



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



TEMA: Labranza Inteligente Mediante el Control Automático de Profundidad de Cinceles

ETAPA: Elaboración de Mapas de Prescripción Basados en Mapas de Diagnósticos para el Laboreo Primario del Suelo

POR:

MILTON RAHOLID VAZQUEZ MORALES

TESIS

**Presentada Como Requisito Parcial Para
Obtener el Título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Elaboración de Mapas de Prescripción Basados en Mapas de Diagnósticos para el Laboreo Primario del Suelo

POR:

MILTON RAHOLID VAZQUEZ MORALES

TESIS

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

Asesor Principal



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Co-director



Dr. Martin Cadena Zapata

Sinodal




Ing. Neftalí Cuervo Piña

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la división de ingeniería



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez


**Coordinación de
Ingeniería**

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA TERRA MATER

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

POR ABRIRME SUS PUERTAS Y DARME LA OPORTUNIDAD DE FORMARME PROFESIONALMENTE, YA QUE PARA MÍ FUE UN GRAN HONOR ESTAR EN MI UAAAN. GRACIAS POR PERMITIRME CUMPLIR UN SUEÑO MÁS.

A DR. SANTOS GABRIEL CAMPOS MAGAÑA

POR CONFIAR EN MÍ; POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS, SU EXPERIENCIA Y SU VALIOSO TIEMPO, POR EL GRAN APOYO QUE ME BRINDO EN EL TRANSCURSO DE MI FORMACIÓN.

A M.C. HÉCTOR URIEL SERNA FERNÁNDEZ

POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS, SU EXPERIENCIA POR EL GRAN APOYO QUE ME BRINDO EN EL TRANSCURSO DE MI FORMACIÓN ACADÉMICA, POR SU AMISTAD Y POR LAS CRITICAS.

M.C NEFTALÍ CUERVO PIÑA:

POR SU AYUDA POR SU APOYO POR LOS CONSEJOS POR LAS COSAS EN LAS QUE ME APOYO QUE ME SIRVIERON DE MUCHO GRACIAS POR TODO.

A MIS MAESTROS: HÉCTOR URIEL SERNA, JESÚS VALENZUELA, JUAN ANTONIO GUERRERO, JUAN ARREDONDO, MARIO ALBERTO MÉNDEZ, MARTIN CADENA, MARCO ANTONIO REYNOLDS, ROSENDO GONZÁLEZ, NEFTALÍ CUERVO PIÑA, SANTOS GABRIEL CAMPOS. POR SER MUY BUENOS MAESTROS, BUENOS AMIGOS Y BRINDARME SU AMISTAD, SUS CONOCIMIENTOS Y SU CONFIANZA AL M.C JUAN ANTONIO LÓPEZ LÓPEZ POR SU APOYO.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE GENERACIÓN, INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA GRACIAS POR SU AMISTAD Y SU APOYO EN EL TRANSCURSO DE LA CARRERA.

DEDICATORIA

ESTA TESIS SE LA DEDICO A MI DIOS QUIÉN SUPO GUIARME POR EL BUEN CAMINO, DARME FUERZAS PARA SEGUIR ADELANTE Y NO DESMAYAR EN LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTABAN, ENSEÑÁNDOME A ENCARAR LAS ADVERSIDADES SIN PERDER NUNCA LA DIGNIDAD NI DESFALLECER EN EL INTENTO.

A MI FAMILIA QUIENES POR ELLOS SOY LO QUE SOY.

PARA MIS PADRES DELIA MORALES PERES Y HONORIO DE JESUS VAZQUEZ VELASQUEZ POR SU APOYO, CONSEJOS, COMPRENSIÓN, AMOR, AYUDA EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES, Y POR AYUDARME CON LOS RECURSOS NECESARIOS PARA ESTUDIAR. ME HAN DADO TODO LO QUE SOY COMO PERSONA, MIS VALORES, MIS PRINCIPIOS, MI CARÁCTER, MI EMPEÑO, MI PERSEVERANCIA, MI CORAJE PARA CONSEGUIR MIS OBJETIVOS.

A MIS HERMANOS POR ESTAR SIEMPRE PRESENTES, ACOMPAÑÁNDOME PARA PODERME REALIZAR. A MIS SOBRINOS POR LA MOTIVACIÓN, INSPIRACIÓN Y FELICIDAD.

PROVERBIOS 6:20 GUARDA, HIJO MÍO, EL MANDAMIENTO DE TU PADRE, Y NO DEJES LA ENSEÑANZA DE TU MADRE;

QUERIDOS PAPÁ Y MAMÁ, USTEDES SIEMPRE HAN ESTADO ALLÍ Y ME HAN AYUDADO EN TODO MOMENTO DE MI VIDA, EN LO BUENO, LO MALO Y LO FEO. SERÍA INTERMINABLE ESCRIBIR CUÁN AGRADECIDO ESTOY POR SER SU HIJO. SÉ QUE NO SOY PERFECTO, QUE NO SIEMPRE HAGO LO QUE SE SUPONE, CUANDO SE SUPONE, Y NO TENGO EL MEJOR TONO. LES AGRADEZCO POR AMARME AÚN EN LOS MOMENTOS MÁS DIFÍCILES. AUNQUE NO LO DEMUESTRE MUCHO USTEDES SIGNIFICAN MUCHO PARA MÍ, Y ESPERO QUE ALGÚN DÍA SE SIENTAN ORGULLOSOS DE MÍ, PORQUE ESO SERÍA LO MÁXIMO. AÚN CUANDO ME MUDE SÉ QUE SIEMPRE SERÉ SU PEQUEÑO Y ME QUERRÁN IGUAL O más. Gracias por impulsarme y hacer de mí lo que hoy soy. Los amo mucho.

Gracias Nidia por tu apoyo y comprensión.

ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	VI
<i>ÍNDICE DE CUADROS</i>	VIII
<i>RESUMEN</i>	IX
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>II OBJETIVO GENERAL</i>	5
2.1 Objetivos específicos	5
<i>II HIPÓTESIS</i>	5
<i>III. REVISIÓN DE LITERATURA</i>	6
3.1 Agricultura de precisión	6
3.1.1 Ventajas y objetivos de la Agricultura de Precisión: Grupo Sensor (1993) Sensor. Automatización Agrícola S.A	9
3.1.2 GPS (Global Positioning System)	9
3.2 <i>Manejo de sitio específico</i>	12
3.2.1 Tipos de variabilidad	12
3.2.2 Variabilidad espacial	12
3.2.3 Variabilidad temporal	13
3.2.4 Variabilidad predictiva	14
3.2.5 Mapa de rendimiento	14
3.2.6 Mapas de diagnósticos	15
3.2.7 Mapa de prescripción	16
3.3 <i>Sistemas de Información Geográfica (SIG)</i>	16
3.3.1 Tipos de SIG	17
3.3.2 Productos software SIG en el mercado	19
3.3.2.1 <i>Productos comerciales</i>	19

3.3.2.2	<i>Productos libres</i>	20
3.4	<i>Aplicaciones comerciales para agricultura de precisión</i>	23
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1	Materiales	27
4.1.1	<i>Localización del sitio de prueba</i>	27
4.1.2	<i>Software</i>	28
4.1.3	<i>Equipos</i>	29
4.2	<i>Metodología para la obtención de mapas de prescripción</i>	31
4.2.1	Levantamiento Topográfico	31
4.2.2	Conversión de coordenadas relativas a UTM.	32
4.2.3	Conversión de archivo .txt a formato shape	34
4.2.4	Mapa de verificación en FarmWorks office.	34
4.2.5	Generación de mapas de prescripciones	35
V.	RESULTADOS	37
5.1	Levantamiento topográfico	38
5.1.1	<i>Opreción de la Pantalla FmX</i>	38
5.2.	Conversión de coordenadas relativas a UTM	39
5.2.1	<i>Manual de Excel</i>	39
5.3	Conversión de archivo .txt a formato shape	40
5.3.1	<i>Uso de Qgis</i>	40
5.4	Mapa de verificación en FarmWorks office.	41
5.4.1	<i>Uso de FarmWorks</i>	41
5.5	Generación de mapas de prescripción	42
5.5.1	<i>Mapas de Prescripción</i>	42
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44

6.1 Conclusiones	44
6.2 Recomendaciones	44
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>46</i>
<i>PAGINAS WEB SITADAS</i>	<i>49</i>
<i>VII. ANEXOS</i>	<i>50</i>
7.1 Manipulando archivo .txt desde Excel	50
7.2 Lista de símbolos.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Ejemplo de mapa de rendimiento de un lote (Kreimer, 2003).	13
Figura 3. 2 Ejemplo de grafica de rendimiento de distintos años (Kreimer, 2003)...	14
Figura 3. 3 Mapa de rendimiento mediante la medición del flujo de masa de grano a través de las cosechadoras (Méndes, 2007).	15
Figura 3. 4 Dimensiones de los datos dentro de un sistema de información geográfica (Mancebo, 2008).	19
Figura 3. 5 Separación de la información en capas temáticas y el análisis basado en la superposición de capas (García, 2013).....	21
Figura 3. 6 Esquema de un SIG con tres subsistemas fundamentales: datos, visualización y análisis (García, 2013).....	22
Figura 3. 7 Elemento que forman el sistema SIG (Mancebo, 2008).....	23
Figura 4. 1 Rancho navidad donde se llevo a cabo los ensayos experimentales. ..	27
Figura 4. 2 Metodología empleada para obtener los mapas de prescripción.....	31
Figura 4. 3 Archivo MultiPlane .txt.....	32
Figura 4. 4 Coordenadas relativas.....	33
Figura 4. 5 Coordenadas UTM.....	33

<i>Figura 5. 1 Método empleado para la elaboración de los mapas de prescripción...</i>	38
<i>Figura 5. 2 Mapa del recorrido en campo visto desde Qgis.</i>	40
<i>Figura 5. 3 Mapa de prescripciones visto desde FarmWorks una vez que se dieron las profundidades.</i>	42
<i>Figura 5. 4 Mapa de prescripciones obtenidas con Qgis.</i>	43
Figura 7. 1 Pasos que se siguen para abrir el archivo de texto MultiPlane desde Excel.	50
Figura 7. 2 Pasos a seguir para abrir el archivo MultiPlane .txt.	51
Figura 7. 3 paso final que se sigue al abrir el formato, txt, y visualizarlo en Excel..	51
Figura 7. 4 El MBP se encuentra en la primera fila del archivo.	52
Figura 7. 5 Pasos para convertir las coordenadas geográficas de GMS a coordenadas geográficas decimales.	52
Figura 7. 6 Corresponden al MBP en coordenadas geográficas decimales.	53
Figura 7. 7 Coordenadas UTM obtenidas en GoogleEarth correspondientes al MBP.	56

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 3. 1 principales etapas o pasos para la aplicación de agricultura de precisión AP (<i>Ortega, 2000</i>).....	8
--	---

RESUMEN

El presente trabajo forma parte del proyecto de labranza inteligente llevado a cabo en el Departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Que considera entre otros objetivos construir un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad, manipulado por registro de información satelital, mapas de diagnóstico y mapas de prescripción de los niveles de energía por Manejo de Sitio Específico (MSE). El proyecto tuvo como objetivo generar simulaciones de mapas de prescripción a diferentes profundidades (20, 30, 40 cm). Se realizó un levantamiento topográfico de la parcela para obtener coordenadas en (x, y, z) con un controlador FmX y un sistema de corrección RTK que nos sirvió para tener una mejor precisión entre los puntos obtenidos. Los mapas generados en Qgis y FarmWorks Office apoyados con GoogleEarth pro, no mostraron ningún desfaseamiento en sus posiciones (latitud, longitud) entre el levantamiento topográfico original y el mapa de prescripciones diseñado.

Palabras claves: *Manejo de sitio específico, simulador FmX, sistema de corrección RTK, mapas de prescripción, levantamiento topográfico*

I. INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión puede definirse como la aplicación de un conjunto de técnicas, apoyadas por equipamiento de alta tecnología, para el manejo de la producción agrícola en forma de sitio específico. Esto significa adaptar la técnica de cultivo a las condiciones particulares que se presentan en cada uno de los sectores del campo. El manejo sitio específico se basa en el supuesto de que los distintos sectores del campo responden de manera diferente a una misma técnica de cultivo aplicada de manera uniforme en toda la extensión del terreno. En tal caso sería posible aumentar la productividad de la explotación agrícola dividiéndola en sub-zonas, y ajustando la técnica de cultivo y las dosis de insumos a las características particulares de cada sub-zona (*Baños, 2003*).

La AP es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La AP involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. La información obtenida puede usarse para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto a la biotecnología, la AP es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años. Los cambios tecnológicos que se producen en la agricultura están –por lo general, directamente relacionados con la rentabilidad que trae aparejada dicho cambio. El potencial de la agricultura de precisión es el de reducir los costos en la producción de granos, aumentar la productividad y hacer un uso más eficiente de los insumos. En un sentido más amplio, la agricultura de precisión permite administrar los insumos en el tiempo y en el espacio, optimizar la logística de las operaciones a campo, supervisar el trabajo de los empleados en el campo, manejar los riesgos de la producción, vender productos diferenciados, proveer trazabilidad de los productos para consumo humano, y documentar los insumos aplicados para cumplir con reglas de protección ambiental (*Bongiovanni, 2004*).

La creciente caída de la rentabilidad de la producción de granos básicos es una característica que describe los sistemas productivos de nuestro país, donde la preparación de los suelos destaca como la actividad que consume más energía o combustible y por lo tanto, la que representa los mayores costos. El uso excesivo de la maquinaria agrícola es un indicador de la ausencia de tecnología y conocimiento, representada por la poca información en el establecimiento de los sitios, y por tanto, erróneas decisiones en su manejo (Reynolds, 2012).

Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el manejo óptimo en la aplicación de insumos en la agricultura. Para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de predio para determinar los factores limitantes de la producción; así como su localización precisa para poder de ahí realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos. Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren entre otros por Geo-posicionador Diferencial con aplicación en la Agricultura (AgDGPS), Sensores de ambientes, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Control; así como, equipos de dosificación variables de insumos (López, 2012)

A nivel mundial como un indicador existen alrededor de 20 países que han incorporado estos sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas, entre los que destacan Estados Unidos con 30,000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con Cero unidades. Debido a los altos costos de preparación o laboreo de suelo, la reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola es un tema de gran importancia, pues contribuye al éxito económico de los mismos; para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible,

esto es un factor que limita la actividad agrícola, pues reduce el costo beneficio del sistema de producción, no obstante, si se implementan cambios tecnológicos apropiados en los sistemas de producción de alimentos, se estima que se puede reducir hasta 50% el uso de energía fósil en los mismos (Pimentel, 2008).

Actualmente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se encuentra en proceso de integración un laboratorio con maquinaria, equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión (López, 2012). Por tal motivo; durante la convocatoria interna 2012, para proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, fue presentado y autorizado un proyecto de investigación denominado:

USO DE LABRANZA VERTICAL Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA DE LABOREO PRIMARIO DEL SUELO.

Cuyos objetivos planteados son:

1. Construir un modelo de simulación de profundidad de herramientas de labranza soportada en registros y base de datos de diagnóstico de sitio específico.
2. Construir un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad manipulado mediante registro de información satelital, mapas de diagnóstico y de prescripción de los niveles de energía por predio específico. (En el cual el presente trabajo de tesis se circunscribe bajo este objetivo en específico).

3. Evaluar el sistema de forma integral con productores en predios comerciales y contrastar el ahorro de energía en la producción de granos en dos sitios de alta productividad en el estado de Coahuila.

II OBJETIVO GENERAL

Generar mapas de prescripción para el laboreo de suelos a partir de mapas de diagnóstico de parámetros físicos del suelo utilizando el controlador FMX.

2.1 Objetivos específicos

- Generar mapas de diagnóstico de parámetros físicos del suelo con el uso del controlador FMX.
- Generar mapas de prescripción basados en mapas de diagnóstico con el uso del controlador FMX.
- Evaluar la precisión de las características entre el procesamiento e interpretación de los mapas de diagnóstico y prescripción.

II HIPÓTESIS

Es posible optimizar el laboreo primario de suelos en base a una prescripción a partir de mapas de diagnóstico.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión integra diversas tecnologías para optimizar la productividad de un cultivo, al mismo tiempo que minimiza su impacto ambiental. Una vez que se reconoce, localiza, cuantifica y registra la variabilidad espacial y temporal de cada unidad agrícola, es posible proporcionar un manejo agronómico diferenciado en cada sitio específico (*Chosla, 2001*).

La AP en el reconocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima, los suelos y los cultivos, y consecuentemente, de la importancia de proporcionar un manejo agronómico específico que tenga en cuenta esas diferencias. La agricultura de precisión, conocida también como agricultura específica por sitio, usa tecnologías de información espacial, tales como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), para mejorar las decisiones agronómicas de diferentes cultivos (*Lisarazo y Alfonzo, 2010*).

La Agricultura de Precisión (AP) es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos (*Gil, 2008*).

Esta filosofía propone atender en forma diferenciada los factores de producción de acuerdo a las características específicas de cada sitio, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, y minimizar los efectos de contaminación, usando como unidad de manejo el área más pequeña para la cual se cuenta con información de respaldo. Metodológicamente implica la incorporación de las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad, especialmente aquellas que contemplan la referenciación geográfica de sitios vía satélite, unidos a bases de datos de información de esos sitios concretos, como sustento sobre la cual se apoyan las decisiones para el manejo. El proceso necesita la recolección de información en cada sitio, su ordenamiento y análisis y, finalmente, la diagramación de las estrategias para atender las limitantes a nivel de sitio (Lago, 2011).

Existen numerosas prácticas de manejo considerado por parte de la AP, en sus diferentes etapas de aplicación. Estas prácticas son realizadas a través de diferentes tecnologías e incluyen tanto actividades de campo como de oficina. En el cuadro 3.1, se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de AP. Las tecnologías involucradas y las actividades realizadas (Ortega, 2000).

Tabla 3. 1 principales etapas o pasos para la aplicación de agricultura de precisión AP (Ortega, 2000).

ETAPA	TECNOLOGÍA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
Recolección e ingreso de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de posicionamiento global (GPS). • Sistema de información geográfica (SIG). • Instrumento topográficos. • Sensores remotos. • Sensores directos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de la topografía del suelo. • Muestreo de suelo en grilla. • Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. • Monitoreo de rendimientos. • Medición directa de propiedades del suelo y cultivo. • Sensoramiento remotos de suelos y cultivos. • Digitalización de mapas.
Análisis. Procesamiento e interpretación de la información	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de SIG. • Sistemas expertos. • Programas estadísticos. • Experiencia del operador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de dependencia espacial. • Confección de mapas de evaluación. • Confección de mapas de prescripción.
Aplicación diferencial de insumos	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología de dosis variable. • Pulverización asistida por GPS. • Programas computacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación variable de nutrientes. • Aplicación variable plaguicidas. • Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas

3.1.1 Ventajas y objetivos de la Agricultura de Precisión: Grupo Sensor (1993) Sensor. Automatización Agrícola S.A

Aumentar la productividad de los operarios, reduciendo su trabajo mediante la automatización de aquellas tareas que puedan ser automatizadas.Reducción de los insumos mediante la aplicación inteligente de los mismos, realizando mediciones a través de sensores altamente precisos, y haciendo uso de tecnología de avanzada.Aumentar la simplicidad y la comodidad de los operarios, facilitando su labor diaria.Aumentar la rentabilidad para el productor agropecuario (esto se logra gracias a los puntos anteriores, es decir, una reducción en la mano de obra y en los insumos necesarios para lograr los mismos resultados o incluso mejores).

La empresa Trimble ofrece los productos, software y soluciones de agricultura de precisión que pueden ayudar a los agricultores en cada uno de los pasos del proceso agrícola: desde la preparación del terreno hasta la plantación, administración de nutrientes, gestión de plagas y fases de cosecha de un ciclo de cultivo (*Sensor, 1993*).

3.1.2 GPS (Global Positioning System)

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por la defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo, operativo desde 1995 utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie de la tierra (*Ortíz, 2007*).

Las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento global y de navegación en la agricultura pueden ser muy diversas. No obstante, las más comunes que se pueden citar son las siguientes: determinación de los límites de la finca, guiado automático de maquinaria agrícola, asignar las coordenadas a las muestras tomadas con objeto de elaborar los mapas de producción u otra característica y determinar la actuación en cada punto. Un ejemplo de esto último, sería distribuir la dosis de fertilizantes y fitosanitarios en función de las coordenadas (*Riquelme, 2011*).

En la misma línea, los sistemas de navegación también resultan muy útiles en la agricultura. Estos sistemas son muy necesarios en explotaciones grandes a la hora de aplicar los tratamientos fitosanitarios y los fertilizantes. En estas tareas se emplea maquinaria agrícola pesada, y pequeños errores en la conducción pueden provocar que una franja del cultivo quede sin tratar (pérdidas de producción), que se aplique una sobredosis (perjuicios medioambientales y económicos), etc. Los sistemas de navegación también resultan de gran utilidad en casos concretos, como la aplicación de los herbicidas sistémicos que se deben aplicar durante el crepúsculo, así como en el guiado del vehículo cuando las condiciones atmosféricas son adversas. Por ello, no es de extrañar que numerosos investigadores trabajen en este campo (*Riquelme, 2011*).

El GPS se ha convertido en la herramienta más potente para el posicionamiento, proporcionando posiciones espaciales para puntos fijos o en movimiento, con una precisión que varía desde los pocos milímetros hasta un par de decenas de metros. Todos los receptores GPS muestran la ubicación de un punto mediante coordenadas. Estas pueden ser geográficas (geodésicas) o cartesianas, pero en general los GPS muestran las coordenadas geográficas a menos que se programe de otra manera. Las coordenadas geográficas se expresan en latitud, longitud y

altura, siendo las unidades de las primeras dos en grados, minutos y segundos por ser ángulos y la altura se expresa en metros o pies. Estas coordenadas se basan en un sistema de 3 ejes con centro en el centro de masa de la tierra (*Manfredi, 2000*).

Las coordenadas geográficas se pueden definir de la siguiente manera:

a) Longitud: es el ángulo que se forma, en el centro de la tierra, entre el plano del meridiano de Greenwich y el plano del punto a ubicar. Para la longitud se toma como cero el meridiano de Greenwich, y va hasta $+180^{\circ}$ hacia el Este y -180° hacia el Oeste. Estos se denominan meridianos.

b) Latitud: es el ángulo entre el plano del Ecuador y el plano formado por el punto a ubicar y el centro de la tierra. Va de 0 a 90° , siendo 0 el Ecuador, y $+90^{\circ}$ el polo Norte y -90° el polo Sur. Estos se denominan paralelos.

c) Altura: para simplificar el concepto de la altura se puede definir como la distancia en metros desde una línea de prolongación de la altura media del mar, y el punto a ubicar. Resumiendo, es la altura sobre el nivel del mar.

3.2 Manejo de sitio específico

El manejo sitio específico (MSE) consiste en tratar áreas menores dentro de lotes de una manera distinta a la que se manejaría el lote entero. El MSE reconoce e identifica variaciones en tipo de suelo, textura, color, ubicación en el relieve y productividad de los lotes (mapas de rendimiento), luego trata esa variabilidad en una escala menor que en las prácticas normales. Incluye recolectar interpretar y manejar gran cantidad de datos agronómicos detallados, de lugares precisos en los lotes en un intento de ajustar y mejorar la eficiencia productiva de los cultivos (Terry, 2000).

3.2.1 Tipos de variabilidad

La principal característica de la agricultura de precisión es la adquisición de datos de todas las posiciones del terreno, de esta forma se puede trabajar con más detalle. Al tener información exacta de cada posición se puede comparar las características de distintas coordenadas introduciendo la variabilidad; en este tipo de agricultura se tienen en cuenta las variaciones temporales, espaciales e históricas o predictivas (Kreimer, 2003).

3.2.2 Variabilidad espacial

Se entiende como los cambios sufridos a lo largo del terreno de cultivo. Estos cambios se pueden ver, por ejemplo, en un mapa de rendimiento, para lo cual es necesario recopilar datos en posiciones precisas.

Para localizar estas posiciones en latitud y longitud se utiliza un sistema DGPS (GPS diferencial), al tiempo que se van recopilando otros datos de interés que mantengan una relación espacial, como pueden ser la calidad del suelo, cantidad

de agua en el terreno, densidad del cultivo. Con ello se busca obtener mapas que resulten representativos del terreno y de utilidad para el agricultor (Kreimer, 2003). En la figura 3.1 Se aprecian las variaciones de rendimiento de un lote.

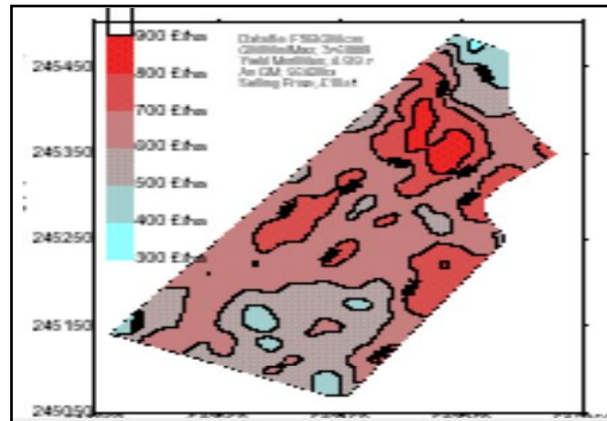


Figura 3. 1 Ejemplo de mapa de rendimiento de un lote (Kreimer, 2003).

3.2.3 Variabilidad temporal

La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años. Al interpretar este tipo de variabilidad se obtienen deducciones, pero aún así pueden obtenerse mapas de tendencias que muestren características esenciales (Kreimer, 2003). En la figura 3.2 se observa las comparaciones de rendimiento de distintos años.

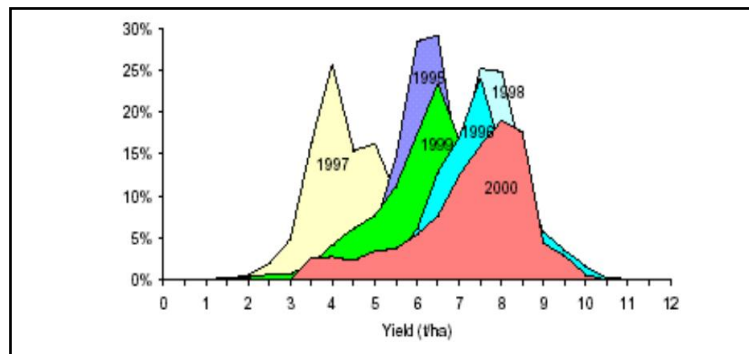


Figura 3. 2 Ejemplo de grafica de rendimiento de distintos años (Kreimer, 2003).

3.2.4 Variabilidad predictiva

Este tipo de variabilidad está más relacionada con los errores de administración, como por ejemplo, los precios estimados para la venta. Ésta puede ser calculada midiendo la diferencia entre los valores esperados y los valores realmente logrados (Kreimer, 2003).

3.2.5 Mapa de rendimiento

Los Mapas de Rendimiento (MR) son imágenes georreferenciadas con una escala de colores que indican el rendimiento de un punto en específico. Por lo general, son desarrollados por científicos y especialistas de la Agricultura, donde los interesados (agricultores, cosechadores y productores) deben pagar un precio alto para obtenerlos. Los MR son entradas para el proceso de aplicación de Dosis Variable (DV) de los distintos químicos que necesita un cultivo (fertilizantes, herbicidas, riegos, etc.). Las cosechadoras, fertilizadoras, y otras maquinarias, necesitan de la instalación de un Computador de Abordo para el control y monitoreo, también es válido el uso de sensores de flujos para medir y registrar el rendimiento puntual (Lago, 2011).

Los mapas de rendimiento son una importante fuente de datos que nos permiten cuantificar la variabilidad de nuestros lotes, el rendimiento a través de los años, analizar ensayos de nuestros campos, y si la cosechadora envía datos en tiempo real a una página web también nos permite observar el trabajo de la cosechadora en el mismo momento de la cosecha, lo que permite evitar errores por mal funcionamiento si el operario no lo supo identificar. El error promedio de una cosechadora bien calibrada suele ser bastante bajo (cercano al 3%) lo que garantiza datos muy confiables (Méndes, 2007).

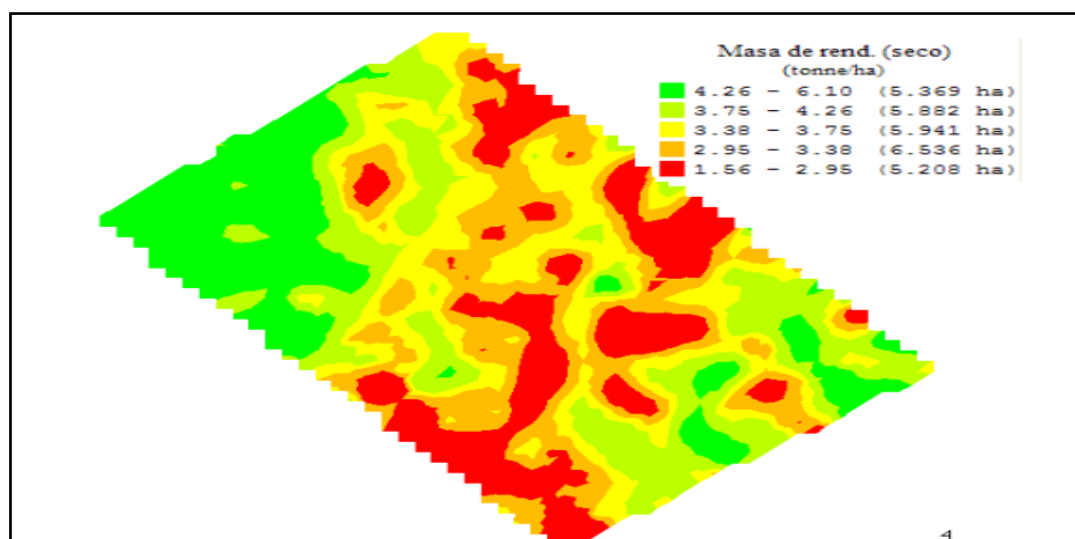


Figura 3. 3 Mapa de rendimiento mediante la medición del flujo de masa de grano a través de las cosechadoras (Méndes, 2007).

3.2.6 Mapas de diagnósticos

Para los mapas de Diagnóstico se utilizan métodos cartográficos para representar los resultados de la evaluación de los suelos de una determinada región. Se delimitará el área geográfica, recopilación de toda la información existente de la zona. Inventario de recursos (suelo, clima, topografía, vegetación y uso del suelo).

Estudio de la interpretación de fotografías aéreas y manejo de mapas (*Martínes, 2013*).

3.2.7 Mapa de prescripción

Se obtienen de imágenes aéreas geo-referenciadas del lote, tomadas previamente para reflejar la densidad de malezas real presente en el lote. La clave para describir adecuadamente la variabilidad de las propiedades químicas del suelo que limitan el rendimiento es la obtención de muestras espacialmente dependientes para la interpolación y generación de mapas. A partir de estas imágenes y mediante el uso de un software GIS, se puede generar un mapa que nos permita delimitar las zonas afectadas por malezas. Los mapas de rendimiento sirven para evaluar si realmente el factor limitante de la producción (nutriente) fue eliminado o si además existen otros factores que impiden la respuesta aplicada. Para un correcto mapeo de rendimiento debe utilizarse un software especializado (*Martínes, 2013*).

3.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El termino SIG o sistema de información geográfica (geographic information system) se emplea para referirse a varios conceptos interrelacionados pero diferentes. Por una parte se utiliza para hacer referencia al programa o aplicación de ordenador que sirve para manejar mapas (*Mancebo, 2008*).

Algunos autores restringen termino SIG a los programas de ordenadores capaces de, no solo permitir la visualización, consulta e impresión de los mapas, sino además realizar operaciones de análisis como superposiciones vectoriales o algebra de mapas. A los programas de ordenador capaces de manejar mapas sin

realizar análisis se les ha denominado también SIG de escritorio, desktop GIS (Mancebo, 2008).

3.3.1 Tipos de SIG

Estos pueden ser de dos tipos según el método usado para modelizar la realidad geográfica (vegetación, geología, edafología, temperatura, precipitación, altitud, carreteras, ciudades, ríos, divisiones administrativas).

Capa ráster: consiste en una malla rectangular de celdillas cuadradas o pixeles. En cada celdilla hay un número. Esta celdilla porta la información necesaria para modelar un aspecto del medio.

Son perfectos para modelar aspectos del medio muy variable, que generalmente son cuantitativos. Así los factores fisiográficos (altitud, pendiente, orientación), atmosféricos (temperatura, precipitación, contaminación) y otros se deben modelar siguiendo esta estructura de datos. Esto no significa que no pueda modelarse cualquier aspecto del medio. Cuando la capa representa algún aspecto cualitativo, la malla de números se complementa con una tabla en la que figura la correspondencia entre cada número y el tipo de entidad, así, por ejemplo, en una capa de vegetación el 1 podría ser pinar, el 2 encinar etc.

Capa vectorial: utiliza un conjunto de puntos, líneas o polígonos que modelan un aspecto del medio. Estos puntos, líneas o polígonos se conocen, de manera genérica, como objetos, características o entidades. Consta de una información gráfica o, más bien, geográfica, la localización, y de una información alfanumérica que describe determinadas características de las entidades. La información alfanumérica o atributos se encuentran en una tabla. A cada entidad le corresponde un registro (fila) en la tabla y viceversa. Dentro de la tabla, cada campo (columna) describe un aspecto de la entidad de la capa.

- Los puntos: Se reducen a pares de coordenadas latitud-longitud o x-y, que marcan la posición de lo modelado sobre la posición de la tierra. Así, los pozos, fuentes, manantiales, puntos contaminados pueden quedar representados con una entidad vectorial.
- Las líneas o poli-líneas: Son una serie ordenada de puntos denominados vértices, los puntos inicial y final se llaman nodos. Cuando se visualiza consiste en segmentos rectos entre los vértices. Permiten modelar carreteras, ríos, curvas a nivel etc.
- Los polígonos: Son líneas serradas que delimitan superficies. modelar vegetaciones, suelos, geologías, montes, provincias, países etc.

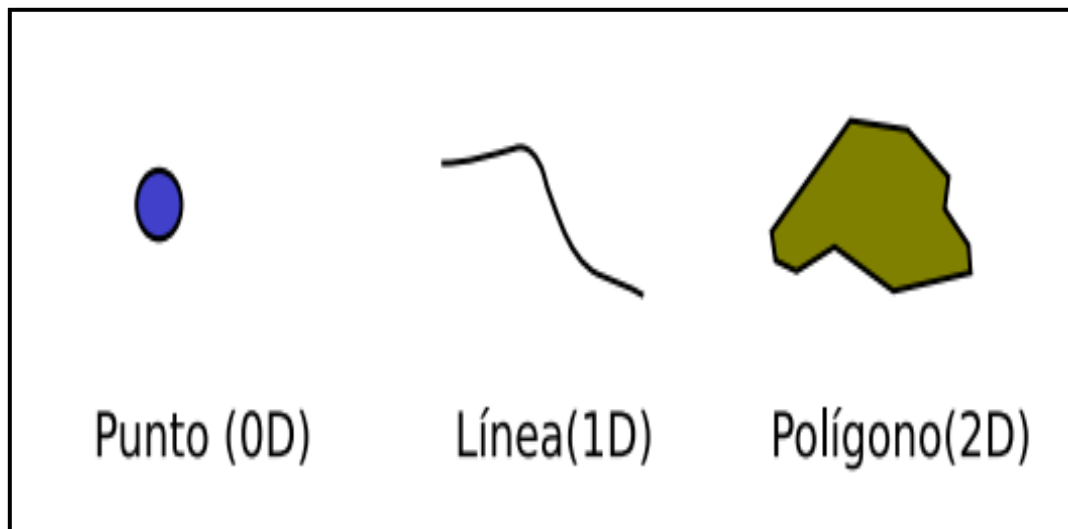


Figura 3. 4 Dimensiones de los datos dentro de un sistema de información geográfica (Mancebo, 2008).

Los Sistemas de Información Geográfica SIG vectoriales son los más adecuados para modelar aspectos pocos variables, generalmente cualitativos, esto no significa que no pueda modelarse cualquier tipo de aspecto del medio. Los polígonos funcionan de forma similar a una capa ráster si se han realizado clases de cualquier aspecto cualitativo. Las líneas también pueden representar aspectos cuantitativos en la forma de iso-líneas (curvas de nivel o isohipsas, isotermas, isoyetas) (Mancebo, 2008).

3.3.2 Productos software SIG en el mercado

3.3.2.1 Productos comerciales

- ArGis SIG ráster y vectorial
- Autodesk MapGuide SIG vectorial
- Geomedia SIG vectorial y ráster
- Idrisi SIG ráster

- Manifold SIG vectorial
- Mapinfo SIG vectorial
- Microstation geographic SIG vectorial
- Smallworld SIG vectorial

3.3.2.2 Productos libres

- Qgis SIG vectoriales y ráster
- Spring SIG ráster
- Grass SIG ráster
- gvSIG SIG vectorial y ráster

Un SIG (en inglés GIS, Geographical Information System) es una herramienta informática diseñada para el almacenamiento, visualización, gestión y análisis de información geográfica, es decir de información que está ligada a una referencia geográfica dada. Los SIG asocian informáticamente y de forma conjunta la situación espacial de los elementos, y la información temática asociada a ellos, es decir las características o los atributos de dichos elementos (*García, 2013*).

Un SIG trabaja a la vez con ambos tipos de información, espacial y temática y debe ser capaz de integrar, almacenar, editar, analizar y compartir los datos, además de presentar los resultados obtenidos (*García, 2013*).

Los primeros SIG aparecieron en la década de los 70, su tecnología ha evolucionado a ritmo similar al de las ciencias que permitan estudiar la tierra (cartografía, teledetección, fotogrametría, topografía, GPS, etc.) todo ellas impulsada por el rápido desarrollo de la informática y las telecomunicaciones y, en la actualidad, es difícil de encontrar un campo de actividad profesional o científico en el que no sean de utilidad (*García, 2013*).

Hasta la aparición de los SIG la gestión de este tipo de datos se realizaba mediante los mapas temáticos, esto es, con información sobre papel estática y de contenido limitado, superponiendo distintos mapas, trazados sobre papel transparente y a la misma escala, era posible estudiar algunos aspectos de los fenómenos cartográficos. La separación de la información en capas temáticas y el análisis basado en superposición de capas o en operaciones realizadas con distintas capas, sea ha transmitido a los SIG y es un procedimiento habitual en ellos, este análisis espacial, que antes tenía un uso limitado por sus dificultades y su rigidez se ha con vertido gracias a los SIG, en un elemento fundamental en la sociedad de la información (García, 2013).

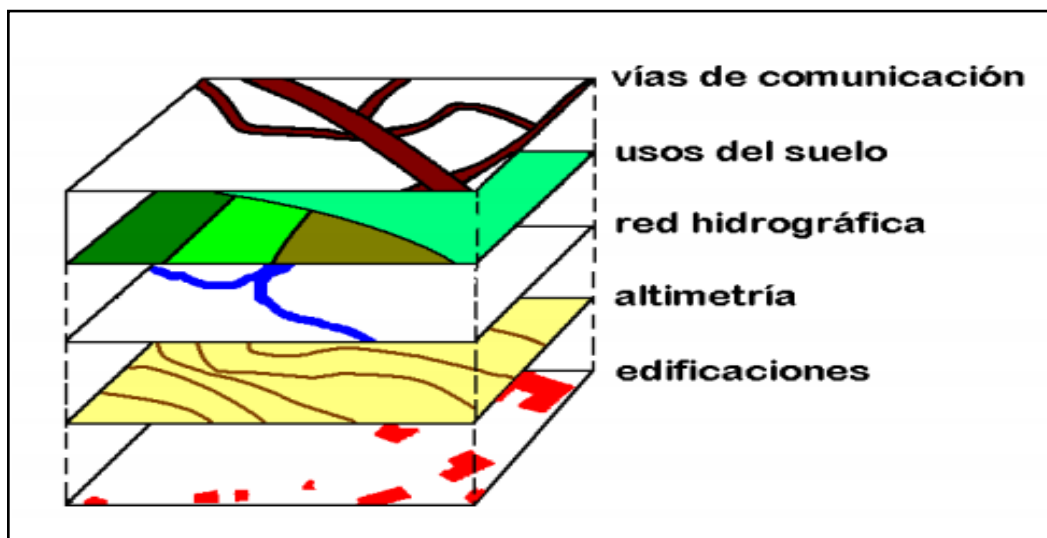


Figura 3. 5 Separación de la información en capas temáticas y el análisis basado en la superposición de capas (García, 2013).

Básicamente un SIG ha de realizar las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Este puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada elemento o valor).

- Generación de resultados tanto tales como mapas, informes, gráficos. Etc.

Una forma de entender un SIG es formando una serie de subsistemas, cada uno de ellos encargado de una serie de de funciones particulares.

- Gestión de datos: se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, la gestión de estos dentro del SIG. Permite a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- Visualización y creación cartográfica: crea representaciones a partir de los datos, (mapas, leyendas etc.), permitiendo así la interacción con ellos. Entre otras, incorpora también las funcionalidades de edición.
- Análisis: contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

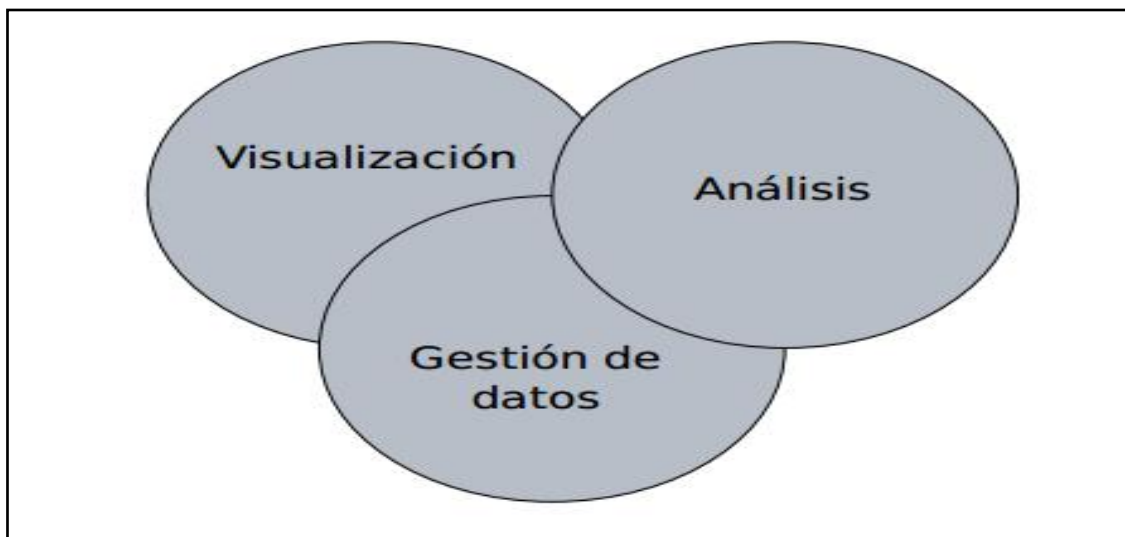


Figura 3. 6 Esquema de un SIG con tres subsistemas fundamentales: datos, visualización y análisis (García, 2013).

Otra forma de ver SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen:

- Datos: son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- Métodos: conjunto de de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- Software: es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- Hardware. El equipo necesario para ejecutar el software.
- Personas: las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema GIS.

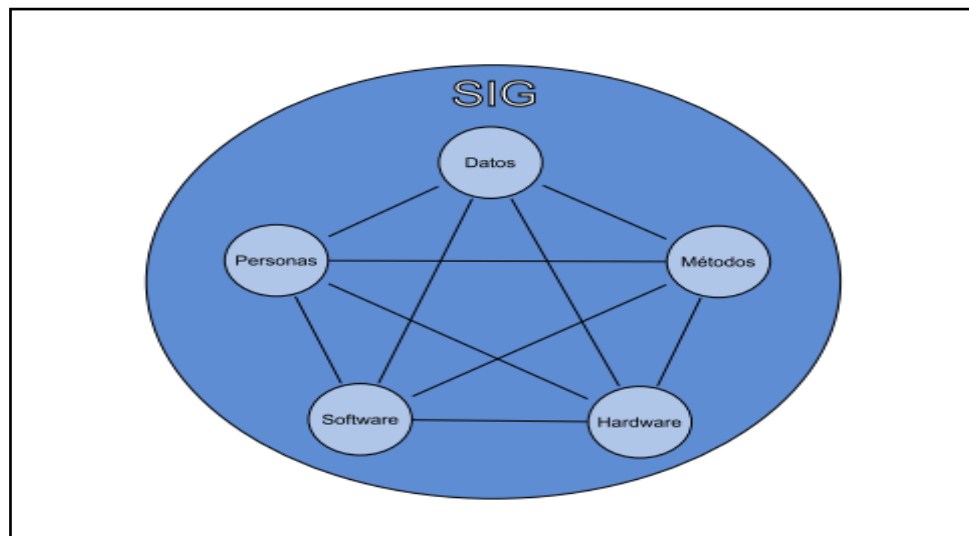


Figura 3. 7 Elemento que forman el sistema SIG (Mancebo, 2008).

3.4 Aplicaciones comerciales para agricultura de precisión

OmniSTAR HP: Codificación para señal con precisión 5-10 cm y convergencia estándar. OmniSTAR HP es adecuado para aplicaciones de siembra, pulverización y cosecha de cultivos de cereales con alta precisión, operaciones en zonas con clara visibilidad del cielo en todo momento.

OmniSTAR XP: Codificación para señal con precisión 8-10 cm y convergencia estándar. OmniSTAR XP es adecuado para aplicaciones de siembra localizada y pulverización de cultivos con alta precisión, operaciones en zonas con clara visibilidad al cielo en todo momento.

OmniSTAR G2: Codificación para señal con precisión 8-10 cm y convergencia estándar. OmniSTAR es adecuado para utilizarlo cuando se necesite un tiempo de cobertura más confiable, al usar satélites GLONASS, además de los satélites GPS normales. Opera en zonas con clara visibilidad del cielo en todo momento.

OmniSTAR VBS: Codificación para señal con precisión < 1 m convergencia < 1 min. OmniSTAR VBS es adecuado para los operadores que quieren un tiempo de inicialización rápido y no necesitan un alto nivel de precisión o repetitividad, pulverización de cultivos, aplicaciones de siembra localizada y otras aplicaciones que no requieren un nivel de precisión o repetitividad.

CenterPoint RTK: Codificación para señal con precisión < 2.5 cm, convergencia < 1 min. Center point RTK es adecuado para establecimientos agrícolas aproximadamente 13 km de una estación base RTK o red de estaciones base, establecimientos agrícolas sin obstáculos visuales, tales como: terrenos empinados o una abundancia de arboles, usar con cultivos en surco, labranza localizada, nivelación de terrenos y aplicaciones de drenaje que requieren de la mejor precisión horizontal y vertical posible.

CenterPoint RTX: Codificación para señal con precisión 4 cm, convergencia < Estándar. Center point RTX es adecuado para establecimientos agrícolas de cualquier lugar del mundo, establecimientos agrícolas alejados de las zonas de cobertura de estación base RTK, usar con las plantillas Trimble FMX y CFX-750, usar con cultivos y aplicaciones que necesiten precisión de 4 cm.

CenterPoint VRS: Codificación para señal con precisión <2.5 cm, convergencia <1 min. Center point VRS es adecuado para establecimientos agrícolas en zonas con buena cobertura celular, operaciones repartidas por una zona geográfica amplia, usar con cultivos en surcos, labranza localizada, y otras aplicaciones que requieren de una precisión mejor que 2.5 cm.

Simulador FMX: Es un software de aprendizaje para operar el sistema de control FMX, permite hacer levantamientos, mapas de nivelación, simulación de drenaje, entre otro. Pantalla Integrada FMX: La pantalla ayuda a controlar y registrar información de lote en tiempo real. Es una pantalla de guía avanzada con todas las prestaciones necesarias para encargarse de todas sus operaciones de agricultura de precisión: desde el registro de datos básico hasta operaciones avanzadas tales como control de aplicaciones, nivelación de terrenos o drenaje y cosecha.

Pantalla CFX-750: Es útil para monitorear y registrar información del lote para las aplicaciones de cultivos de cereales y cultivos en surco en tiempo real, es compatible con varias constelaciones de satélites y niveles de precisión por lo que es ideal para prácticamente cualquier lugar, tipo de cultivo, forma del campo o tipo de suelo.

RTK: Es la estación base para conseguir una operación confiable y precisa.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

4.1.1 Localización del sitio de prueba

Las pruebas de calibración que anteceden al trabajo de campo se realizaron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en el Departamento de Maquinaria Agrícola.

Para el trabajo de campo, las evaluaciones se realizaron en el rancho Navidad Humberto Treviño Siller en Galeana, Nuevo León, México. Latitud $25^{\circ} 2'19.93''N$ y Longitud $-100^{\circ}37'29.93''O$. cuenta con extensión aproximada de 100 has.



Figura 4. 1 Rancho navidad donde se llevo a cabo los ensayos experimentales.

4.1.2 Software

- Qgis 2.2.0
- GoogleEarth 7.1.1
- FarmWorks 2.1.1
- Microsoft Excel 2007

Qgis. Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que ofrece muchas funcionalidades comunes, entre las que podemos mencionar:

- Ver datos.
- Exploración de datos y diseños de mapas.
- Crear, editar, manejar y exportar datos.
- Análisis de datos espaciales.

GoogleEarth. Es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiples cartografías, con base en fotografía satelital. El mapa de GoogleEarth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imagen satelital, fotografías aéreas, informaciones geográficas provenientes de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por ordenadores.

FarmWorks. Es un software que permite una gestión avanzada para la gestión de campos y clientes, importación y creación de mapas de rendimiento, analisis de muestras de suelo, mapas de aplicación de agroquímicos y fertilizantes, tipos de suelo, drenaje, fotos y otros datos de importancia.

Microsoft Excel. Es un software que permite crear tablas, calcular y analizar datos. Este tipo de software se denomina software de hoja de cálculo. Excel permite crear

tablas que calculan de forma automática los totales de los valores numéricos que especifica, imprimir tablas con diseños cuidados, y crear gráficos simples. Excel forma parte de “Office”, un conjunto de productos que combina varios tipos de software para crear documentos, hojas de cálculo y presentaciones, y para administrar el correo electrónico.

4.1.3 Equipos

- Pantalla integrada FMX.
 - Survey.
 - FieldLevel II.
- Antena de corrección RTK.
- Tractor John Deere 6403.

Pantalla integrada FmX. Permite realizar una amplia gama de operaciones de agricultura de precisión. Permite un buen rendimiento y control al contar con un sistema de doble recepción GPS/GNSS que permite actualizar para obtener mejores calidades y rangos de precisión con las señales OmniSTAR, RTX, RTK y GLONASS. Debido a sus prestaciones avanzadas en todas las etapas del ciclo del cultivo, desde la preparación del terreno a la cosecha, aumenta la productividad a lo largo de todo el año. Permite la guía, dirección y registro de varias aplicaciones para agricultura de precisión en actividades como: preparación de terrenos, control de equipos de aspersión, siembra y cosecha.

Survey. Es una aplicación de la pantalla FmX usada para mapear campos, crea límites, puntos interiores y las superficies con facilidad, calcula e informar sobre la verdadera superficie de su estudio de la zona-para cobertura de campo óptimo y diseños de superficie precisos. Analiza una vista 3D de los datos de elevación para entender fácilmente la disponibilidad de agua dentro en el lote. Crea mapas de los

canales y todo el sistema de tuberías e ingresa información, Tal como el tipo de material a usar y el tamaño de la tubería.

FieldLevel II. Es una facilidad del sistema de control Fmx que proporciona soluciones completas para la topografía, el diseño, y los pasos de nivelación necesarios para los proyectos de nivelación de tierras.

Antena de corrección RTK. (Del inglés Real Time Kinematic) o navegación cinemática satelital en tiempo real, esta es una técnica usada para la topografía y navegación marina basado en el usos de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS. Donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud sub métrica. La estación base RTK envía correcciones mediante un transmisor de radio a los receptores móviles que hay en el vehículo. Estas pueden proporcionar una precisión de 2.5 cm.

Tractor John Deere 6403. Este fue equipado con los sistemas de control automático para realizar el levantamiento topográfico de la parcela.

- Motor PowerTech turbo cargado de 106 hp, 4 cilindros
- Transmisión sincronizada 9 velocidades de avance y 3 de reversa
- Frenos mecánicos bañados en aceite
- Sistema hidráulico de centro abierto con bomba de engranes a 66.62 litros por minuto

4.2 Metodología para la obtención de mapas de prescripción

Para lograr los objetivos de la presente investigación se generaron los mapas de prescripción siguiendo las actividades que se enmarcan en el siguiente diagrama:

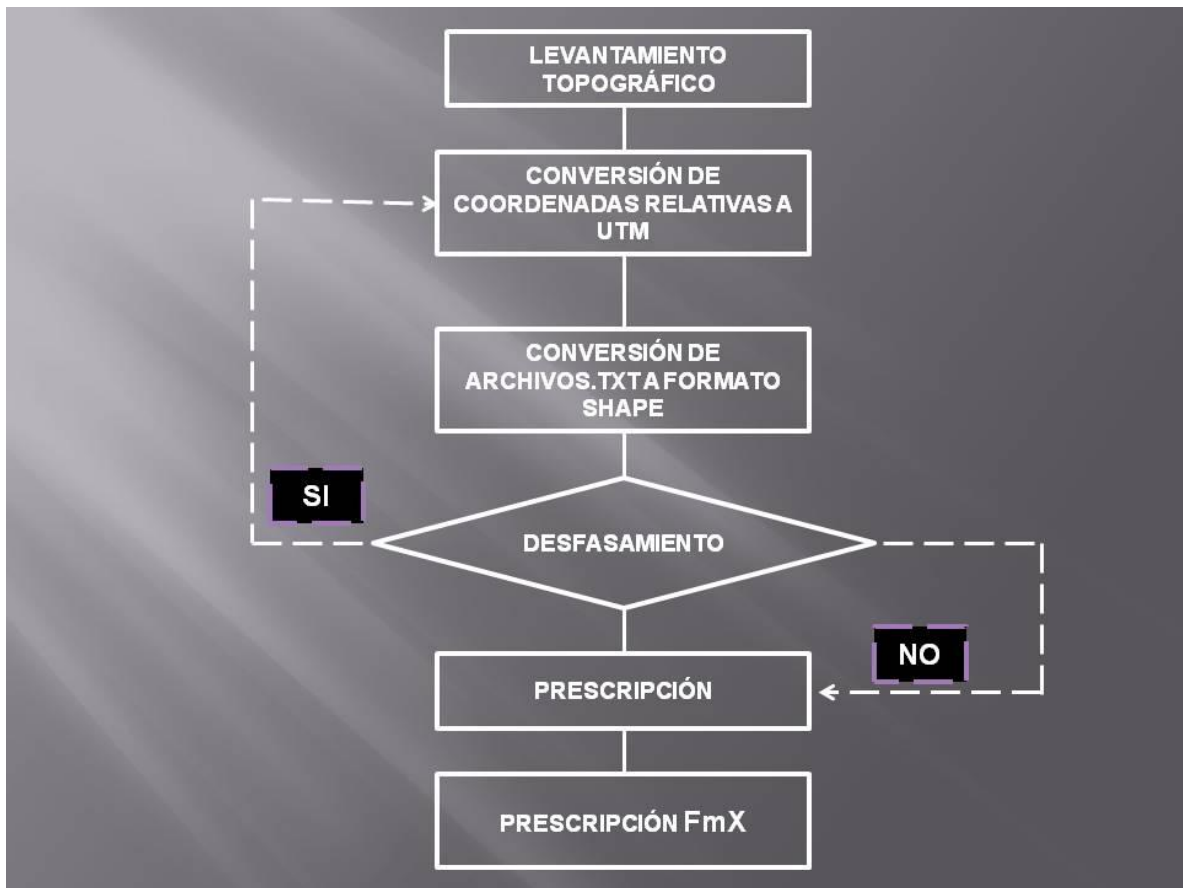


Figura 4. 2 Metodología empleada para obtener los mapas de prescripción.

4.2.1 Levantamiento Topográfico

Para generar un levantamiento topográfico de la parcela se empleó el controlador FmX con la facilidad survey, se genera un Máster Bench Point (MBP) o punto

maestro fuera del terreno. Luego se define la extensión de la parcela haciendo un recorrido por el borde de la misma, posteriormente se hace un recorrido en el interior del terreno para registrar la altitud, al finalizar se guarda o se cierra el campo generado y la pantalla guarda automáticamente los archivos en su memoria interna que después podrán ser extraídos en un dispositivo de almacenamiento USB.

4.2.2 Conversión de coordenadas relativas a UTM.

Una vez hecho el levantamiento topográfico se extrae el archivo MultiPlane.txt (figura 4.3) de la pantalla FmX en un dispositivo USB, este archivo de texto contiene el recorrido en base a puntos de posición (Latitud, Longitud y Alturas). Los puntos que se generan son relativos al MBP en unidades métricas. El punto maestro es generado en coordenadas geográficas con formato Grados Minutos y Segundos (GMS) por la pantalla FmX.

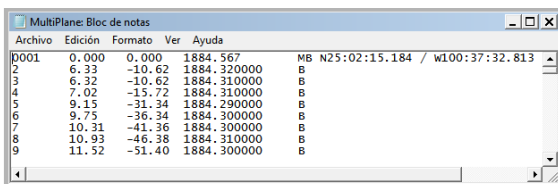
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
0001	0.000	0.000	1884.567	MB N25:02:15.184 / W100:37:32.813
2	6.33	-10.62	1884.320000	B
3	6.32	-10.62	1884.310000	B
4	7.02	-15.72	1884.310000	B
5	9.15	-31.34	1884.290000	B
6	9.75	-36.34	1884.300000	B
7	10.31	-41.36	1884.300000	B
8	10.93	-46.38	1884.310000	B
9	11.52	-51.40	1884.300000	B

Figura 4. 3 Archivo MultiPlane .txt.

Para visualizar los datos en Qgis es necesario convertir las coordenadas del MBP a UTM debido a que los registros de toda la parcela están dados en coordenadas relativas al MBP en metros (Figura 4.4). Para la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM se usaron los softwares Qgis 2.2.0 y GoogleEarth pro. Abrimos con Excel office el archivo MultiPlane.txt y se extrae el MBP que se encuentra en la primera celda de la hoja de cálculo de Excel y se guarda como un

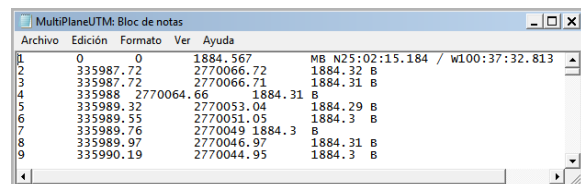
archivo de texto (.txt) delimitado por tabulaciones que es un formato que se usa para abrir desde Qgis.

Con Qgis se importa el archivo .txt delimitado por tabulaciones que se genera con Excel para convertirlo a KML (Keyhole Markup Language), este formato es el que reconoce Google Earth para conocer las coordenadas tanto geográficas como UTM del MBP. Una vez que se obtuvo las coordenadas en UTM se llevan a Excel para poder convertir las coordenadas relativas en UTM (Figura 4.5).



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
0001	0.000	0.000	1884.567	MB N25:02:15.184 / w100:37:32.813
2	6.33	-10.62	1884.320000	B
3	6.32	-10.62	1884.310000	B
4	7.02	-15.72	1884.310000	B
5	9.15	-31.34	1884.290000	B
6	9.75	-36.34	1884.300000	B
7	10.31	-41.36	1884.300000	B
8	10.93	-46.38	1884.310000	B
9	11.52	-51.40	1884.300000	B

Figura 4. 4 Coordenadas relativas.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	0	0	1884.567	MB N25:02:15.184 / w100:37:32.813
2	335987.72	2770066.72	1884.32	B
3	335987.72	2770066.71	1884.31	B
4	335988	2770064.66	1884.31	B
5	335989.32	2770053.04	1884.29	B
6	335989.55	2770051.05	1884.3	B
7	335989.76	2770049	1884.3	B
8	335989.97	2770046.97	1884.31	B
9	335990.19	2770044.95	1884.3	B

Figura 4. 5 Coordenadas UTM.

4.2.3 Conversión de archivo .txt a formato shape

Este manual se elaboro para convertir el formato MultiPlane .txt generado por la pantalla que se convirtieron a coordenadas métricas o UTM. Para convertirlos a formato shape de esri ya que es la forma en que podemos trabajar en Qgis porque de otra forma no podemos realizar ningún cambio a menos que sea un formato shape. En el manual mencionamos la forma de cómo agregar un archivo .txt y la forma en que se convierte a shape a demás vemos si existe desfaseamiento a la hora convirtieron las coordenadas relativas en caso de existir desfaseamiento no podemos crear los mapas de prescripción y tendríamos que buscar otra forma de convertir las coordenadas relativas para que fueran más exactas y consideran donde se hizo el levantamiento.

4.2.4 Mapa de verificación en FarmWorks office.

El mapa de verificación se generó para comprobar que no hubiera ningún desfaseamiento entre la parcela original y la de prescripción.

Para verificar el desfaseamiento se proyectó el mapa de prescripción desde GoogleEarth y FarmWorks.

Se siguieron los siguientes pasos que a continuación se describen:

- Como abrir el programa FarmWorks.
- Como generar un campo nuevo.
- Como abrir el formato de Shape de prescripciones
- Como conocer la ubicación usando GoogleEarth.

Para subir nuevamente el archivo de prescripciones al simulador FmX tenemos que abrir el formato DBF que te genera Qgis después que se modificaron las alturas tenemos un archivo final, con Excel office se abre nuevamente el archivo en formato DBF y colocamos el Máster Bench Boint que se tenía en el formato original y se guarda como archivo .txt delimitado por tabulaciones para dejarlo como estaba en el formato original como si nada se hubiera modificado y por medio de un dispositivo USB de almacenamiento masivo subir el dato a la pantalla.

4.2.5 Generación de mapas de prescripciones

Para generar los mapas de prescripciones fue necesario convertir el formato .txt de coordenadas UTM a un formato Shape de Esri.

Con este tipo de archivos se trabajó para poder darles las prescripciones del levantamiento topográfico. Se tomaron en cuenta tanto la proyección y el Datum de nuestra parcela así como la zona a la que pertenece. La proyección que se uso fue la UTM (Universal Transversal de Mercator) y el Datum fue WGS84 zona 14N. Ya que El WGS84 es el Datum utilizado por la mayoría de los sistemas de posicionamiento global (GPS) para registrar posiciones (coordenadas) en la Tierra, el cual es válido para cualquier posición en el planeta Tierra.

Para crear los mapas de prescripción se ordenaron las parcelas en 15 lotes de 200X200m, las profundidades que se usaron fueron de 20, 30 y 40 cm, a cada lote se le dio una profundidad de forma aleatoria.

Con el software Qgis se creó una cuadrícula en simulando la parcela en forma de lotes, luego se unieron los atributos de la cuadrícula con el archivo MultiPlane. Una

vez teniendo los lotes de manera individual se dieron las diferentes profundidades a cada lote.

Una vez modificada las alturas de los lotes se unieron nuevamente para crear la parcela pero con las prescripciones dadas a cada lote.

V. RESULTADOS

Se generaron cinco manuales, uno para la operación y funcionamiento de la pantalla FmX para hacer el levantamiento topográfico, el segundo manual para convertir coordenadas geográficas relativas generadas por la pantalla FmX a coordenadas UTM, el tercer manual incluye la forma de convertir el formato MultiPlane que se tiene en .txt a archivo shape usando el software Qgis, el cuarto manual incluye las instrucciones de cómo elaborar los mapas de prescripción en base al archivo de puntos generados por el controlador FmX, y un quinto manual para el uso de FarmWorks y Google Earth para verificar un posible desfase debido a la conversión de coordenadas.

En la Figura 5.1 se especifican los manuales a revisar de acuerdo a la metodología empleada para la elaboración de los mapas de prescripción. Los 5 manuales se proporcionan en formato digital con los siguientes nombres:

- Operación de la pantalla FmX.
- Manual de Excel
- Uso de Qgis
- Uso de FarmWorks
- Mapa Prescripciones.

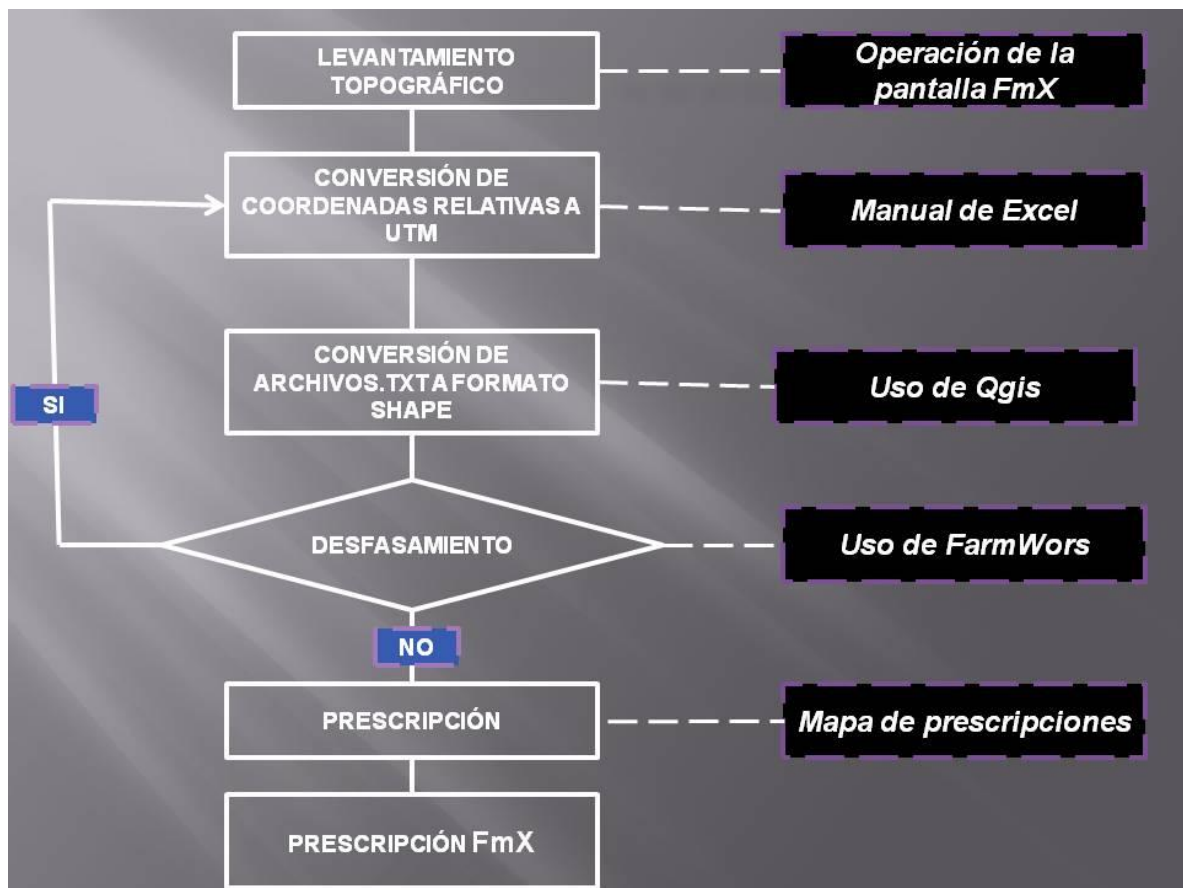


Figura 5. 1 Método empleado para la elaboración de los mapas de prescripción.

5.1 Levantamiento topográfico

5.1.1 Operación de la Pantalla FmX

El manual fue elaborado para conocer desde la instalación de la pantalla hasta la extracción de los datos que esta genera una vez hecho el levantamiento topográfico. A continuación de enlistan los temas tratados en este manual:

- Conocer las partes de la pantalla.
- Instalación de la pantalla al tractor.
- Encendido de la pantalla.

- Como agregar y quitar las aplicaciones o facilidades a usar para el levantamiento topográfico.
- Configuración de las facilidades Survey y FieldLevel II.
- Como generar el levantamiento topográfico.
- Extracción de datos de la pantalla con un dispositivo de almacenamiento masivo USB.

5.2. Conversión de coordenadas relativas a UTM

5.2.1 [Manual de Excel](#)

En este manual se detalla la forma de editar los archivos que genera la pantalla FmX. Especialmente el Máster Bench Point (MBP) o punto maestro que se encuentra en coordenadas geográficas (GMS) para convertirlas a coordenadas UTM o métricas.

Para generar la conversión de coordenadas geográficas en la que se encuentra el Máster Bench Point se usó Excel y los softwares Qgis y GoogleEarth. Desde Excel se abre el archivo MultiPlane.txt; se extraen el MBP o punto maestro que se encuentran en GMS y se pasa a coordenadas geográficas decimales (Anexo 6.1). Desde Excel se guardan como archivo (.txt), delimitado por tabulaciones para posteriormente editarlo desde Qgis. Del Software Qgis se guarda como KML que es formato con el que trabaja GoogleEarth de donde se obtiene la ubicación del MBP en coordenadas UTM.

Una vez que se guarda con Qgis en formato KML y se visualiza en GoogleEarth se toman las coordenadas UTM desde GoogleEarth y se llevan a Excel para modificar las coordenadas relativas del archivo MultiPlane .txt y una vez que se

obtiene la conversión de todo el archivo se guarda nuevamente como archivo delimitado por tabulaciones para trabajar desde Qgis.

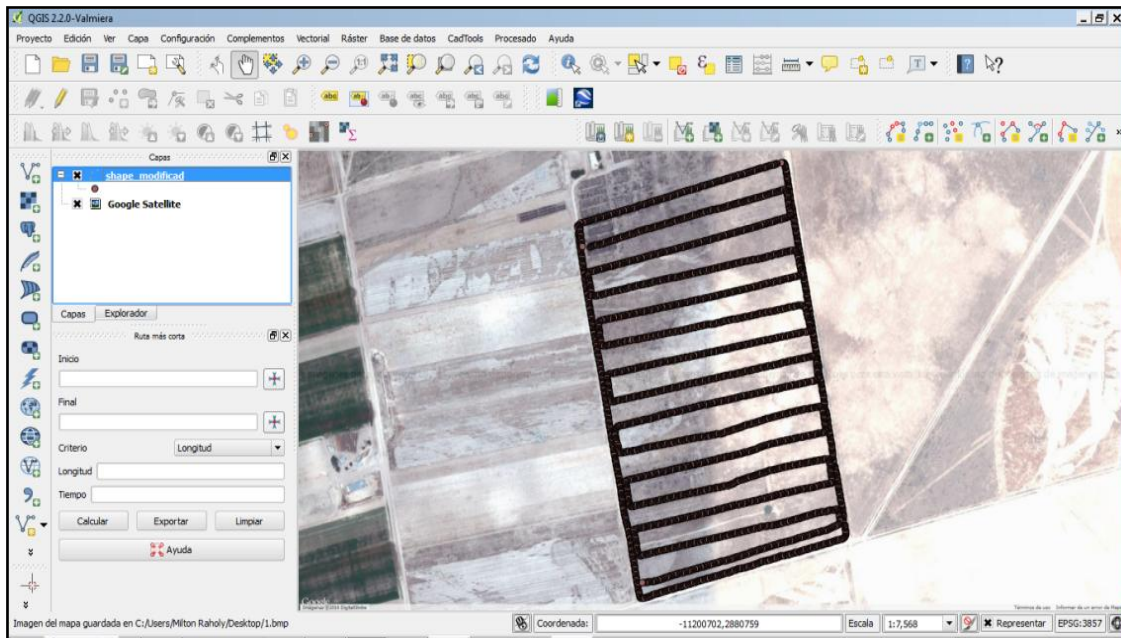


Figura 5. 2 Mapa del recorrido en campo visto desde Qgis.

5.3 Conversión de archivo .txt a formato shape

5.3.1 Uso de Qgis

El objetivo de este manual fue la conversión del archivo MultiPlane.txt delimitado por tabulaciones a archivo Shape de Esri que es un formato con el cual se trabajo para poder generar las prescripciones del mapa topográfico con el software Qgis.

El manual contiene los siguientes pasos para la obtención de los mapas de prescripción.

- Como agregar un archivo de texto delimitado por tabulaciones
- Qué tipo de proyección se le dará al archivo

- Que Datum se usará
- Pasos para guardar en formato shape
- Se verifica desde GoogleEarth que no exista desfase para seguir a darle las prescripciones.

5.4 Mapa de verificación en FarmWorks office.

5.4.1 Uso de FarmWorks

Durante el proceso de transformación de coordenadas es probable que se tenga un desfase en el mapa de prescripción al momento de cargarlo a la pantalla FmX. El software compatible con el sistema de coordenadas que utiliza el controlador es FarmWorks; por lo que este manual describe el proceso para cargar el mapa de prescripción en FarmWorks y de esta manera comprobar que no exista desfase.

El contenido de este manual es:

- Uso de Farmworks.
- Como importar el archivo Shape de Esri a FarmWorks.
- Como exportar a GoogleEarth.

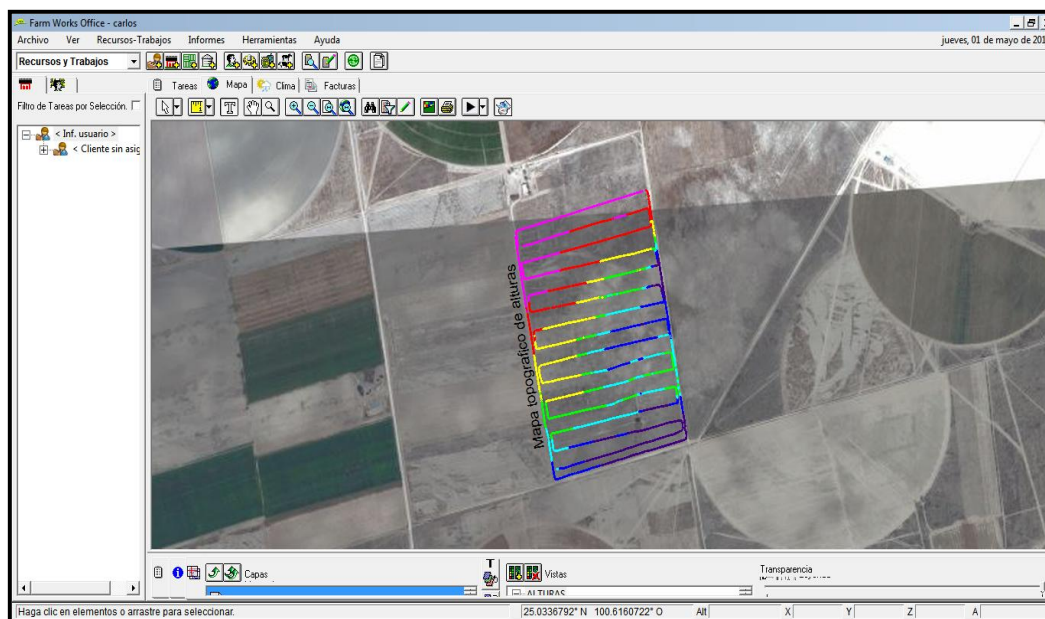


Figura 5. 3 Mapa de prescripciones visto desde FarmWorks una vez que se dieron las profundidades.

5.5 Generación de mapas de prescripción

5.5.1 Mapas de Prescripción

El objetivo de la elaboración de este manual fue conocer la respuesta del simulador FmX una vez que se dieron las profundidades adecuadas y conocer las alturas del terreno que genera la pantalla y la que se puede generar con el software Qgis y si la pantalla es capaz de reconocer la prescripción.

El manual contiene los siguientes pasos que se llevaron a cabo para lograr darles las prescripciones que se usaron.

- Como subir un archivo shape de Qgis
- Definir las alturas de prescripción

- División de la parcela en lotes.
- Crear una interpolación de las alturas de la parcela.
- Generar los mapas de prescripción.
- Importar a GoogleEarth
- Agrupar los lotes en un solo archivo.

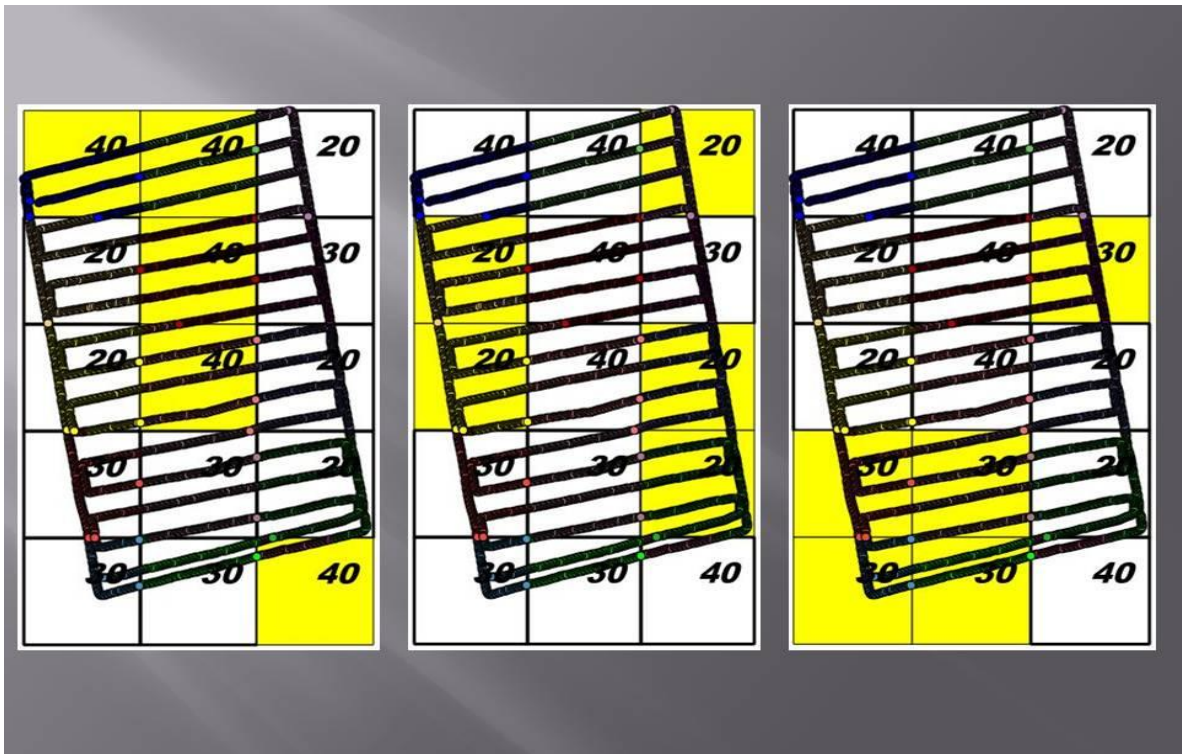


Figura 5. 4 Mapa de prescripciones obtenidas con Qgis.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al elaborar los mapas del levantamiento topográfico y los mapas de prescripción con el apoyo de sistemas de información geográfica no se encontraron ningún desfase entre el mapa topográfico y los mapas de prescripción una vez que se dieron las profundidades respectivas a cada lote.

Para cargar la información a la pantalla FmX se requiere subir el archivo MultiPlane (.txt) con la información modificada con el mismo Máster Bench Point (MBP), con las coordenadas relativas (originales) y las alturas modificadas (prescripción).

El sistema de información geográfica QGIS genera cinco archivos diferentes al manipular la información, del resultado final obtenido se sube a la pantalla el formato (DBF).

6.2 Recomendaciones

Obtener licencia del software FarmWorks Office (surface), el cual es compatible con la pantalla de control FmX para generar los mapas de prescripción con facilidad.

Realizar un diagnóstico de la resistencia a la penetración del suelo para definir los lotes y prescripciones en base a la localización de las capas compactadas.

Probar en campo la prescripción elaborada mediante QGIS con las profundidades utilizadas y medir las variables de respuesta, disparo, estabilidad y error que tiene el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

BAÑOS, A. (2003) Metodología para la evaluación económica de un proyecto de agricultura de precisión. Instituto Universitario IDEA, 1-44.

BONGIOVANNI, R. (2004). Rentabilidad de la Agricultura de Precisión. Revista Agromercado, Chile, 1-12.

CHOSLA, R. (2001). Zoning in on precision agriculture. Colorado State University Agronomy Newsletter, Estados Unidos, 2-4.

GARCÍA, L. J. (2013). gvSIG guía para el aprendizaje autónomo. Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, 1-185.

GIL, E. (2008). Situación actual y posibilidades de la Agricultura de Precisión. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, España, 59(1-12).

GUTIÉRREZ, J. (2012). (Sensores de Diagnostico Aplicados a la Labranza para Agricultura de Precisión). . Tesis de Nivel Licenciatura. Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

KREIMER, P. (2003). Las TICs en la agricultura de precisión, ceditec (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM). Ceditec (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM).

LAGO, C. (2011). Sistema para la Generación Automática de Mapas de Rendimiento. Aplicación en la Agricultura de Precisión. IDESIA, CHILE, 59(1-12).

LISARAZO, S. I., & ALFONZO, C. O. (2010). Precision Agriculture Applications in the Cultivation of *Elaeis Guineensis* and Hybrid O x GOil Palms. Revista de Ingeniería, Argentina, 124(1-7).

LÓPEZ, J. A. (2012). Evaluación de un sensor de Permisibilidad Electrica Para Agricultura de Precisión. Tesis de Nivel Licenciatura. Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro., 1-70.

MANCEBO, Q. S. (2008). Aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental . Libros SIG, España, 109(1-15).

MARTÍNES, D. (2013). Desarrollo de Procedimiento para la elaboración de Mapas de Prescripción empleando SIG y Sistemas de Control FMX. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, DIVISIÓN DE INGENIERÍA, 1-57.

MÉNDES, A. (2007). Puntos Claves para Lograr un Mapa de Rendimiento con Datos Confiables. Proyecto Maquinas y Agrocomponentes Precisos – INTAManfredi, Argentina, 1-4.

ORTEGA, R. (2000). Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico. CRI Quilamapu INIA Departamenyo de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Argentina, 1-8.

ORTÍZ, M. (2007). Detección y rastreo de dispositivo de inspección y mantenimiento (DIM) por medio del sistema de posicionamiento global (GPS) para la red de ductos de PEMEX. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mexico, 1-172.

PIMENTEL, D. S. P. (2008). Reducing energy inputs in the US food system. Argentina, 459-471.

REYNOLDS, M. (2012). Protocolo de Proyecto de Investigación (Programa Doctoral) de Ingeniería en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

RIQUELME, J. (2011). Contribución a las Redes de Sensores Inalámbricas. Estudio e Implementación de Soluciones Hardware para la Agricultura de Precisión. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, Colombia, 310(1-40).

TERRY, L. R. (2000). Manejo sitio específico de Nutrientes-Avances en Aplicaciones con Dosis Variable. INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Manfredi, Argentina, 1-9.

PAGINAS WEB SITADAS

Agricultura de precisión. [En línea] [Fecha de consulta 25 de Febrero del 2014]<
[http://agricultura de presicion.com](http://agricultura.de.presicion.com)>

Sensor Automatización Agrícola S.A Grupo Senso [En línea] [Fecha de consulta:
15 de Abril de 2014] < <http://www.sensoragri.com/sensor/agricultura-de-precisión-htm>>

VII. ANEXOS

7.1 Manipulando archivo .txt desde Excel

1.- Desde Excel se abre el formato MultiPlane (.txt).

- Abrir
- Buscar el archivo MultiPlane.
- Clic sobre el archivo y se da abrir. Figura 7.1.

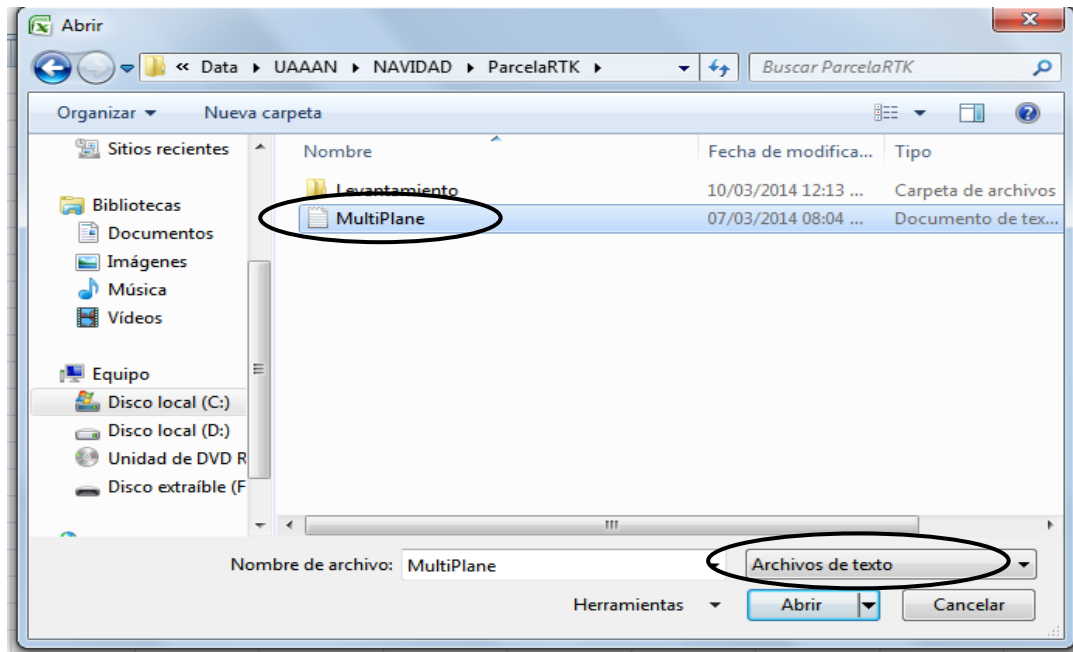


Figura 7. 1 Pasos que se siguen para abrir el archivo de texto MultiPlane desde Excel.

2.- En la siguiente ventana seleccionar Delimitados (Figura 7.2) y clic en siguiente.

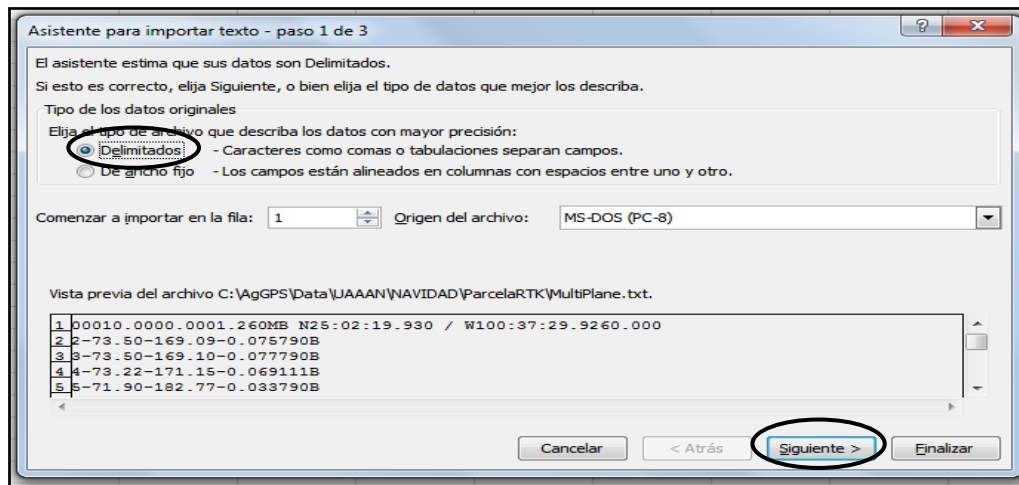


Figura 7. 2 Pasos a seguir para abrir el archivo MultiPlane .txt.

3.- Seleccionar *Tabulación* y clic en *Siguiete* (Figura 7.3)

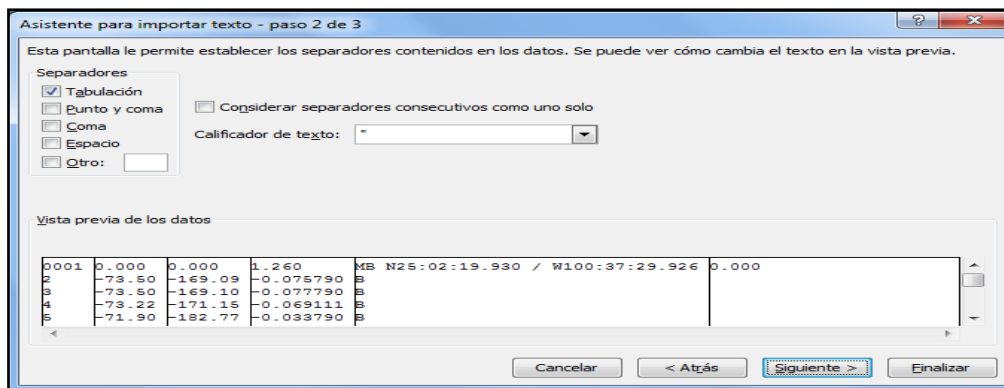


Figura 7. 3 paso final que se sigue al abrir el formato, txt, y visualizarlo en Excel.

4.- Se extrae el MBP (Master Bench Point o punto maestro) del archivo.

- El MBP se encuentra en grados, minutos y segundos.
- El MBP se encuentra en la primera fila del documento.

	A	B	C	D	E	F
1	1	0	0	1.26 MB N25:02:19.930 / W100:37:29.926	0	
2	2	-73.5	-169.09	-0.07579	B	
3	3	-73.5	-169.1	-0.07779	B	
4	4	-73.22	-171.15	-0.06911	B	
5	5	-71.9	-182.77	-0.03379	B	
6	6	-71.67	-184.76	-0.04201	B	
7	7	-71.46	-186.81	-0.04779	B	
8	8	-71.25	-188.84	-0.0469	B	
9	9	-71.03	-190.86	-0.04379	B	
10	10	-70.83	-192.94	-0.04235	B	
11	11	-70.6	-195	-0.04879	B	
12	12	-70.35	-197.05	-0.04901	B	
13	13	-70.09	-199.1	-0.05679	B	
14	14	-69.84	-201.16	-0.05601	B	

Figura 7. 4 El MBP se encuentra en la primera fila del archivo.

5.- Una vez identificado el MBP procedemos a hacer una serie de operaciones para convertir el MBP de grados, minutos y segundo a coordenadas geográficas decimales.

**CONVERSIÓN DE GRADOS
SEXAGESIMALES A GRADOS DECIMALES**

ID	Grados	Minutos	Segundos
N	25	2	19.93
W	100	37	29.926

- La coordenada Norte 25°2'19.930"**
- 1.- Multiplicamos los minutos por 60.**
 $2 \times 60 = 120$
- 2.- Sumamos los segundos al resultado.**
 $120 + 19.930 = 139.930$
- 3.- Dividimos el resultado entre 3600.**
 $139.930 / 3600 = 0.03886944$
- 4.- El resultado obtenido se suma a los grados.**
 $0.03886944 + 25 = 25.03886944$
N = 25.03886944
- 5.- esto mismo se hace para W pero debemos tener cuidado porque el resultado final se multiplica por -1 por la posición en la que nos encontramos con el meridiano de Greenwich.**

Figura 7. 5 Pasos para convertir las coordenadas geográficas de GMS a coordenadas geográficas decimales.

- Esto mismo se hace para **W** el resultado final se multiplica por -1 por la posición en la que se encuentra con el meridiano de Greenwich.

6- Una vez obtenidas las coordenadas geográficas decimales se procede a ponerlos en una hoja nueva de Excel.

- Una vez en la hoja de cálculo de Excel lo identificamos con un **ID** y le damos las coordenadas correspondientes (**X, Y**).

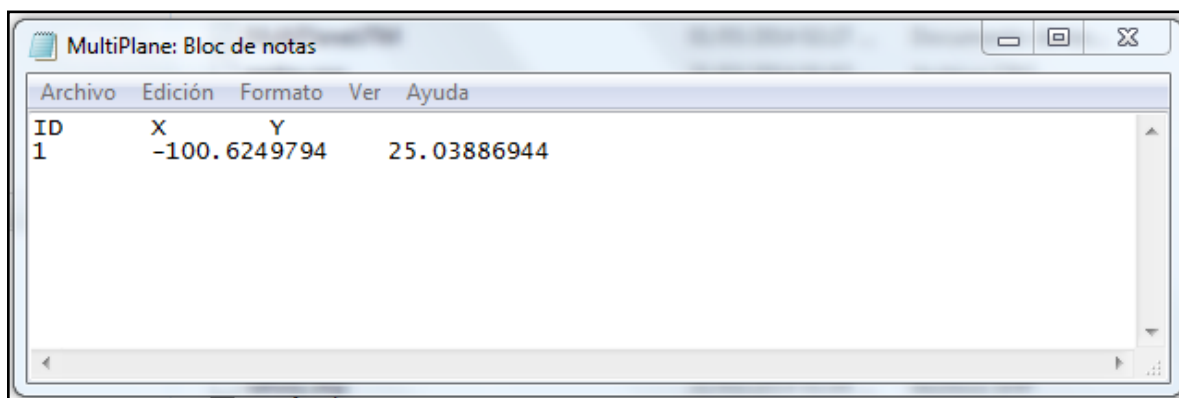


Figura 7. 6 Corresponden al MBP en coordenadas geográficas decimales.

7.- Después se guarda como texto delimitado por tabulaciones.

- Guardar como.
- Se da un nombre al archivo.
- Se escoge el tipo de formato con el que se guardar (texto delimitado por tabulaciones).

8.- Abrir el software Qgis para visualizar el archivo de texto (.txt) delimitado por tabulaciones que se genera con la hoja de cálculo Excel.

- Una vez abierto el software vamos a la barra de herramientas.

- De la barra de herramienta se escoge capa.
- Luego de eso vamos a añadir capa de texto delimitado.
- Se le da explorar donde se tiene guardado el archivo.
- Se escoge el archivo y se da abrir.
- Se usa delimitadores personalizados.
- Se escoge el de tipo tabulador.
- Se debe ver que las coordenadas (X, Y) sean las correctas.
- Por último se da aceptar.

Al dar aceptar Qgis nos manda a una ventana donde se tiene que seleccionar el sistema de referencias de coordenadas (SRC) que se debe asignar al archivo.

El software nos asigna un sistema de referencia de coordenada pero el de nuestro archivo por encontrarse en coordenadas geográficas decimales será: WGS 84----- EPSG 4326. Que es para coordenadas geográficas.

9.- Teniendo en la vista de Qgis el mapa del punto procedemos a guardarlo como formato KML. Esto es para verlo desde GoogleEarth, KML es un tipo de archivo compatible con GoogleEarth esto nos servirá para poder conocer qué tipo de coordenadas en UTM tiene nuestras coordenadas geográficas.

- Clic derecho sobre la capa.
- Guardar como.
- Se le da el tipo de formato como lo queremos guardar (KML).
- Explorar en guardar como para darle una ubicación de donde se quiere guardar.

- Se le asigna el mismo sistema de coordenadas él: WGS 84.
- Por último aceptar.

10.- una vez obtenido el formato KML generado por el software Qgis.

- Se busca la ubicación donde se guardado.
- Se da clic para que nos mande a la ubicación del punto.
- Clic derecho para ver que las coordenadas geográficas sean las correctas.

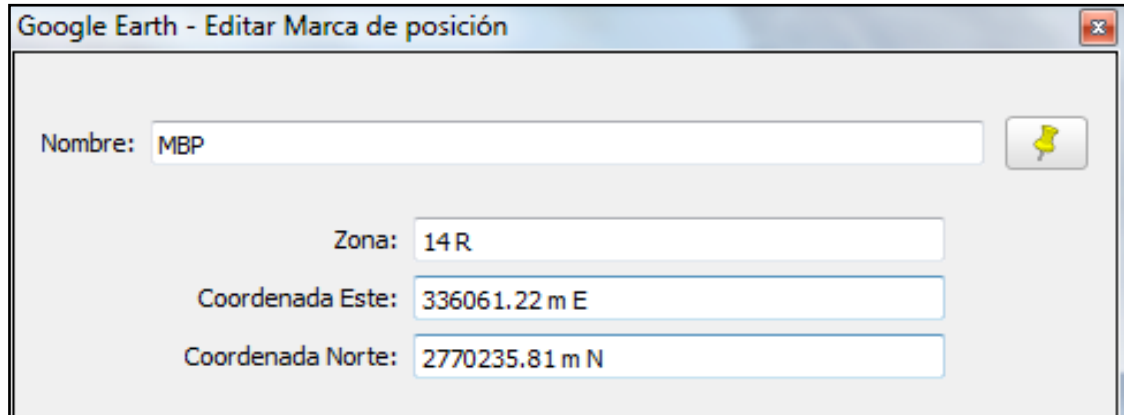
11.- Una vez verificado que las coordenadas sean las correctas precedemos a cambiar en GoogleEearth a coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator).

- De la barra de menú se escoge herramientas.
- Posteriormente opciones.
- En vista 3D se modifican lo siguiente.
- Restaurar predeterminados que se encuentra en la parte inferior del cuadro de diálogos.
- De mostrar latitud longitud se escoge: (Universal Transversal de Mercator).
- Se asigna una unidad de medida que para nuestro caso sería: (pies, kilómetros).
- Luego aplicar y aceptar.

12.- Para verificar que las coordenadas se encuentren en UTM:

- Click derecho al punto de ubicación en la vista de GoogleEearth.
- Luego vamos a propiedades.
- Ahí verificamos los cambios realizados a GoogleEarth.
- Nos genera la zona a la que pertenece en este caso es: zona 14R.
- Coordenadas en Este: 336061.22 m E.

- Coordenadas en Norte: 2770235.81 m N.



Google Earth - Editar Marca de posición

Nombre:

Zona:

Coordenada Este:

Coordenada Norte:

Figura 7. 7 Coordenadas UTM obtenidas en GoogleEarth correspondientes al MBP.

13.- una vez obtenida las coordenadas métricas (UTM) procedemos a regresar a Excel donde se tiene nuestras coordenadas relativas para poder modificarlas en base a los datos obtenidos en GoogleEarth.

- Insertar las coordenadas (Este, Norte). En celdas diferentes para poder modificar las coordenada relativas.
- El procedimiento se hace con una operación matemática de suma:
- Tomamos a la coordenada Este como X, y Norte como Y.
- Se suma la celda donde se tiene nuestra coordenada UTM. A la coordenada relativa se toma la segunda columna de nuestro archivo original como X y la tercera columna como Y.
- Para que nuestra suma se haga de una forma correcta tenemos que estancar nuestra celda de coordenadas UTM. Esto se hace insertando un signo de pesos (\$). Entre la columna y el número de celda.
- Ejemplo si nuestra coordenada se encuentra en la columna C. seria C\$1+B1. Donde tenemos las coordenadas relativas.
- Esto se hace tanto para (Este, Norte).

14.- Una vez modificada las coordenadas relativas pasamos a ponerlos en una hoja nueva de Excel. Y se guarda como archivo de texto delimitado por tabulaciones.

7.2 Lista de símbolos

MBP Máster Bench Point o punto maestro para que nos sirve para determinar las coordenadas relativas del levantamiento topográfico.

KML Keyhole Markup Language

UTM Universal Transversal de Mercator tipo de proyección de coordenadas.

G:M:S Grados Minutos Segundos

IDW Método de Interpolación Inverso de la Distancia se uso para conocer las alturas medias del levantamiento topográfico.

.SHP Extensión de Archivos Generados por los sistemas de información geográfica.

SIG Sistemas de información geográfica

GPS Sistemas de posicionamiento global

.TXT Archivo de texto este puede ser (texto delimitado por Tabulaciones delimitado por comas, espacios etc.)

WGS Sistema geodésico mundial tipo de Datum utilizado en el proyecto.

ID Identificador Utilizando la Numeración de los puntos creados por la pantalla modo de identificación de cada punto

Ant.Long Coordenadas de Longitud

Ant.Lat Coordenadas de Latitud

Height Altura

AP Agricultura de precisión

MSE Manejo de sitio específico

MP Mapas de rendimiento