR EL CLIENTE

ESTADO INICIAL DE CALIBRACION	AJUSTES REALIZADOS	ESTADO FINAL DE CALIBRACION
No aplica	No requiere ajuste	No aplica

Resultados de Calibración (Encontrados)

Parámetros Calibrados	Prueba Punto #	Valor Nominal (kg)	Valor Obtenido (kg)	Corrección Total (kg)	Tolerancia ± (kg)	Incertidumbre ± (mg)
Masa Convencional	1	20	19.99254	-0.00746	No aplica	78

Procedimiento de calibración: MC-CF-07 Procedimiento de calibración de Masa

Patrones Utilizados en la Calibración:

Activo	Equipo	Serie	Certificado	Trasabilidad
MCP-0072	Masa Patrón	MCP-0072	MC-CC-11-04-074C	MET-CAL Engineering Services Vencimiento: octubre, 2012

Figura 1 de 2
MC-P01-2-P01



MET-CAL
ENGINEERING SERVICES
MET-CAL Engineering Services S.A.
25 E y 125 S Bomba Shell, San Francisco de Dos Rios, San José
Teléfono: (506) 2268-4268
Cédula Jurídica # 5-101-373718



Laboratorio de calibración
Alcance de Acreditación PPLC 085
Acreditado a partir de 08.02.2011
Alcance disponible en www.mec.ac.cr

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado #: MC-CC-11-07-0590

Cliente: Compañía Arrocera Industrial
Código del Instrumento: 0113MPOS-20K02

Dirección del cliente: Guacacaste
Fecha de Calibración: julio 09, 2011

Fecha sugerida de expiración: No aplica
Lugar de Calibración: Laboratorio Met-Cal
Temperatura: 21.3 °C
Humedad Relativa: 55.5 %
Presión Barométrica: 88.7 kPa
Referencia a Orden de Trabajo# 2553

Descripción: Masa
Marca: No indica
Modelo: No indica
Número de Serie: No indica
Rango: 20 kg
Resolución: No aplica
Ubicación: No aplica

DECLARACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGUN TOLERANCIAS SUMINISTRADAS POR EL CLIENTE

ESTADO INICIAL DE CALIBRACION	AJUSTES REALIZADOS	ESTADO FINAL DE CALIBRACION
No aplica	No requiere ajuste	No aplica

Resultados de Calibración (Encontrados)

Parámetros Calibrados	Prueba Punto #	Valor Nominal (kg)	Valor Obtenido (kg)	Corrección Total (kg)	Tolerancia ± (kg)	Incertidumbre ± (mg)
Masa Convencional	1	20	20.002547	0.002547	No aplica	27

Procedimiento de calibración: MC-CF-07 Procedimiento de calibración de Masa

Patrones Utilizados en la Calibración:

Activo	Equipo	Serie	Certificado	Trasabilidad
MCP-0072	Masa Patrón	MCP-0072	MC-CC-11-04-074C	MET-CAL Engineering Services Vencimiento: octubre, 2012

Figura 1 de 2
MC-P01-2-P01

Figura A.76. Certificados Patrones de masa 2 y 3
Fuente: Departamento Metrología Pelón de la Bajura



MET-CAL
ENGINEERING SERVICES
MET-CAL Engineering Services S.A.
25 E y 125 S Bomba Shell, San Francisco de Dos Ríos, San José
Teléfono (506) 2298-4298
Cédula Jurídica # 3-101-373718



Laboratorio de Calibración
Alcance de Acreditación Nº LC-005
Acreditado a partir del 08.02.2011
Alcance disponible en www.mca.cr

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado #: MC-CC-11-07-062C

Cliente:	Compañía Arrocera Industrial	Dirección del cliente:	Guanacaste
Código del Instrumento:	0113MP03-20K10	Fecha de Calibración:	julio 09, 2011
Descripción:	Masa	Fecha sugerida de expiración:	No aplica
Marca:	No indica	Lugar de Calibración:	Laboratorio Met-Cal
Modelo:	No indica	Temperatura:	20.1 °C
Número de Serie:	No indica	Humedad Relativa:	75.5 %
Rango:	20 kg	Presión Barométrica:	88.7 kPa
Resolución:	No aplica	Referencia a Orden de Trabajo#	2560
Ubicación:	No aplica		

DECLARACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGUN TOLERANCIAS SUMINISTRADAS POR EL CLIENTE

ESTADO INICIAL DE CALIBRACION	AJUSTES REALIZADOS	ESTADO FINAL DE CALIBRACION
No aplica	No require ajuste	No aplica

Resultados de Calibración (Encontrados)

Parámetros Calibrados	Prueba Punto #	Valor Nominal (kg)	Valor Obtenido (kg)	Corrección Total (kg)	Tolerancia ± (kg)	Incertidumbre ± (mg)
Masa Convencional	1	20	19.998190	-0.001810	No aplica	7C

Procedimiento de calibración: MC-CP-007 Procedimiento de calibración de Masa

Patrones Utilizados en la Calibración:

Activo	Equipo	Serie	Certificado	Trazabilidad
MCP-0072	Masa Patrón	MCP-0072	MC-CC-11-04-074C	MET-CAL Engineering Services Vencimiento: octubre, 2012

Página 1 de 2
MC-P01-2-P01

Figura A.77. Certificado Patrones de Masa
Fuente: Departamento Metrología Pelón de la Bajura

Anexo 5. Plantilla para recolección de datos

Recolección de datos				
Fecha		# de prueba		
Observaciones				
Colector	Distancia al centro (m)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
		Peso (g)		
1	-20			
2	-18			
3	-16			
4	-14			
5	-12			
6	-10			
7	-8			
8	-6			
9	-4			
10	-2			
11	0			
12	2			
13	4			
14	6			
15	8			
16	10			
17	12			
18	14			
19	16			
20	18			
21	20			

Anexo 6. Imágenes Varias

Actividades Agrícolas

Carpeta Añadir Región

Nombre de la Tarea	Jose juaquin - Aplicaciones de
Nombre de la Región	
Nombre del Lote	Jose juaquin
Cultivos de la Empresa	2011 arroz
Tipo de tarea	Aplicaciones de Agroquímicos
Id. consola	
Área Cultivada	71,86
Fecha de Inicio	16/09/2011
Hora de Inicio	
Fecha de Finalización	16/09/2011
Hora de Finalización	
Horas de la Tarea	0,000
Operador	Carlos Domingo
Notas/Instrucciones	Anotaciones
Carlos Domingo	Borrar
Cantidad (horas)	0,000
Tarifa de la Labor (c/horas)	1.100,00
Voleadora	Borrar
Cantidad (hectáreas)	71,860
Tarifa de la Labor (c/hectáreas)	25.000,00
tractor	Borrar
Cantidad (hectáreas)	71,860
Tarifa de la Labor (c/hectáreas)	25.000,00
UREA	Borrar
Aplicación Dosis Variable	<input checked="" type="checkbox"/>
Máquina	Voleadora
Área Aplicada	69,61
Dosis Planeada (kg/ha)	106,40
Cantidad Usada (sacos)	148,072
Tarifa de la Labor (c/sacos)	0,00

OK Cancelar

Figura A.78. Información de área aplicación Dosis Variable, lote José Joaquín
Fuente: Autor

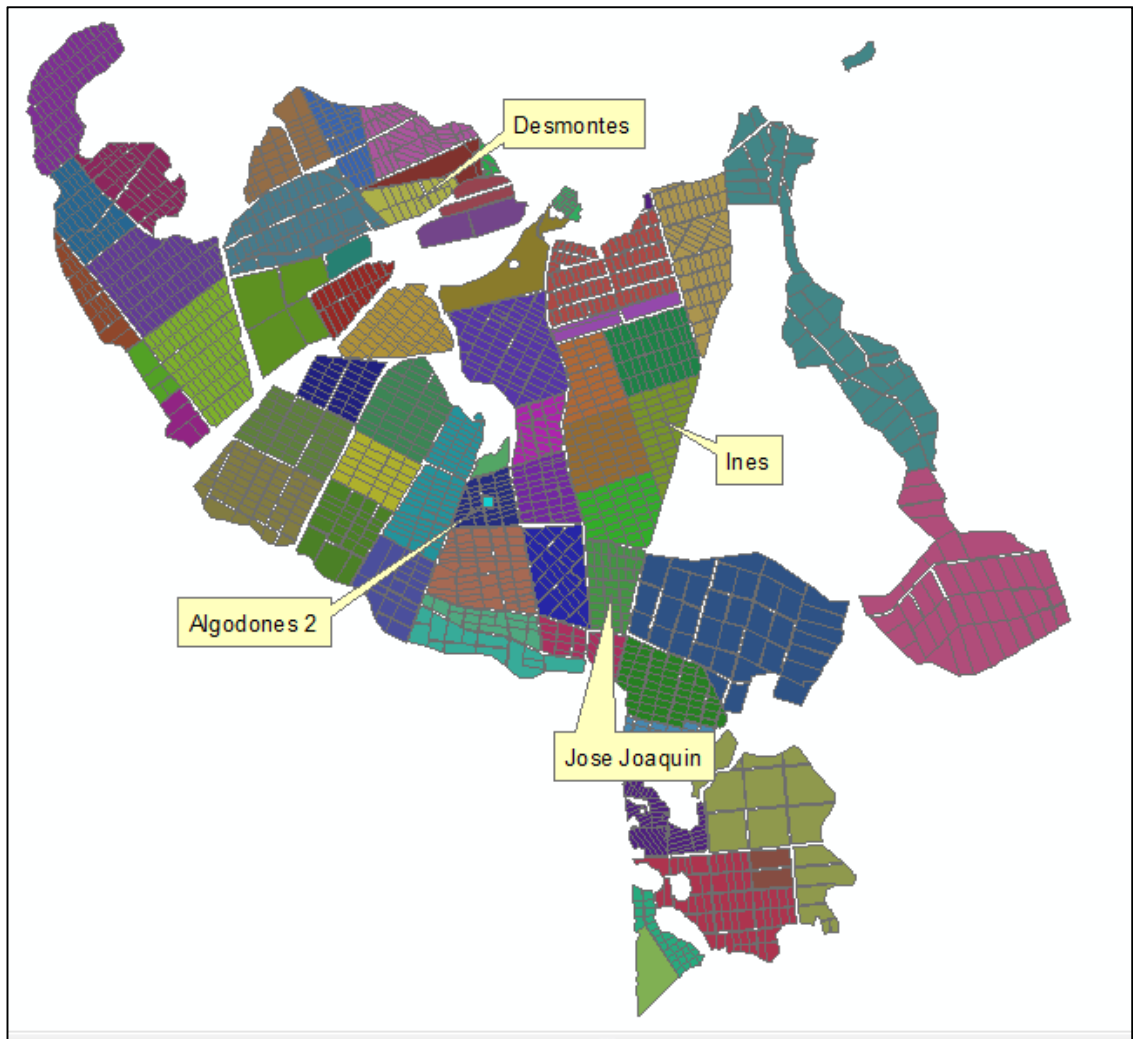


Figura A. 79. Finca Pelón de la Bajura, lotes donde se realizaron las pruebas
Fuentes: Departamento Agrícola Pelón de la Bajura