

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Generación de mapas de diagnóstico de resistencia a la penetración en
QGIS versión 2.14.3

Por:

DANIEL ROBLERO GONZÁLEZ

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Generación de mapas de diagnóstico de resistencia a la penetración en
QGIS versión 2.14.3

POR:

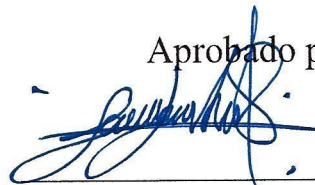
DANIEL ROBLERO GONZÁLEZ

TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por:




M.C. Gilbert Fresh López López
Asesor Principal



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Sinodal



M.C. Juan Antonio López López
Sinodal



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Noviembre 2018

Agradecimientos

Gracias a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencia y felicidad.

A mi Alma Terra Mater, La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la bienvenida al mundo como tal, por forjarme en el camino del conocimiento y por las oportunidades brindadas que hicieron posible alcanzar con éxito esta meta.

A mis asesores M.C. Gilbert Fresh López López, Dr Santos Gabriel Campos Magaña y M.C. Juan Antonio López López por el tiempo, dedicación, orientación y la ayuda que me brindaron.

Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho por su tiempo, asesoría y el apoyo otorgado en la realización de esta tesis.

A mis amigos de la carrera, de la Universidad y del Palomar 2 cuarto 10, con los que he compartido las experiencias más grandes, con ustedes aprendí que la amistad es la esencia de la vida y gracias por el apoyo que siempre me otorgaron. Al Ing. Cristian Jonatan de los Santos por su valiosa amistad, compañerismo y su apoyo incondicional.

A los profesores, M.C. Héctor Uriel Serna, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, Dr. Martín Cadena Zapata, Ing. Juan Arredondo Valdez, M.C. Tomas Gaitán Muñiz, Ing. Rosendo González Garza, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, y Secretaria Juana María Valenzuela les agradezco por el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me transmitieron.

Dedicatoria

*A **Dios**, por su infinita bondad, por guiarme por el buen camino y no dejarme solo en ningún momento, por regalarme sus bendiciones, sabiduría, entendimiento y el conocimiento para culminar mis estudios.*

*A mis padres: **Sr. Armando Roblero Pérez y Sra. Yolanda González Roblero** a quienes les debo todo lo que soy, por ser el pilar de mi formación, gracias por su cariño, comprensión y sacrificio han hecho posible la culminación de esta etapa de mi vida. Hoy retribuyo parte de su esfuerzo con este logro que no es mío sino de ustedes, por lo cual viviré eternamente agradecido. Los amo y los llevo siempre conmigo.*

*A mis hermanos: **Lucy Roblero González, Socorro Roblero González, Aracely Roblero González, Floridalba Roblero González y Florencio Roblero González**, por su lucha incansable de ayudarme a seguir adelante, por esas palabras de motivación, por el tiempo que nunca podré devolverles pero si agradecerles. Los llevo en el corazón.*

*A mis abuelos **Sr. Fernando Roblero y Sra. Vicenta Pérez; al Sr. Odilón González y Sra. Regina Roblero** por el apoyo y sus consejos llenos de sabiduría.*

A toda mi familia y amigos.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	2
2.1.	General	2
2.2.	Específicos.....	2
III.	HIPÓTESIS	2
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1.	Compactación del suelo.....	3
4.2.	Agricultura de precisión	6
4.3.	Utilidad de sensores en la agricultura.....	7
4.4.	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	8
4.5.	Sistemas de Información Geográfica (GIS)	8
4.6.	Quantum GIS (QGIS).....	10
4.6.1.	Interpolación	10
4.7.	Mapas para la toma de decisiones	11
V.	METODOLOGÍA	13
5.1.	Equipos empleados.....	13
5.1.1.	Tractor	13
5.1.2.	Carro porta-sensores.....	13
5.1.3.	Dos sensores Transductores octagonal de anillo extendido.....	13
5.1.4.	Cinceles	13
5.1.5.	Penetrómetro digital	13
5.2.	Sistema de adquisición de datos	16
5.2.1.	Geo-posicionador Trimble 132	16
5.2.2.	Computadora.....	16

5.2.3.	Convertidor analógico-digital LogBook/360	16
5.2.4.	Amplificador – acondicionador de señal DBK43A	16
5.3.	Calibración de sensores	20
5.4.	Penetrómetro	20
5.5.	Transductores octagonales de anillo extendido.....	21
5.6.	Acondicionamiento del carro porta sensores.....	22
5.7.	Pruebas bajo condiciones de campo	23
5.7.1.	Ubicación	23
5.7.2.	Procesos y análisis de datos Campo 1 (Muestreo dinámico)	24
5.7.3.	Procesos y análisis de datos Campo 1 (Muestreo Estático)	25
VI.	RESULTADOS.....	27
6.1.	Generación de mapas.....	28
6.1.1.	Análisis campo 1	28
6.1.2.	Análisis campo 2	30
6.2.	Discusión	32
VII.	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.....	34
7.1.	Recomendación	34
VIII.	LITERATURA CITADA.....	35
IX.	ANEXOS	40
A.	Análisis de datos campo 1 resistencia a la roturación (RR).....	40
A1.	Manejo de los datos en Excel	40
A2.	Importación de datos a QGIS	42
A3.	Interpolación.....	46
A4.	Reclasificación	53
A5.	Cálculo de áreas.....	62

B.	Manejo de datos en Excel campo 1 RP (Muestreo Estático).....	67
C.	Proceso para la generación de un mapa de diagnóstico	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Variación de la resistencia (García, 2010).....	4
Figura 2 Agricultura de Precisión	6
Figura 3 SIG en la agricultura.....	10
Figura 4 Distancia inversa ponderada.....	11
Figura 5 Jonh Deere 6403	14
Figura 6 Carro porta-sensores	14
Figura 7 Transductor octagonal extendido amarillo-rojo (Fx) y verde-azul (Fx).....	15
Figura 8 Dos cinceles rectos y un angular con alas	15
Figura 9 Penetrómetro digital	16
Figura 10 Sistema de posicionamiento global, (AgDGPS) Trimble (132) y Computadora Dell.....	17
Figura 11 Convertidor analógico-digital LogBook/360 y DBK-43 A.....	17
Figura 12 LogView	18
Figura 13 Excel 2010	19
Figura 14 QGIS 2.14.3.....	19
Figura 15 Calibración del sensor fuerza	21
Figura 16 Banco de calibración de los transductores octagonales.....	22
Figura 17 Acondicionamiento del carro porta-sensores	23
Figura 18 Distribución de muestreos aleatorios de RR y RP.....	24
Figura 19 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 20-30 cm.....	28
Figura 20 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 30-40 cm.....	28
Figura 21 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad AB	29
Figura 22 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 20-30 cm.....	30
Figura 23 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 30-40 cm.....	31
Figura 24 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad AB	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Valores y canales para la conexión de los sensores	20
Cuadro 2 Pesos para la calibración	21
Cuadro 3 Pesos para la calibración	22
Cuadro 4 Calibración de los sensores	27
Cuadro 5 Ecuaciones de los modelos C1 y C2	27
Cuadro 6 Comparación de muestreos estáticos y dinámicos C1	29
Cuadro 7 Comparación de muestreos estáticos y dinámicos C2	32

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro cuyo objetivo fue elaborar mapas de diagnóstico, los cuales contengan tres atributos: resistencia a la penetración del suelo (RP), profundidades a las que se encuentran las capas de compactación y áreas de distribución. Utilizando como herramienta un carro porta sensores el cual cuenta con tres sensores: un penetrómetro de cono y dos octagonales de anillo extendido trabajando a profundidades de 20-30 y 30-40 cm. Para lograr el objetivo se utilizó un sistema de adquisición de datos LogBook/360 junto con un acondicionador de señal DBK-43A montados en un tractor instrumentado John Deere 6403 y para el análisis de datos Excel y QGIS. Las variables que se emplearon para la generación de los mapas fueron RP en los muestreos estáticos, mientras que en los dinámicos se aplicó una ecuación de conversión $RP=7.262 \times 10^{-4} RR$ (resistencia a la roturación) obteniendo magnitudes en Mpa. Como resultados se obtuvieron mapas con RP y áreas, proporcionando una mejor descripción y panorama en los muestreos dinámicos debido a que tiene mayor densidad de datos en comparación con el muestreo estático, además se encontraron que las capas de mayor compactación se encuentran a diferentes profundidades dependiendo de la textura del suelo. Sin embargo, no se logró crear un mapa con los tres atributos antes mencionados, pero si se llegó a la propuesta de un proceso para la generación de dicho mapa. Para ello se requiere ejecutar el proceso en diferentes Softwares de Sistemas de la Información Geográfica.

Palabras claves: Agricultura de precisión, mapas de diagnóstico, muestreo dinámico, muestreo estático, octagonales de anillo extendido, sensor penetrómetro.

I. INTRODUCCIÓN

Con los altos costos de la preparación del suelo, es necesario reducir el consumo de energía en los sistemas de producción. Actualmente se requiere un gran consumo de energía y esto limita la actividad agrícola, pues reduce el costo beneficio del sistema de producción (Kichler *et al.*, 2007). La compactación del suelo debido al peso de la maquinaria y de elementos como los discos de arado y el volteo excesivo del suelo, causantes de pérdidas de biodiversidad biológica; el excesivo laboreo del suelo que conlleva a la erosión y a la reducción de la capacidad productiva (Ponvert & Quan, 2013). Debe de existir una relación estrecha entre la mecanización agrícola y los recursos naturales de tal manera que funcione como un sistema integrado, donde la maquina interactúa con cada recurso y a la vez los recursos entre sí (Díaz y Pérez, 2007). La Agricultura de Precisión (AP) es un concepto agronómico agrícola, 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. Esta 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, 2002). La agricultura de precisión aplicada a implementos de labranza vertical representa una alternativa de optimización mediante el uso de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos en tiempo real (Campos, 2018). López (2014) desarrolló un sensor para la medición de fuerza y una herramienta de penetración tipo cono con capacidad de hasta 9 Mpa, una sensibilidad de 13.15mVN^{-1} y con una confiabilidad del 99.6%. Además López (2017) con un Carro-Porta-Sensores acoplado con sensores octagonales de anillo extendido logró cuantificar la resistencia de roturación a profundidades de 20-30 y 30-40 cm con cinceles rectos teniendo al frente un cincel curvo con alas de 15 cm roturando a profundidad de 0-20 cm Esto permitió generar una metodología de muestreo dinámico. Así mismo la mayoría de los muestreos, tiene como objetivo general obtener una

muestra representativa del sitio con precisión y en menos tiempo. El presente trabajo de investigación tuvo como propósito generar mapas de diagnóstico usando el software QGIS. Con ellos será posible obtener un mapa de diagnóstico con tres atributos: resistencia a la penetración, áreas y profundidades, para poder aplicar una labranza variable.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Determinar la correlación entre la resistencia a la roturación y la resistencia a la penetración del suelo.

2.2. Específicos

- Generar mapas de resistencia a la penetración con muestreos estáticos.
- Generar mapas de resistencia a la penetración en función de resistencia a la roturación (muestreos dinámicos) aplicando una ecuación de correlación.
- Comparar mapas de muestreos estáticos y dinámicos.

III. HIPÓTESIS

Con muestreos estáticos y dinámicos es posible obtener mapas de diagnóstico que tengan como atributos la resistencia a la penetración, áreas y profundidades.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

El acelerado crecimiento poblacional en el mundo exige una alta producción de alimentos en cantidad y calidad, a bajo costo y con el menor impacto ambiental. La agricultura de precisión, se caracteriza por el manejo (análisis y control) de la variabilidad espacio-temporal del terreno y del cultivo. Suministra distintas cantidades de insumos y toma en cuenta la variación en los componentes del suelo (como textura, acidez, humedad, topografía o relieve), en el desarrollo vegetal y en las condiciones entre temporadas de siembra. Éste sistema agrícola posee tres etapas: recopilación de datos, análisis de información e implementación de las técnicas más adecuadas. Usa cinco tecnologías principales: sistemas de posicionamiento e información geográfica (GPS y GIS, por sus siglas en inglés), sensores remotos, maquinaria automatizada y monitores de rendimiento/aplicación (Ocampo, 2018). La producción de alimentos tendrá que volverse más eficiente y sostenible (Alexandratos & Bruinsma, 2012). La agricultura de precisión es una respuesta a este desafío (Bongiovanni *et al.*, 2006).

4.1. Compactación del suelo

Entre los factores provocantes de degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación del suelo (Pagliai *et al.*, 2003). La compactación del suelo provoca disminución de los rendimientos agrícolas, mayores requerimientos energéticos en labranzas y labores culturales, necesidades de resiembras, mayores dosis de agroquímicos y número de pasadas de los equipos, necesidades crecientes de fertilizantes e ineficiencia en el uso de la maquinaria (Botta, 2002).

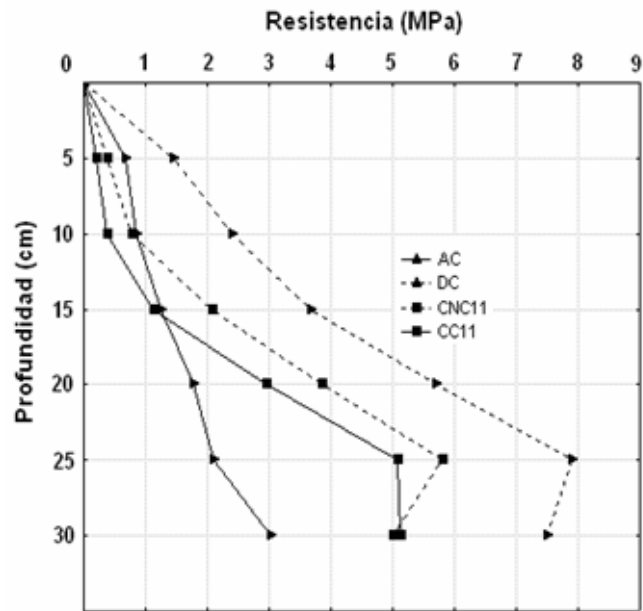


Figura 1 Variación de la resistencia (García, 2010).

El incremento de la compactación en los suelos da como resultado una gran concentración de raíces en la capa superficial (0-10 cm) y en un menor enraizamiento en profundidad como se observa en la figura 1. En cuanto al crecimiento de las raíces estará caracterizado por un mayor grado de debilitamiento, crecimiento tortuoso, células de la epidermis distorsionadas y por células de la corteza alargadas radialmente (Lipiec *et al.*, 1991).

El estudio de la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo tiene un papel importante en la cuantificación de las necesidades de laboreo del suelo, en función de los requerimientos de desarrollo del cultivo. La resistencia a la penetración (RP) es un parámetro directamente relacionado con la compactación, que es resultado del aumento en densidad y disminución de la porosidad lo que implica un deterioro de la estructura que limita el crecimiento de las plantas y el rendimiento del cultivo (Dexter *et al.*, 2007).

La resistencia a la penetración también ha sido frecuentemente utilizada para caracterizar las condiciones físicas para la implantación y desarrollo de cultivos. Al respecto, Threadgill (1982) relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Indicó que valores de índice de cono de 1,5

MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2,1 MPa lo limitarían.

Por su parte Whiteley *et al.*, (1981) y Grant & Lafond (1993), reportaron que el crecimiento de las raíces de maíz se ve afectado por valores de RM superiores a 1,3 y 2,0 MPa en las etapas inicial y avanzadas del ciclo del cultivo, respectivamente.

Taylor & Gardner (1963), mostraron que valores de RP superiores a 2 MPa podrían impedir significativamente el crecimiento radicular y reducir el rendimiento de los cultivos. Si bien este valor ha sido a menudo utilizado como referencia para el punto en el cual las plantas se ven negativamente afectadas, otros han documentado excepciones. Ehlers (1983) encontraron que el valor de la RP limitante para el crecimiento radicular en avena (*Avena sativa*) está entre 2 y 3 MPa. Lutz *et al.*, (1986) estudiaron la relación entre el crecimiento de las raíces de cítricos y las condiciones físicas de suelos arcillosos y encontraron que 1,5 MPa fue la resistencia del suelo a partir de la cual el cultivo comenzó a presentar un deterioro del desarrollo radicular.

Para asegurar un buen crecimiento y funcionamiento de las raíces, es necesario que el suelo provea una adecuada capacidad de almacenaje de agua y aire, y además una resistencia o densidad apropiada. Valores de Resistencia Mecánica (RM) inferiores a 1,5 MPa no ofrecen resistencia alguna para un adecuado desarrollo radicular. Cuando la RM es mayor a 2,0 MPa se ve afectado el crecimiento de las raíces y el abastecimiento de agua y nutrientes (Gupta & Allmaras, 1987; Hamblin, 1985).

Para la mayoría de las plantas la resistencia que han de encontrar las raíces en su crecimiento tiene que ser menor a 3 Mpa (Muñoz, 1993).

La penetración de las raíces en un suelo se reduce linealmente con el aumento de la resistencia a la penetración, hasta que se llega a una resistencia de 2,07 MPa (300 psi), donde casi ninguna raíz puede penetrar. Esto es igual para suelos húmedos y secos, independiente de la textura del suelo. La falta de labranza de los suelos, afecta en gran medida a la resistencia a la penetración de los suelos (Duiker, 2013).

En la mayor parte de las especies cultivadas, el crecimiento de raíces se verá afectado mientras la resistencia a la penetración sea mayor a 1,4 MPa. El penetrómetro de punta cónica es recomendado para proporcionar un método estandarizado de caracterización de la resistencia a la penetración de los suelos (Riedell *et al.*, 2004).

4.2. Agricultura de precisión

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 geográfico (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).



Figura 2 Agricultura de Precisión

La AP se presenta como una excelente herramienta útil para maximizar rendimientos en los sitios donde sea económico hacerlo y minimizar los costos en áreas del lote con limitantes económicamente incorregibles, pero por sobre todas las cosas viene a vincular al productor con el concepto de sustentabilidad del medio ambiente como se presenta en la figura 2 (Marote, 2010).

La AP está siendo ampliamente difundida, incrementando el interés en el uso de sensores para la obtención de información de las variables del suelo y de los cultivos. Muchos de estos sensores están acoplados a un GPS, para obtener los mapas de las diferentes variables (Andrade *et al.*, 2004). Esto permite a los agricultores elegir las tecnologías que más convengan a sus intereses y a sus capacidades de inversión. La

adopción de una sola tecnología es la mejor opción para huertos pequeños, menores o iguales a una hectárea, pues representa un bajo costo de inversión. La combinación de dos o más tecnologías es idónea para terrenos de mayores dimensiones (cooperativas agrícolas o productores consolidados). La adopción integrada (donde cada paso de la producción cuenta con alguna tecnología) es conveniente para cultivos a gran escala y de alto valor. (Mondal & Basu, 2011).

La AP puede ayudar al agricultor a conseguir una mayor eficiencia productiva, a la vez que a reducir el impacto medioambiental. No se debe juzgar la utilidad de la AP solo en términos de “reducción de costos”: puede proporcionar ventajas en cuanto a un mayor control de maquinaria-insumos, o mejor gestión de la información. El aumento de la rentabilidad agraria que se puede conseguir usando AP incluye en factores fáciles de medir (mayor producción superficial en ciertas zonas) y otros difícilmente cuantificables (menor repercusión en el ecosistema, mejora del confort del operario, mayor información de las condiciones del suelo/cultivo, etc.) (Navas *et al.*, 2010).

4.3. Utilidad de sensores en la agricultura

Se conoce como sensor cualquier dispositivo que permite convertir una magnitud física en una señal eléctrica que, posteriormente, puede manejarse para suministrar información o para ser tratada directamente por un ordenador (García & Flego, 2008). Los sensores son los que servirán para determinar, en cada momento y posición de la máquina, su velocidad de avance, la temperatura en un determinado lugar, el estado de cualquiera de sus mecanismos, o también la cantidad de grano instantáneamente cosechado por la máquina, la fertilidad del suelo en una zona del campo, el nivel de vegetación del cultivo. Cualquier máquina agrícola, o para uso doméstico, incluye numerosos sensores que proporcionan información al usuario, dentro de sistemas para la medida electrónica de magnitudes mecánicas.

Lo innovador en la AP es que se utilizan dispositivos que permiten determinar, en tiempo real, algunas de las características agronómicas de las microparcels por las que se desplazan las máquinas sobre el campo. Los sensores agrarios más experimentados y fiables son los que se encargan de determinar el caudal instantáneo de grano que llega a

la tolva de una cosechadora trabajando en situación normal, que debe efectuar la pasada teniendo en cuenta la temperatura y la humedad del grano trillado (Marote ,2010).

Sin embargo, las prácticas de manejo localizado no se basan solamente en mapas de productividad o de fertilidad del suelo. La toma de decisiones en AP puede realizarse a partir de una base de datos, registrada en un mapa, o de información obtenida en el preciso instante en que se llevará a cabo determinada acción, utilizando para ello la información obtenida por sensores “en tiempo real” (Bongiovanni & Mantovani ,2006).

Los datos obtenidos y procesados con SIG son la base para determinar la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas. Mediante el uso de técnicas geo-estadísticas, la variabilidad espacial de los parámetros del suelo puede ser evaluada, lo que facilita una gestión regionalizada, siguiendo los objetivos de la agricultura de precisión, por ejemplo, la realización de operaciones de labranza de acuerdo con esta variabilidad espacial (Paz *et al.*, 2000).

4.4. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Un Sistema de posicionamiento, como su nombre indica, es un método para identificar y grabar, generalmente en forma electrónica, la ubicación de un objeto o persona. Este sistema puede ser usado para registrar el recorrido de un vehículo a través de la superficie terrestre, en el aire o en el espacio. Estos sistemas pueden ser de gran utilidad en la agricultura moderna, de hecho, se le puede considerar como la base de la agricultura de precisión, ya que cada dato tomado, como rendimiento, humedad, altimetría, materia orgánica, etc., va a estar perfectamente localizado y de esta forma tenemos la posibilidad de volver a él, localizarlo, obrar en consecuencia, y poder volver a grabar el resultado (Bragachini *et al.*, 2006).

4.5. Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Un Sistema de Información Geográfica (GIS) es en realidad un programa de ordenador pensado para almacenar, recuperar, analizar y mostrar datos cartográficos. En GIS, los datos acerca de la superficie de la Tierra no se representan como un dibujo, como sucede con los mapas convencionales, sino como información o datos. Estos datos de GIS contienen toda la información espacial de un mapa convencional, pero con la

ventaja de ser mucho más flexibles a la hora de representarlos, permitiendo además la obtención de nuevos mapas a partir de datos ya existentes. Por otro lado, los datos en GIS suelen almacenarse en diferentes capas, cada una de las cuales tiene una característica topográfica particular. Es decir, habrá una capa para los ríos, otra para vegetación, para asentamientos humanos, facilitando el acceso a datos concretos. Aparte de los modos de almacenamiento de los datos, en GIS también puede incluirse información no espacial, relacionada con cada punto o zona del mapa (García & Flego, 2008).

En general un SIG consiste en la unión de la información y herramientas informáticas (software) para su análisis con unos objetivos concretos, en el caso de los SIG, se asume que la información incluye la posición en el espacio (Sarria, 2000).

Para Huisman (2008), los Sistemas de Información Geográfica poseen diferentes conceptos o definiciones dependiendo de los técnicos y los usos que se les den, la concepción básica de un Sistema de Información Geográfica es un sistema basado en computadoras que permite la interrelación y manejo de información geográfica, a través de su:

- Captura y preparación
- Manejo, incluyendo almacenaje y almacenamiento
- Manipulación y análisis
- Presentación

Los sistemas de información geográfica son sistemas complejos conformados por diversos elementos interrelacionados. Para facilitar la comprensión de la estructura de un Sistema de Información Geográfica se puede hacerlo a través del establecimiento de subsistemas fundamentales (Figura 3):

- Subsistema de datos
 - Levantamiento de información que representa a la realidad
- Subsistema de visualización y creación cartográfica
 - Representación de información geoespacial
- Subsistema de análisis
 - Métodos y procesos para el análisis de la información geoespacial



Figura 3 SIG en la agricultura

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).

La creación de mapas del punto de funcionamiento del motor (régimen de giro, par) durante su trabajo en parcela permite optimizar el trabajo, disminuyendo también el consumo de combustible (Gracia, Manuel, 2010).

4.6. Quantum GIS (QGIS)

Desarrollado desde el OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*)², con cada versión que aparece en el mercado crecen sus capacidades, convirtiéndose hoy en día en uno de los softwares SIG más utilizados. Olaya, (2010).

4.6.1. Interpolación

Para estimar el valor de una variable en un sitio desconocido, el algoritmo le brinda mayor “peso” a aquellos valores más cercanos. Al aumentar la distancia de los datos

reales, la influenciase vuelve cada vez menor. A su vez, el proceso permite al usuario indicar el peso relativo de los puntos modificando el exponente de la ecuación. Tradicionalmente el exponente utilizado es 2, exponentes mayores dan mayor importancia a los puntos cercanos, mientras que inferiores contemplan en mayor medida datos más distantes (Gallardo, 2006). La interpolación espacial es un método para calcular el valor en un punto concreto del espacio partiendo de los valores de esa misma variable en otros puntos del espacio (Hernández *et al.*, 2013). El método IDW usa la función inversa de la distancia para calcular los pesos para cada uno de los valores de la celda (Murillo *et al.*, 2012), este método parte de la premisa de que las cosas que están más cerca son más parecidas y por ello tienen un peso e influencia mayor sobre el punto a calcular (Figura 4). IDW es un interpolador que no requiere algún conocimiento del comportamiento de la variable a interpolar en el lote para estimar el valor de una variable en un sitio.

La “Inverse Distance to a Power— weighted” (o IDW), corresponde al método más simple de interpolación, en el cual se realiza un promedio de las muestras en una ventana de resumen, de tal manera que la influencia de un punto de muestreo declina con la “simple” distancia cuadrática, desde un valor desconocido hasta valores conocidos (Bongiovanni *et al.*, 2006).

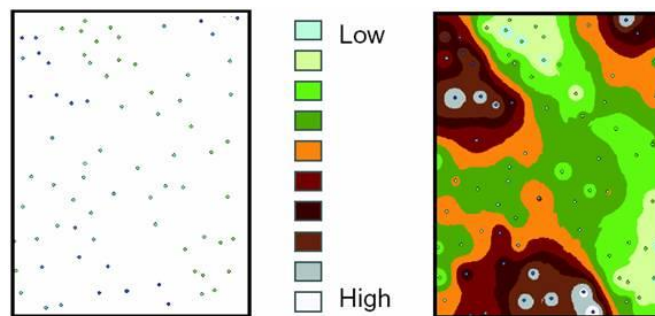


Figura 4 Distancia inversa ponderada

4.7. Mapas para la toma de decisiones

La información que conforman los mapas de prescripciones pueden provenir de muchas fuentes (mapas de producción, sensores del terreno, del cultivo, etc.), imposible de manejar mediante sistemas tradicionales. En este caso son los ordenadores, mediante aplicaciones informáticas especiales denominadas Sistemas de Información Geográfica

para Agricultura (Ag-GIS), los que intervienen. La creación de una base de datos de cada parcela es una herramienta fundamental para optimizar la toma de decisiones en un sistema productivo agrícola. Estos datos generan capas de información tales como, propiedades químicas de los suelos, compactación, plagas y enfermedades, humedad, conductividad eléctrica, etc., conocidos como mapas de diagnósticos. Y posteriormente serán utilizadas para la adecuada interpretación de la variabilidad espacial (dentro de la parcela) y temporal (entre años) de los rendimientos (Agüera y Pérez, 2013).

V. METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los materiales y métodos utilizados en el trabajo, los cuales fueron diferentes para la Resistencia a la Roturación (RR) y la Resistencia a la Penetración del suelo (RP).

5.1. Equipos empleados

Esta sección menciona todos los equipos que se utilizaron para la recolección de datos tanto para muestreos dinámicos (RR) como muestreos estáticos (RP), descritos a continuación:

5.1.1. Tractor

5.1.2. Carro porta-sensores

5.1.3. Dos sensores Transductores octagonal de anillo extendido

5.1.4. Cinceles

5.1.5. Penetrómetro digital

Tractor. Para llevar a cabo este trabajo se utilizó un tractor John Deere modelo 6403, con una velocidad nominal del motor de 2070 rpm, instrumentado con línea de energía de alimentación 110 V para instalar una computadora de escritorio y un sistema de adquisición de datos (Figura 5).



Figura 5 Jonh Deere 6403

Carro porta-sensores. Este sistema acopla diferentes sensores de Resistencia a la Roturación del Suelo (RRS) y Resistencia a la Penetración del Suelo (RPS), además se colocaron contrapesos para contrarrestar la fuerza normal en las pruebas (Figura 6).



Figura 6 Carro porta-sensores

Dos Transductores octagonal de anillo extendido (OAE): Con una capacidad de 40 kN. Registran las fuerzas de reacción del suelo (F_x) a profundidades de 20 - 30 y 30 - 40 cm (Figura 7).



Figura 7 Transductor octagonal extendido amarillo-rojo (F_x) y verde-azul (F_x)

Cinceles. Su finalidad es roturar el suelo. El cincel angular con alas, rotura el suelo de 0-20 cm, y los cinceles rectos a una profundidad de 20-30 cm y de 30-40 cm (Figura 8).

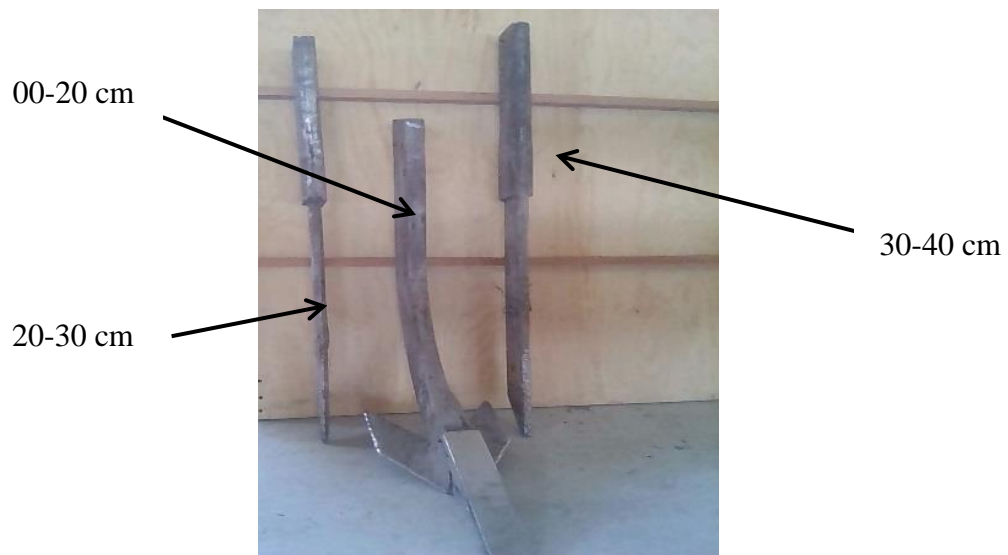


Figura 8 Dos cinceles rectos y un angular con alas

Penetrómetro digital. Integrado por sensor de fuerza de anillo simple con capacidad de 10 kN, un sensor de medición de profundidad de penetración con Sonar LV-MaxSonar-EZ1 circuito de amplificadores AD620 en serie y un filtro pasa bajo para disminución de ruido (Figura 9).



Figura 9 Penetrómetro digital

Sonda. Este instrumento acoplado al sensor de fuerza, junto con la punta cónica de área superficial 0.001053252 m^2 puede medir la resistencia a la penetración del suelo logrando con ellos integrar el penetrómetro digital (Figura 9).

5.2. Sistema de adquisición de datos

Todos los elementos usados para llevar a cabo el levantamiento en tiempo real generando datos para su posible procesamiento.

5.2.1. Geo-posicionador Trimble 132

5.2.2. Computadora

5.2.3. Convertidor analógico-digital LogBook/360

5.2.4. Amplificador – acondicionador de señal DBK43A

Geo-posicionador. El sistema de medición consta de equipo electrónico para captura de información, SIG, (AgDGPS) Trimble (132), y equipo sensorial para detectar el estado físico-mecánico del suelo geo referenciado (Figura 10).

Computadora. Se utilizó una computadora de escritorio del departamento de maquinaria (marca Dell con un procesador genuine Intel, con una memoria RAM de 512MB, y una capacidad en el disco duro de 34.1 GB) (Figura 10).



Figura 10 Sistema de posicionamiento global, (AgDGPS) Trimble (132) y Computadora Dell

Convertidor analógico-digital LogBook/360. Es un módulo interconectado entre el DBK-34 A y la computadora por medio del cable de puerto paralelo, este convierte las señales del amplificador de analógicas a digital y las manda a la computadora por medio del software LogView. En este módulo es integrado por seis voltajes diferenciales. Con una ganancia de 0.01-10 y con una velocidad de muestreo de 25-625 E3 por segundo. Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos en la computadora (Figura 11).



Figura 11 Convertidor analógico-digital LogBook/360 y DBK-43 A

Amplificador - acondicionador de señal DBK43A, con ocho canales de entrada, con ganancia de 100 a 1250x ($f\tilde{A}$), fabricado por Iotech, Inc. usado para amplificar la del transductor octagonal de anillo extendido (TOE) y proporcionar una salida

estandarizada de voltaje. Se suministra el voltaje de excitación al sensor en un rango de 1-10 V y 100 mA (Figura 11).

Software

Estos son los programas e instrucciones que permitieron a la computadora realizar tareas desde la recolección hasta el análisis de datos.

- LogView
- Microsoft Excel 2010
- QGIS 2.14

LogView. Simplifica la tarea de configuración, comunicación, monitoreo, recopilación y reducción de datos (Figura 12).

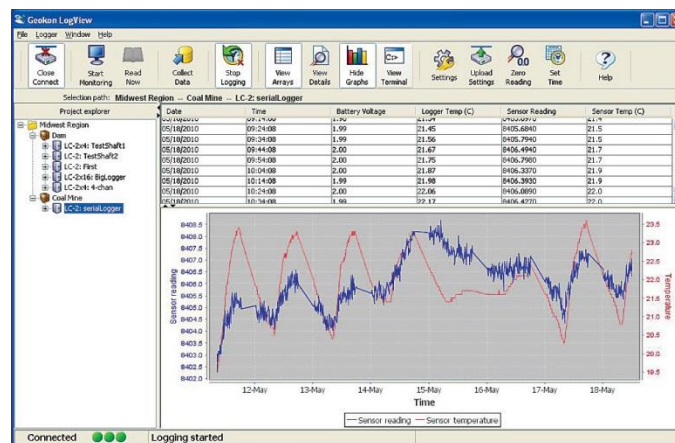


Figura 12 LogView

Microsoft Excel 2010. Es un software que permite crear tablas, calcular y analizar datos, con fórmulas, gráficos y un lenguaje de programación. Este tipo de software se denomina hoja de cálculo. Excel permite crear tablas que calculan de forma automática los totales de los valores numéricos que especifica, imprimir tablas con diseños cuidadosos, y crear gráficos simples (Figura 13).

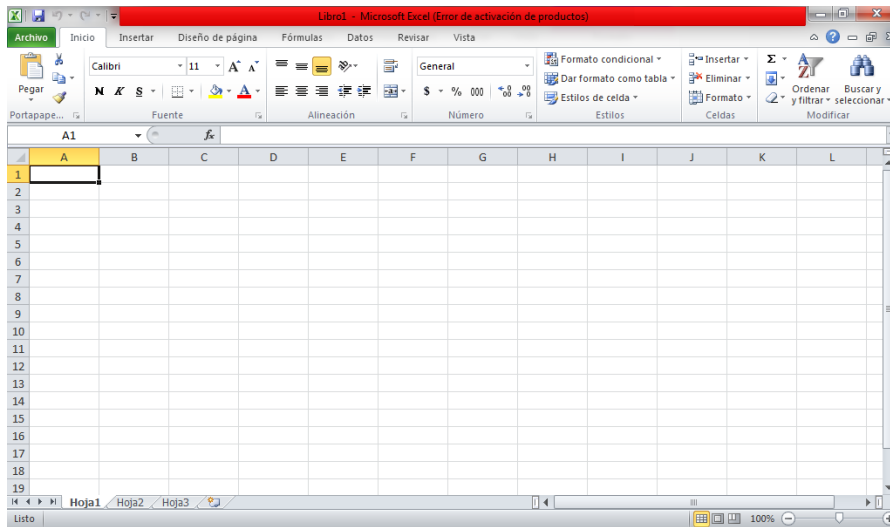


Figura 13 Excel 2010

QGIS. Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto licenciado bajo GNU (General Public License). Se puede utilizar sobre Linux, Mac OS, Microsoft Windows y Android y soporta numerosos formatos. Algunas de sus funcionalidades entre las que podemos mencionar (Figura 14).

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

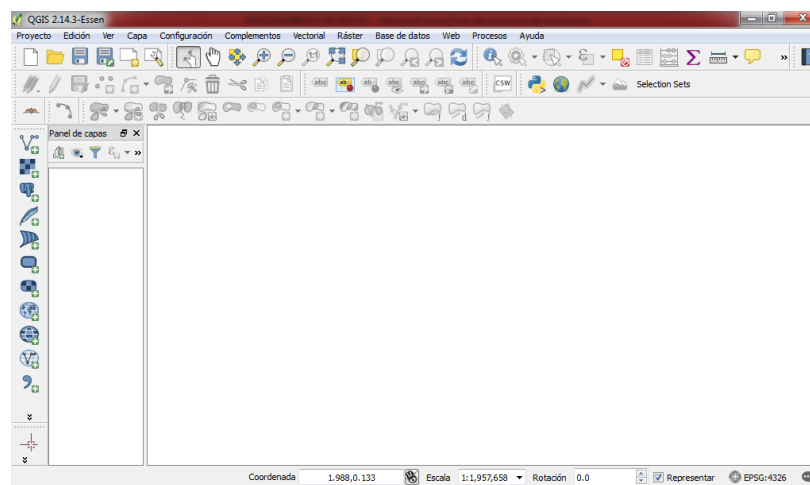


Figura 14 QGIS 2.14.3

5.3. Calibración de sensores

Antes de llevar a cabo las pruebas en campo se requiere calibrar los sensores bajo condiciones de laboratorio. Lo anterior se llevó a cabo en las instalaciones de Maquinaria Agrícola de la UAAAN. Instalando una computadora con un sistema de adquisición de datos Daqbook/2000, en el puerto analógico se conectó un amplificador de señal DBK43A para aumentar el número de canales, los cuales requieren la siguiente configuración (Cuadro 1).

Cuadro 1 Valores y canales para la conexión de los sensores

Sensor	Cables	Canal	Voltaje de excitación	Input gain	Scaling
Sensor 1	Rojo-Am Fx	Ch 0.0	5.5	4.5	4.5
Sensor 2	Ver-Azul Fx	Ch 0.5	5.5	4.5	4.5
Penetrómetro	Penetrómetro	Ch 0.2	9.5	4.5	4.5
Sonar	Sonar Fx	Ch 7	9.5	4.5	4.5

5.4. Penetrómetro

La calibración del sensor de fuerza, la cual consiste en colocar cada sensor de fuerza en un banco de calibración donde se colocan pesos conocidos (Cuadro 2) uno a uno cada 500 datos, realizando 5 repeticiones. En total se registran 6000 datos con ello se generan graficas escalonadas para conocer el promedio de cada escalón. Finalmente ajustar los datos a un modelo de regresión lineal con unidades Newtons por cada miliVolt ($N\ mV^{-1}$). Se usa la misma metodología con el sensor profundidad realizando graficas escalonadas cada 500 datos a una frecuencia de 20 Hz con intervalos de 50 cm hasta llegar a una posición final de 500 cm (Figura 15).



Figura 15 Calibración del sensor fuerza

Cuadro 2 Pesos para la calibración

Pesos	Kg	Newtons	Newtons acumulados
W1	45	441.45	441.45
W2	45	441.45	882.90
W3	45	441.45	1324.35
W4	35	343.35	1667.70
W5	35	343.35	2011.05
W6	30	294.3	2305.35
W7	45	441.45	441.45

5.5. Transductores octagonales de anillo extendido

Para la calibración de los transductores octagonales se manejan 8 pesos (Cuadro 3) a diferentes distancias (54, 64 y 74 cm). Se generan las gráficas escalonadas con 5 repeticiones, seleccionando los promedios de cada escalón, para luego ajustar los datos en un modelo de regresión lineal con unidades en Newtons por cada miliVolt ($N\ mV^{-1}$) (Figura 16).



Figura 16 Banco de calibración de los transductores octogonales

Cuadro 3 Pesos para la calibración

Pesos	Kg	Newtons	Newtons acumulados
W1	48	470.88	470.88
W 2	48	470.88	941.76
W 3	48	470.88	1412.64
W 4	73	716.13	2128.77
W 5	35	343.35	2472.12
W 6	35	343.35	2815.47
W 7	30	294.30	3109.77
W 8	30	294.30	3404.07

5.6. Acondicionamiento del carro porta sensores

Se colocó un cilindro hidráulico en la parte derecha del carro porta sensor, instalando en la punta del vástago del cilindro hidráulico, un sensor de resistencia a la penetración.

Por otro lado se acondicionó con acoples para cinceles, los cuales son: un cincel semicurvo con alas de 15 cm y dos cinceles rectos. El primer cincel se colocó a una profundidad de 20 cm con alas de 15 cm de ancho de roturación y distribución. Los otros dos cinceles llevaron acoples para colocar sensores de anillo extendido y cinceles rectos con un ancho de 22.86 cm, rompiendo a una profundidad de 20-30 cm y 30-40 cm, estos llevaron pernos de ajuste lateral para una mejor alineación. En el carro porta-sensores se colocaron 11 pesos (siete pesos con masa de 48 kg y cuatro pesos de 40 kg), esto con la finalidad de contrarrestar la fuerza normal (Figura 17).



Figura 17 Acondicionamiento del carro porta-sensores

5.7. Pruebas bajo condiciones de campo

5.7.1. Ubicación

El Jardín Hidráulico correspondiente al campo 1 (C1) y el campo de prácticas agrícolas como campo 2 (C2), con coordenadas geográficas de longitud y latitud: (-101.035676, 25.354313), (-101.031676, 25.351562). Ambas con una textura de suelo migajón arcilloso.

En el C1 se tomaron 27 líneas para medirla resistencia a la roturación (RR) con magnitudes en Newtons (N) y 72 puntos para medir la resistencia a la penetración (RP) con magnitudes en MegaPascales (MPa). En el C2 fueron 18 líneas para tomar la RR en N y 50 puntos para medir la RP en MPa (Figura 18).

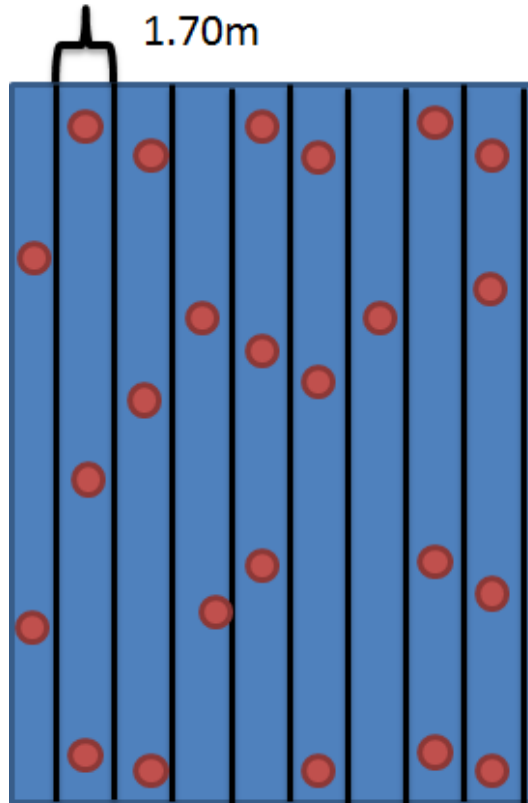


Figura 18 Distribución de muestreos aleatorios de RR y RP

5.7.2. Procesos y análisis de datos Campo 1 (Muestreo dinámico)

Manejo de datos en Excel de los sensores 1 y 2. Los datos obtenidos en el levantamiento se manejan en una hoja de cálculo. Se realiza la conversión de coordenadas decimales a Universal Transversal de Mercator (UTM) Anexo (A1)

Los valores del sensor 1 y 2 se les aplica el modelo de regresión $RP=7.262 \times 10^{-4} RR$ generado por López (2017), con el fin de convertir RR (Newtons) a RP (Mpa) esto para explicar la variable resistencia a la penetración en función de resistencia a la roturación. Por lo tanto se manejaron como RP dinámico y RP estático. Es de suma importancia mencionar que estos datos se manejaron en valores absolutos. Anexo (A1) Después de llevar a cabo todo lo anterior, se crear una nueva columna AB con la función If de Excel:

```

If (condición)
  {sentencias_si_verdadero;}
else
  {sentencias_si_falso;}
end

```

Esta hace una comparación de los sensores y toma los valores más altos. Anexo (A1). Para importar este archivo a Qgis se debe guardar como delimitado por tabulaciones (.txt). Un vez realizado esto, añadir capa (archivo txt) al programa Qgis. Teniendo cuidado al manejar el sistema de coordenadas, este depende de la zona donde se trabaja en este caso *WGS 84/ UTM zone 14N*. Anexo (A2)

Se realiza una interpolación de cada uno de los atributos (sensor 1, 2 y AB) con la Ponderación Inversa a la Distancia (IDW). Para cambiar estilo (colores, clasificar) ir a propiedades de la capa como se explica en los anexos (A3).

Para poder conocer las áreas es necesario llevar a cabo una reclasificación manejando los mismos intervalos que las capas anteriores Anexos (A4). Usando la calculadora ráster se realiza una codificación en los intervalos que maneja la capa. Una vez llevado a cabo dicho procedimiento y realizado los cambios necesarios en sus propiedades se hacen una conversión de capa Ráster a vectorial. Con esta nueva capa es posible calcular áreas y con ello conocer en m² o hectáreas las partes compactadas. Con la calculadora de campos de su tabla de atributos y con tablas dinámicas en Excel se realizan las sumatorias Anexos (A5).

5.7.3. Procesos y análisis de datos Campo 1 (Muestreo Estático)

Hacer la conversión de coordenadas a UTM. Todos los datos deben de ser absolutos. Para manejar los valores como si fuesen de 0 a 10. Restarle los valores de cada capa anterior como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$RP_{20-30} = RP_{30} - RP_{20} \quad (1)$$

$$RP_{30-40} = RP_{40} - (RP_{20} + RP_{20-30}) \quad (2)$$

Para profundizar en el proceso anterior se puede consultar el Anexo (B). Se identifican los datos irregulares provocados (con alto valor) por el muestreo en las orillas ya que estas son extremadamente compactadas, al filtrar dichos datos la interpolación generó mapas más precisas, como se observa en el Anexo (B).

Para la interpolación, reclasificación, conversión y suma de áreas se maneja el mismo procedimiento efectuado en el Campo 1. El procedimiento anterior se utilizó para el Campo 2.

VI. RESULTADOS

Todo lo que se obtuvo desde el proceso de calibración de los sensores, la recolección de datos y teniendo como fin la generación de mapas

Siguiendo la metodología de calibración se obtuvieron como resultados las siguientes ecuaciones con altos coeficientes de determinación para los sensores como se describe en el cuadro (4).

Cuadro 4 Calibración de los sensores

Sensor	Pendiente de calibración	Coefficiente de determinación (R^2) %
Sensor de fuerza	13.58 mVN ⁻¹	99.73
Sensor penetrómetro	258.4 Vmm ⁻¹	99.99
Sensor 1	15.58 mVN ⁻¹	99.9
Sensor 2	15.53 mVN ⁻¹	99.12

López (2017), realizó un estudio comparando muestreos dinámicos y estáticos en el cual obtuvo una ecuación que explica a la Resistencia a la Penetración con muestreos dinámicos, como se observa en el cuadro (5).

Cuadro 5 Ecuaciones de los modelos C1 y C2

	Modelo Lineal	R2 %	R2 Ajustada %
C1**	RP=7.948x ⁻⁴ RR	73.16	72.19
C2**	RP=0.7960+5.629x ⁻⁴ RR	65.78	65.01

Con el análisis de los datos de C1 más C2, se estimó un modelo de regresión clásica de tipo lineal. El modelo RP=7.262x10⁻⁴ RR presenta propiedades estadísticas confiables, con un coeficiente de determinación de 80.45% y un coeficiente de correlación (Pearson) de 89.69%.

6.1. Generación de mapas

6.1.1. Análisis campo 1

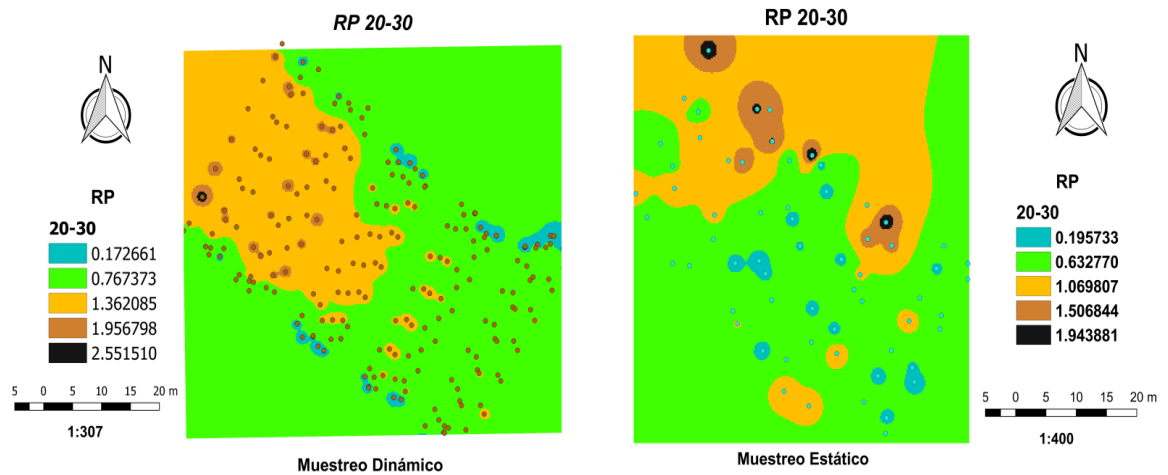


Figura 19 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 20-30 cm

El mapa RR fue transformado a RP dinámico pasando de Newton a Mpa con un 90% de confiabilidad, por lo tanto tienen magnitudes similares con el mapa de muestreo estático. El muestro dinámico proporciona un mejor panorama y una descripción más detallada debido a que contiene más valores en comparación con el muestreo estático. Se puede notar que no manejan el mismo intervalo debido a que poseen valores máximos y mínimos diferentes, en este caso el máximo de RP dinámico es de 2.551 y RP estático de 1.944 Mpa como se observa en la Figura (19), esto también se debe al 10% de error que posee el modelo de regresión lineal y al escaso número de datos en el muestreo estático.

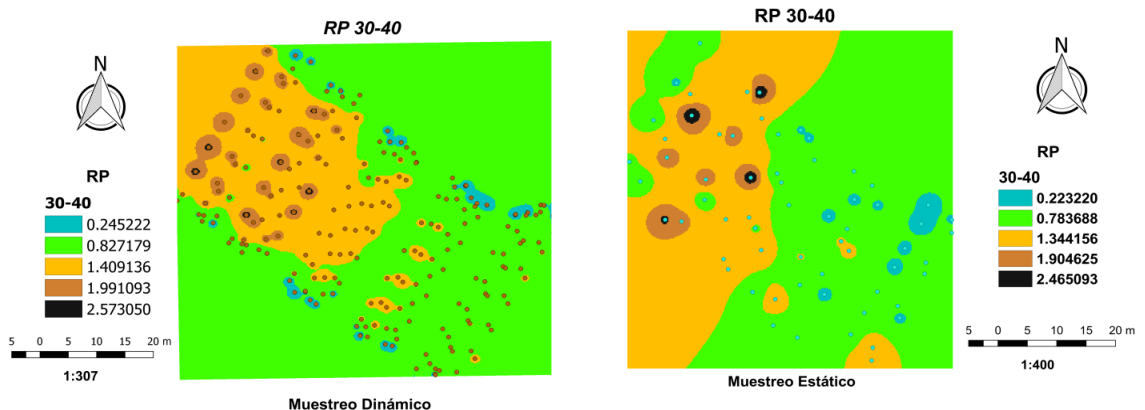


Figura 20 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 30-40 cm

En los mapas de la figura (20), se observó que los valores máximos son 2.573 y 2.465 Mpa, los intervalos son distintos pero con una mínima diferencia. El muestreo dinámico proporciona un mapa más detallado por el mayor número de datos. En el muestreo dinámico se tiene un área de 1189.02 m² de color amarilla y el muestreo estático tiene un área de 1597.66 m². Las áreas mayores a 1.8 Mpa en el muestreo dinámico es de 190.42 m² y en estático de 155.81 m².

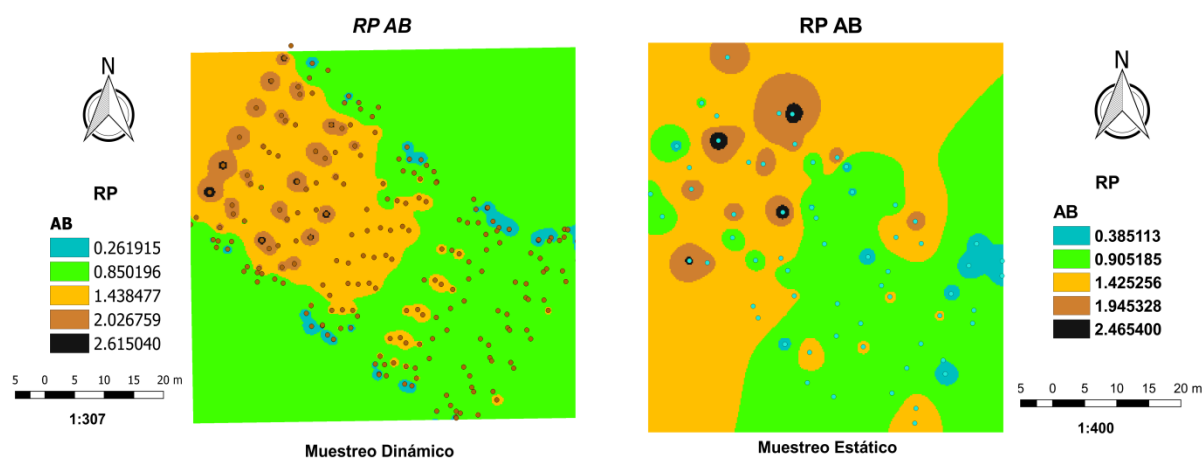


Figura 21 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad AB

Los mapas AB fueron creados al interpolar los valores más altos entre la prof.1 (20-30) y la prof.2 (30-40) cm, obtenidos con la función IF en Excel como se describió en metodología. En estos mapas se conocen los valores de RP mayores entre las profundidades, pero no expresan a que nivel de profundidad se encuentran.

Cuadro 6 Comparación de muestreos estáticos y dinámicos C1

Muestreo		Azul	Verde	Amarillo	Café	Negro
Estático	RR (Mpa)	0.385113	0.905185	1.425256	1.945328	2.465400
	Áreas (m ²)	86.78	1789.1	2163.92	278.54	21.65
Dinámico	RR (Mpa)	0.261915	0.850196	1.438477	2.026759	2.615040
	Áreas (m ²)	99.02	3384.66	1205.06	195.31	15.73

Con la información proporcionada por el mapa podemos conocer las áreas de compactación, como se aprecia en el cuadro (6): Dichas áreas no expresan las profundidades a las que se encuentran debido a que es una interpolación, pero es posible calcular los porcentajes de profundidad sobre los datos obtenidos en el muestreo. En el muestreo estático 36.50% pertenece a la prof1 (20-30) y 63.50% a la prof2 (30-40), en el caso del muestreo dinámico 37.24% de la prof1 y 62.76 de la prof2 (Figura 21).

6.1.2. Análisis campo 2

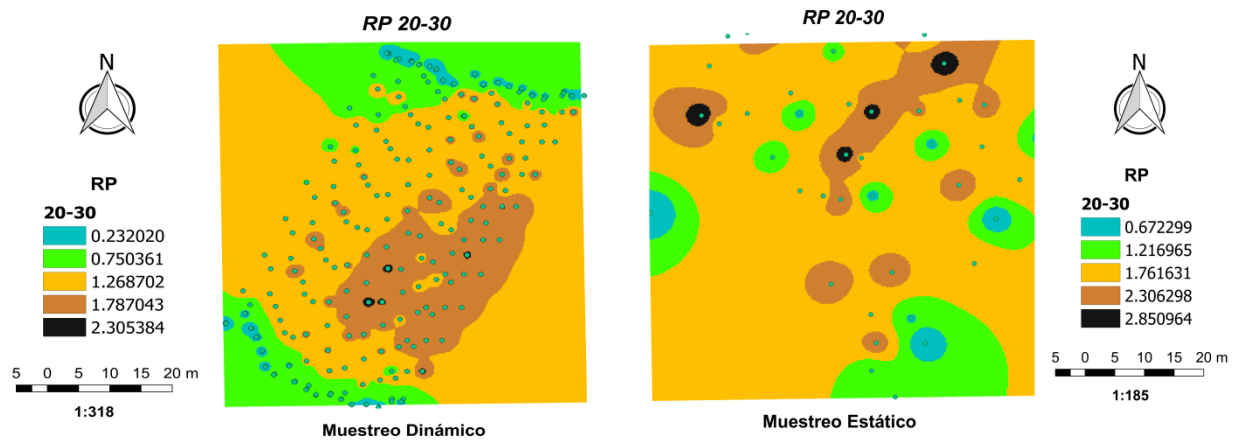


Figura 22 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 20-30 cm

El valor máximo en el muestreo dinámico es de 2.305 mientras que muestreo estático fue de 2.850 MPa. Debido al mayor número de datos en el muestro dinámico se tiene una mejor percepción del comportamiento de la RP del suelo y por ende una diferencia en los intervalos (Figura 22).

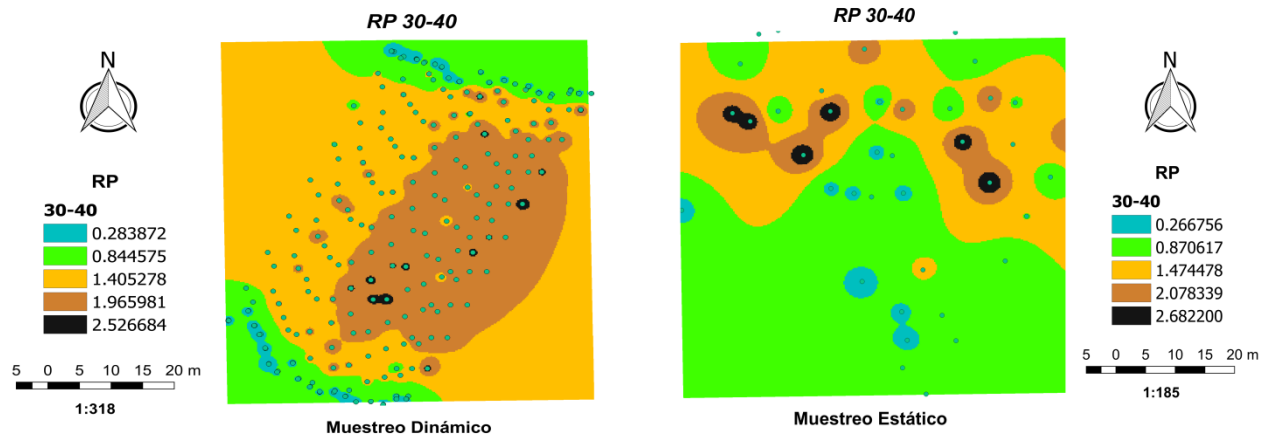


Figura 23 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad 30-40 cm

A simple vista se observa una diferencia de colores, como se menciona anteriormente se debe al número de datos interpolados en cada uno de los casos. En los intervalos no existe mucha diferencia, el valor máximo es 2.527 para el muestreo dinámico y 2,682 MPa para el estático. En el muestreo dinámico el color amarillo tiene un área de 2162.26 m² que y el estático un área de 577.32 m² (Figura 23).

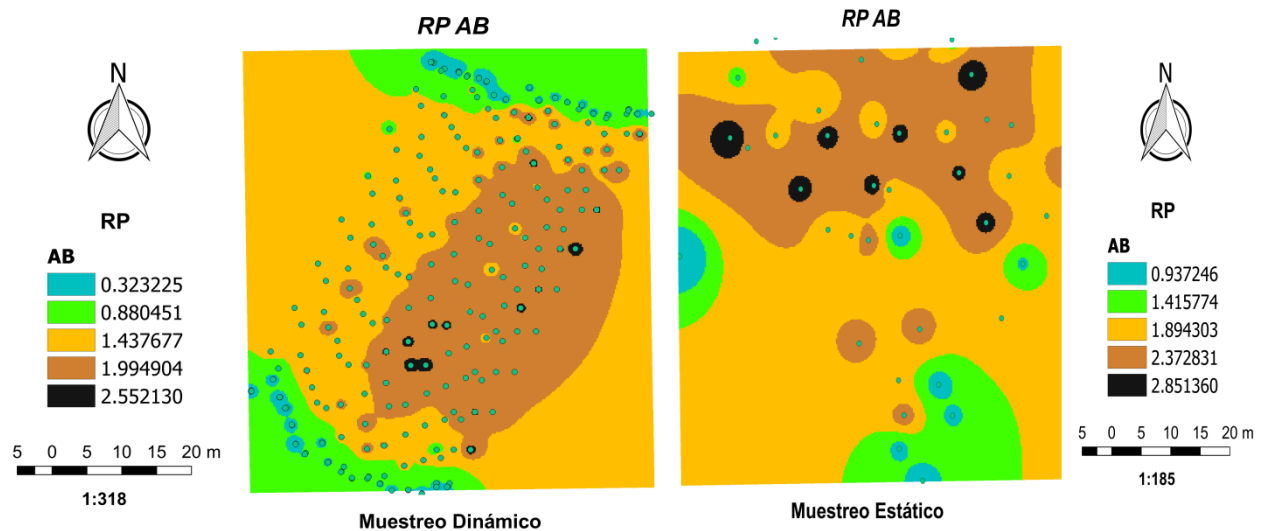


Figura 24 Mapa de resistencia a la penetración de profundidad AB

Obtenido con la función IF de Excel en el cual se conoce su RP pero no su profundidad. En primera instancia se observa intervalos distintos, esto debido a que el muestreo dinámico tiene un valor máximo de 2.552 y el muestreo estático de 2.851MPa,

esto se debe al número de datos interpolados y al porcentaje de error que posee el modelo de regresión lineal usado (Figura 23).

Cuadro 7 Comparación de muestreos estáticos y dinámicos C2

Muestreo		Azul	Verde	Amarillo	Café	Negro
Estático	RR (Mpa)	0.937246	1.415774	1.894303	2.372831	2.851360
	Áreas (m ²)	35.74	202.84	1076.36	452.27	32.76
Dinámico	RR (Mpa)	0.323225	0.880451	1.437677	1.994904	2.552130
	Áreas (m ²)	81.1	633.75	2166.59	1150.58	27.91

En el cuadro (7) se aprecia las áreas de compactación estas áreas no expresan las profundidades a las que se encuentran por ser generada por una interpolación pero es posible calcular el porcentaje de datos usados de cada profundidad. En el muestreo estático 73.91% pertenece a la prof1 (20-30) y 26.09% a la prof2 (30-40), en el caso del muestreo dinámico 36.35% de la prof1 y 63.64 de la prof2.

Basado en el análisis de los mapas del C1, C2 junto con revisión de literatura se llega a un proceso de generación de mapas de diagnóstico el cual se describe en el siguiente diagrama de flujo (Figura 25).

Valores menores a 1.5 Mpa son óptimos para los cultivos (No ofrecen resistencia alguna para un adecuado desarrollo radicular), solo se rotura a 20 cm por defecto. Mayores a 2.0 y menores a 2.0 Mpa tienden a limitar el crecimiento radicular por lo tanto se debe roturar a hasta los 30 cm. Valores que superan 2.0 Mpa se considera como compactación crítica (impiden significativamente el crecimiento radicular) y necesita ser descompactado hasta los 40 cm de profundidad.

6.2. Discusión

Los autores Whiteley *et al.* (1981); Threadgill (1982); Hamblin (1985); Gupta & Allmaras (1987) y Grant, Lafond (1993), mencionan que valores de RP inferiores a 1,5 MPa no ofrecen resistencia alguna para un adecuado desarrollo radicular, mayores a este ya ofrecen cierta resistencia, mientras que superiores a 2,0 MPa se ve afectado el

crecimiento de las raíces y el abastecimiento de agua y nutrientes. Por su parte Riedell *et al.*, (2004) menciona que en la mayor parte de las especies cultivadas, el crecimiento de raíces se verá afectado cuando la resistencia a la penetración sea mayor a 1,4 Mpa y Duiker (2013) confirma que las raíces en un suelo se reduce linealmente con el aumento de la resistencia a la penetración, hasta que se llega a una resistencia de 2,07 MPa (300 psi), donde casi ninguna raíz puede penetrar. Por lo anterior es necesario conocer los niveles de capas de compactación para una toma de decisiones en la labranza y optimizar el consumo de energía, Campos *et al.* (2015) desarrollaron un equipo de muestreo estático que permite medir la magnitud, profundidad y geolocalización de las capas compactadas con una precisión mayor a 0.025 m y errores menores al 1%.

Andrade *et al.*, (2004) concluyeron que a medida que pasa el tiempo incrementa la integración de sensores para obtener información sobre las variables del suelo y los cultivos, muchos de estos sensores cuentan con GPS para obtener mapas de las diferentes variables, debido a que con mayor densidad de datos se puede hacer mejores cálculos para la toma de decisiones. Campos *et al.*, (2015) obtuvieron mapas de diagnóstico que contienen atributos como la ubicación y la magnitud de la resistencia a la penetración. Este trabajo tiene como contribución la propuesta de un proceso para generar mapas de diagnóstico que expliquen la resistencia a la penetración y profundidad a la que se encuentra en intervalos definidos.

VII. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

Tras el análisis en el software QGIS 2.14.3 se generaron mapas de diagnóstico de dos campos en donde se realizaron muestreos estáticos y dinámicos, los cuales presentan la magnitud de la variable "resistencia a la penetración" (Mpa) y las áreas (m²) en las que se encuentra distribuida la magnitud. Teniendo una mejor distribución de la variable con muestreos dinámicos.

Si bien se generaron mapas de diagnóstico de RP y áreas no se logró conocer las profundidades debido a esto se llegó a la propuesta de un proceso para la generación de mapas de diagnóstico en el cual pueda representar la RP, las áreas y las profundidades a las que se encuentran.

7.1. Recomendación

Es necesario ejecutar el proceso para la generación de mapas de diagnóstico en diferentes softwares de sistemas de información geográfica.

VIII. LITERATURA CITADA

- Agüera Vega, J., & Pérez Ruiz, M.** (2013). Agricultura de precisión hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 2013(105), 12-27.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J.** (2012). *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision* (Vol. 12, No. 3). FAO, Rome: ESA Working paper.
- Alonso Sarría, F.** (2000). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. *Murcia, España*.
- Andrade, P., Upadhyaya, S. K., Jenkins, B. M., Plouffe, C., & Poutre, B.** (2004). Field evaluation of the improved version of the UCDavis compaction profile sensor (UCD-CPS). In *2004 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Andrade, P., Upadhyaya, S. K., Jenkins, B. M., Plouffe, C., & Poutre, B.** (2004). Field evaluation of the improved version of the UCDavis compaction profile sensor (UCD-CPS). In *2004 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bongiovanni, R., Mantovani, E., Best, S., & Roel, Á.** (2006). *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Procisur/IICA.
- Botta, G. F., Jorajuria, D., & Draghi, L. M.** (2002). Influence of the axle load, tyre size and configuration on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics*, 39(1), 47-54.
- Bragachini, M. A., von Martini, A., & Méndez, A. A.** (2004). Tecnología Disponible para Aplicaciones de Insumos Sitio Específico.
- Campos-Magaña, S. G.**, (2018). Uso de labranza vertical y agricultura de precisión en la optimización de energía en el laboreo primario del suelo.
- Campos-Magaña, S. G., J. A. López-López, M. Cadena-Zapata, M. A. Reynolds-Chávez, N Cuervo-Piña and G. Ramírez-Fuentes.** 2015a. Desarrollo de un

- penetrómetro integrado con tecnología GPS-RTK para la generación de mapas de resistencia a la penetración de suelo. *Terra Latinoamérica*. 33(2): 119-128.
- Dexter**, A. R., Czyż, E. A., & Gaęe, O. P. (2007). A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil and Tillage Research*, 93(2), 412-419.
- Duiker**, W. 2013. "Diagnosing Soil Compaction Using a Penetrometer (soil compaction tester)". "Penn State Extension, College of Agricultural Science". USA.
- Gallardo**, A. (2006). Geostadística. *Revista ecosistemas*, 15(3).
- García** Ruiz, I., Sánchez Ortiz, M., Vidal Díaz, M. L., Betancourt Rodríguez, Y., & Rosa Llano, J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2), 51-56.
- García**, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*. Recuperado de http://www.palermo.edu/ingeniería/Ciencia_y_tecnología/ciencia_y_tecno_8.html.
- Gil**, E. 2008 Situación actual y posibilidades de la Agricultura de Precisión, Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, 18 de febrero 2002. 22
- Grant**, C. A., & Lafond, G. P. (1993). The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 73(2), 223-232.
- Gupta**, S. C., & Allmaras, R. R. (1987). Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. In *Advances in Soil Science* (pp. 65-100). Springer, New York, NY.
- Hamblin**, A. P. (1986). The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. In *Advances in Agronomy* (Vol. 38, pp. 95-158). Academic Press.
- Hernández**, C. U. P., Castillo, W. E. S., Becerra, X. M., & Hernández, S. B. J. (2013). Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013(82), 118-130.

- Huisman O.** (2008). "Principles of Geographic Information Systems". The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Holanda.
- Kichler, C. M., Fulton, J. P., Raper, R. L., Zech, W. C., McDonald, T. P., & Brodbeck, C. J.** (2007). Spatially monitoring tractor performance to evaluate energy requirements of variable depth tillage and implement selection. In *2007 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Lipiec, J., Tarkiewicz, S., & Kossowski, J.** (1991). Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soil and Tillage Research*, 19(2-3), 307-317.
- López, L., Fresh, G.,** 2014. Evaluación de sensores para el monitoreo de la resistencia a la penetración de suelo para la generación de mapas de diagnóstico. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 40-45 p.
- López, L., Fresh, G.,** 2017. Generación de un modelo estocástico para determinar la relación entre sensores de penetración vertical y horizontal para caracterización del suelo agrícola. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 40 p.
- Lutz, A., Menge, J., & O'Connell, N.** (1986). Citrus root health: hardpans, claypans, and other mechanical impedences. *Citrograph (USA)*, v.71,n.3, p.57-61.
- Mancebo, Q. S.** (2008). Aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Libros SIG, España, 109(1-15)
- Marote, M. L.** 2010. Agricultura de precisión. *Ciencia y tecnología*. 10: 143-166.
- Mondal, P., Basu, M., Bhadoria, P. B. S., Emam, A. A., Salih, M. H., & Adegbite, A. A.** (2011). Critical review of precision agriculture technologies and its scope of adoption in India. *American Journal of Experimental Agriculture*, 1(3), 49-68.
- Muñoz, P.** (1993). Estadio de los ensayos de resistencia a la penetración: análisis de los factores de medidas, relación con otras propiedades físicas. *Evolución bajo distintos sistemas de manejo del suelo. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIA Córdoba. España.*

- Murillo**, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Ingenierías USBMed*, 3(1), 62-68.
- Ocampo**, M. (2018). Agricultura de Precisión.
- Olaya**, V. (2010): Introduction to Sextante.
- Pagliai**, M., Marsili, A., Servadio, P., Vignozzi, N., & Pellegrini, S. (2003). Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research*, 73(1-2), 119-129.
- Paz-González**, A., Vieira, S. R., & Castro, M. T. T. (2000). The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, 97(3-4), 273-292.
- Ponvert** Delisles, D., & Quan, A. L. (2013). Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 22(4), 75-80.
- Riedel**, W.; Pikul J.; Osborne, S. y Schumacher, T. 2004. "Soil/Water Research". South Dakota University. "2004 Progress Report". USA: Agricultural Experiment Station, Plant Science Department.
- Serrato-Cruz**, M. A., Barajas-Pérez, J. S., & Díaz-Cedillo, F. (2007). Aceites esenciales del recurso genético Tagetes para el control de insectos, nematodos, ácaros y hongos. *Agricultura sostenible*, 3, 142-200.
- Taylor**, H. M., & Gardner, H. R. (1963). Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Science*, 96(3), 153-156.
- Threadgill**, E. D. (1982). Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*, 25(4), 859-963.
- Valero** Ubierna, C., Navas Gracia, L. M., González Herrero, F., Gómez Gil, J., Ruiz Ruiz, G., Barreiro Elorza, P., & Garrido Izard, M. (2010). Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura de Precisión, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) Serie "Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura". Nº 16.

Whiteley, G. M., Utomo, W. H., & Dexter, A. R. (1981). A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. *Plant and Soil*, *61*(3), 351-364.

|

IX. ANEXOS

A. Análisis de datos campo 1 resistencia a la roturación (RR)

- 27 líneas
- Magnitudes en Newtons (N)

A1. Manejo de los datos en Excel

1.-Convertir coordenadas decimales a UTM (Universal Transversa Mercator).

En Excel abrir el conversor de coordenadas decimales a UTM.

	Longitude Minutes	Longitude Seconds	Latitude Converted to DD.dddd	Longitude Converted to DD.dddd	Lat DD.dddd	Long DD.dddd	Long Zone	Long Zone CM	Delta Long (Rad)	Lat Rad	Long Rad	r curv 1 = rho	r curv 2 = nu	Calculate Meridional Arc Length	Meridional Arc S	Coefficients for UTM Coordinates					Raw Northing	Northing	Easting	Long Zone	
1																Ki	Kii	Kiv	Kv	A6					
2					25.354583	-101.035963	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805771	295117.6	14
3					25.354562	-101.035975	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805769	295116.4	14
4					25.354523	-101.035998	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805764	295114	14
5					25.354477	-101.036025	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805759	295111.2	14
6					25.354379	-101.036084	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805749	295105.1	14
7					25.354333	-101.036108	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805744	295102.6	14
8					25.35429	-101.036132	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805739	295100.1	14
9					25.354278	-101.036142	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805738	295099.1	14
10					25.354252	-101.036102	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805735	295103.1	14
11					25.354273	-101.03609	14	-99	-0	0	-2	##	##	##	##	##	##	##	##	##	0	##	2805737	295104.3	14

2. En una nueva hoja de Excel se copia Este, Norte, Sensor 1 y 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	Sensor 1	Sensor 2								
2	295119.597	2805720.45	26.174	-2.469								
3	295119.597	2805720.45	28.667	-3.394								
4	295119.597	2805720.45	19.163	-4.320								
5	295119.597	2805720.45	19.163	-4.320								
6	295119.597	2805720.45	21.500	-3.394								
7	295119.597	2805720.45	28.667	-2.469								
8	295119.597	2805720.45	23.837	-2.469								
9	295119.597	2805720.45	21.500	-2.469								
10	295119.597	2805720.45	21.500	-2.469								
11	295119.597	2805720.45	21.500	-1.543								
12	295119.597	2805720.45	28.667	-2.469								
13	295119.597	2805720.45	28.667	-1.543								
14	295119.597	2805720.45	19.163	-3.394								
15	295119.597	2805720.45	26.174	-1.543								
16	295119.597	2805720.45	11.997	-1.851								
17	295119.597	2805720.45	26.174	-1.851								
18	295119.597	2805720.45	9.660	-1.851								
19	295119.597	2805720.45	23.837	-2.469								

3. Aplicar el modelo de regresión $RP=7.262 \times 10^{-4} RR$ para manejar los datos en RP (Newtons a Mpa). RP Muestreo Dinámico.

Se analizó los datos incorporando Campo 1 más C2, donde se estimó un modelo de regresión clásica de tipo lineal. El modelo presenta propiedades estadísticas confiables. En particular el que mejor se ajustó fue para el modelo $RP=7.262 \times 10^{-4} RR$ con

coeficiente de determinación de 80.45% y un coeficiente de correlación (Pearson) de 89.69%.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 1	Sensor 2						
2	295119.597	2805720.45	26.174	-2.469	0.00941135	-0.00088763		Modelo de predicción: Newtons A Mpa				
3	295119.597	2805720.45	28.667	-3.394	0.01030767	-0.00122049		RP=7.262x10-4 RR				
4	295119.597	2805720.45	19.163	-4.320	0.00689045	-0.00155335						
5	295119.597	2805720.45	19.163	-4.320	0.00689045	-0.00155335						
6	295119.597	2805720.45	21.500	-3.394	0.00773075	-0.00122049						
7	295119.597	2805720.45	28.667	-2.469	0.01030767	-0.00088763						
8	295119.597	2805720.45	23.837	-2.469	0.00857105	-0.00088763						
9	295119.597	2805720.45	21.500	-2.469	0.00773075	-0.00088763						
10	295119.597	2805720.45	21.500	-2.469	0.00773075	-0.00088763						
11	295119.597	2805720.45	21.500	-1.543	0.00773075	-0.00055477						
12	295119.597	2805720.45	28.667	-2.469	0.01030767	-0.00088763						
13	295119.597	2805720.45	28.667	-1.543	0.01030767	-0.00055477						
14	295119.597	2805720.45	19.163	-3.394	0.00689045	-0.00122049						
15	295119.597	2805720.45	26.174	-1.543	0.00941135	-0.00055477						
16	295119.597	2805720.45	11.997	-1.851	0.00431353	-0.00066572						
17	295119.597	2805720.45	26.174	-1.851	0.00941135	-0.00066572						
18	295119.597	2805720.45	9.660	-1.851	0.00347323	-0.00066572						
19	295119.597	2805720.45	23.837	-2.469	0.00857105	-0.00088763						

4._ Copiar en nueva hoja de Excel y pasarlos a valores absolutos.

Los valores siempre deben de manejarse positivos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 1	Sensor 2						
2	295119.597	2805720.45	0.00941135	-0.00088763	0.00941135	0.00088763						
3	295119.597	2805720.45	0.01030767	-0.00122049	0.01030767	0.00122049						
4	295119.597	2805720.45	0.00689045	-0.00155335	0.00689045	0.00155335						
5	295119.597	2805720.45	0.00689045	-0.00155335	0.00689045	0.00155335						
6	295119.597	2805720.45	0.00773075	-0.00122049	0.00773075	0.00122049						
7	295119.597	2805720.45	0.01030767	-0.00088763	0.01030767	0.00088763						
8	295119.597	2805720.45	0.00857105	-0.00088763	0.00857105	0.00088763						
9	295119.597	2805720.45	0.00773075	-0.00088763	0.00773075	0.00088763						
10	295119.597	2805720.45	0.00773075	-0.00088763	0.00773075	0.00088763						
11	295119.597	2805720.45	0.00773075	-0.00055477	0.00773075	0.00055477						
12	295119.597	2805720.45	0.01030767	-0.00088763	0.01030767	0.00088763						
13	295119.597	2805720.45	0.01030767	-0.00055477	0.01030767	0.00055477						
14	295119.597	2805720.45	0.00689045	-0.00122049	0.00689045	0.00122049						
15	295119.597	2805720.45	0.00941135	-0.00055477	0.00941135	0.00055477						
16	295119.597	2805720.45	0.00431353	-0.00066572	0.00431353	0.00066572						
17	295119.597	2805720.45	0.00941135	-0.00066572	0.00941135	0.00066572						
18	295119.597	2805720.45	0.00347323	-0.00066572	0.00347323	0.00066572						
19	295119.597	2805720.45	0.00857105	-0.00088763	0.00857105	0.00088763						

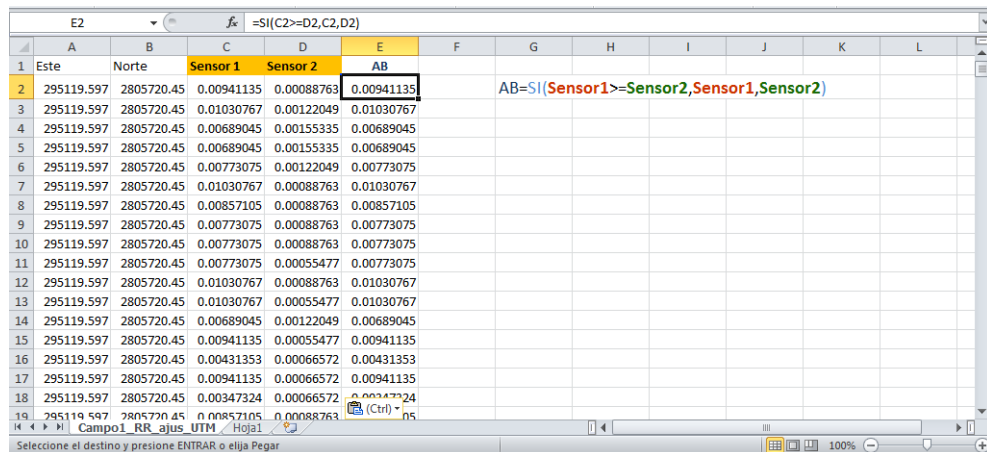
5._ Crear una nueva columna AB

Los datos del Sensor 1 son a una profundidad de "20-30" y el sensor 2 a "30-40", con base en los dos sensores se crea una nueva columna que se le asigna AB esto utilizando la función If de Excel. Se comparan los valores del Sensor 1 y el Sensor 2, tomando así los valores más altos.

If 20-30>= 30-40; En donde se refiere
a
Then AB= 20-30;
Else AB= 30-40;
End

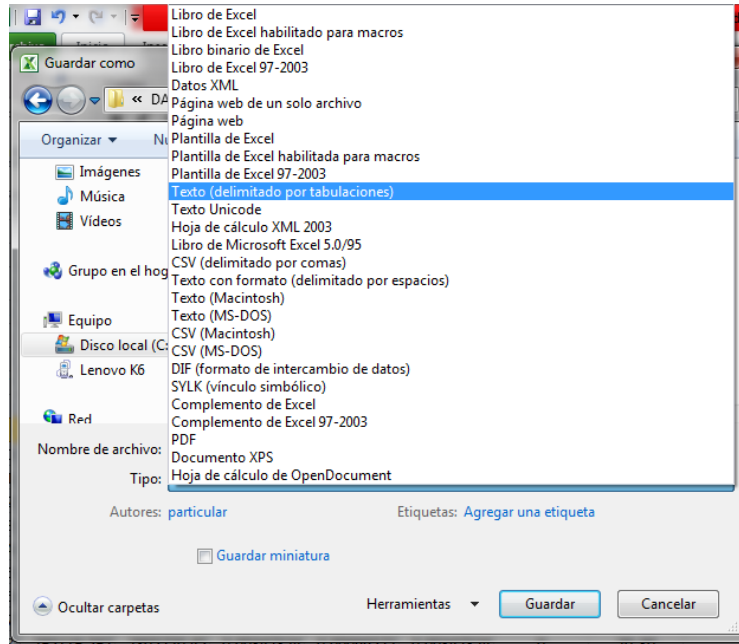
If (condición)
{sentencias_si_verdadero;}
else
{sentencias_si_falso;}
end

A continuación se observa el proceso de codificación en Excel para el manejo de datos



13._ La manera de guardar los datos en archivo texto delimitado por tabulación (.txt):

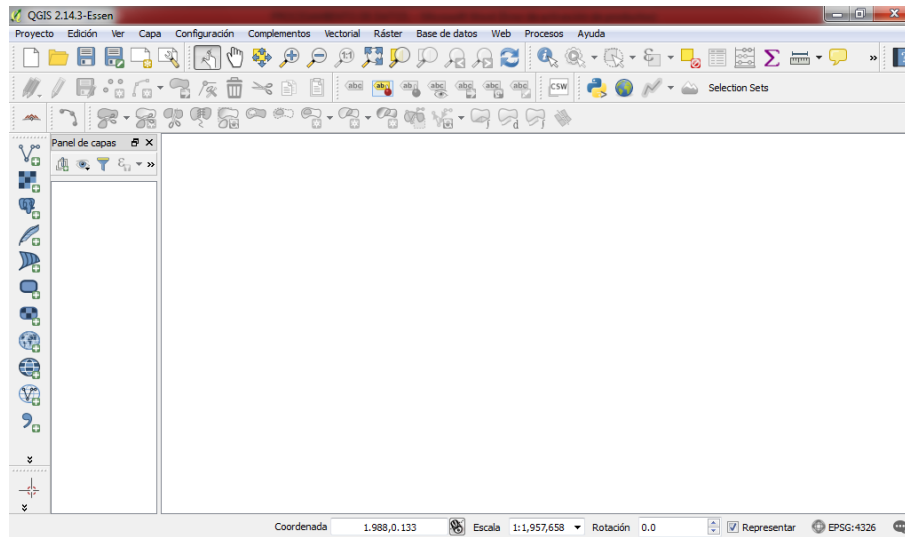
- Guardar como
- Seleccionar carpeta
- Nombrarlo
- Seleccionar Delimitado por tabulaciones (.txt)
- Guardar como se observa en la figura



A2. Importación de datos a QGIS

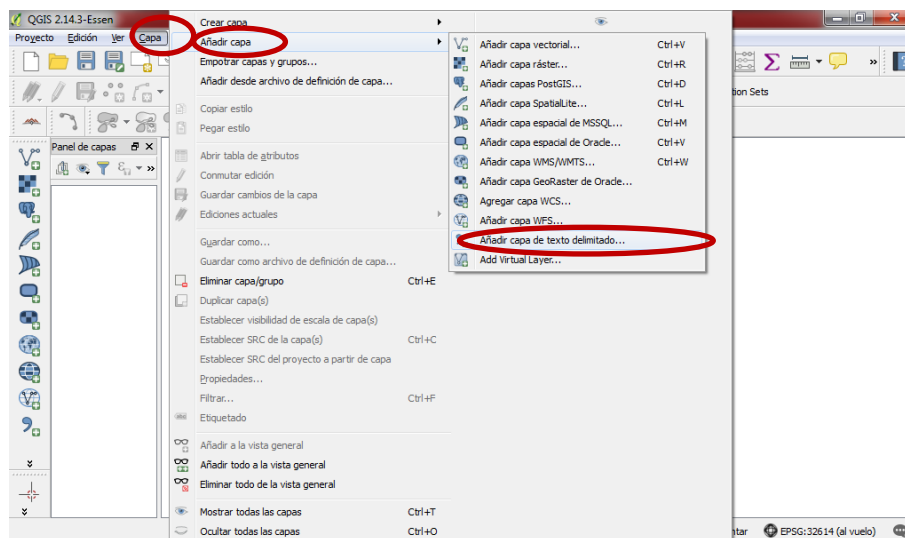
Se importa el archivo de texto con los datos de RP (Muestreo Dinámico) Campo 1.

1._ Abrir QGIS

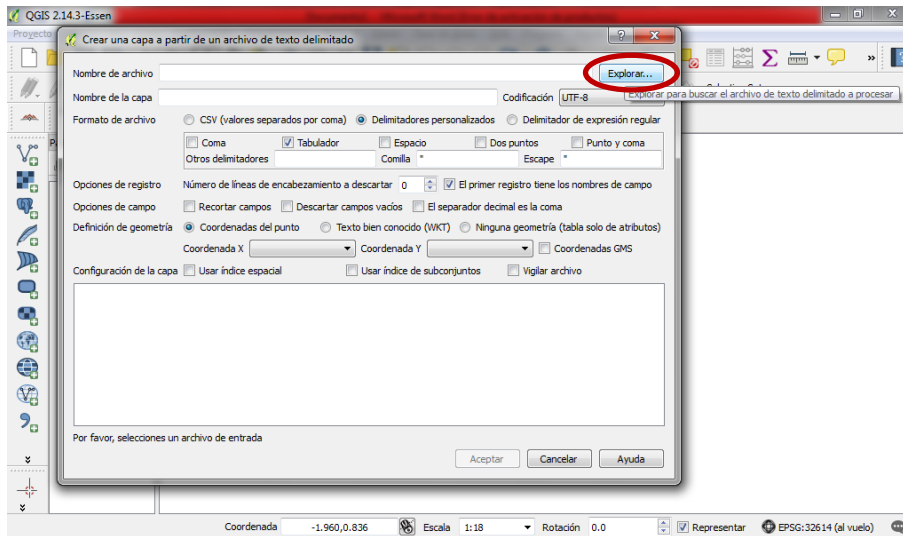


2._ Agregar archivo delimitado a QGIS

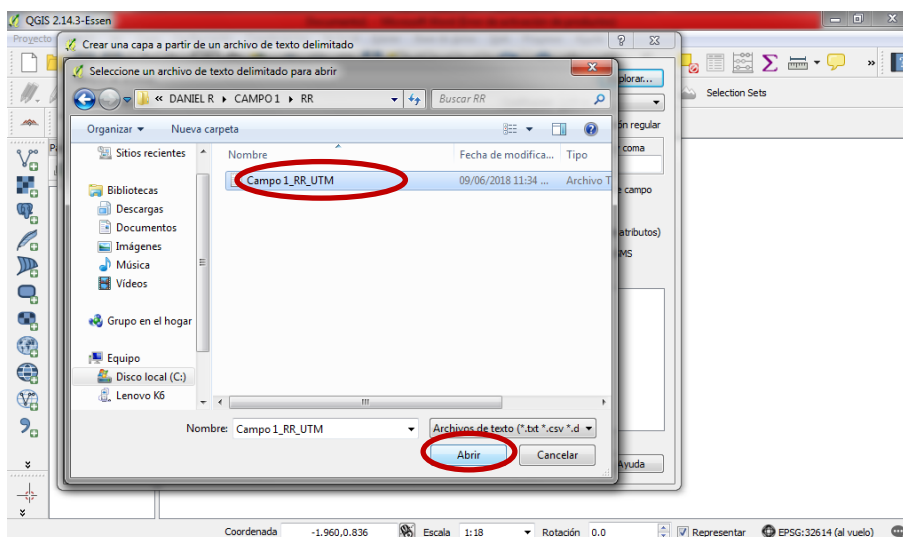
Dar clic en *Capas > Añadir capa > Añadir capa de texto delimitado.*



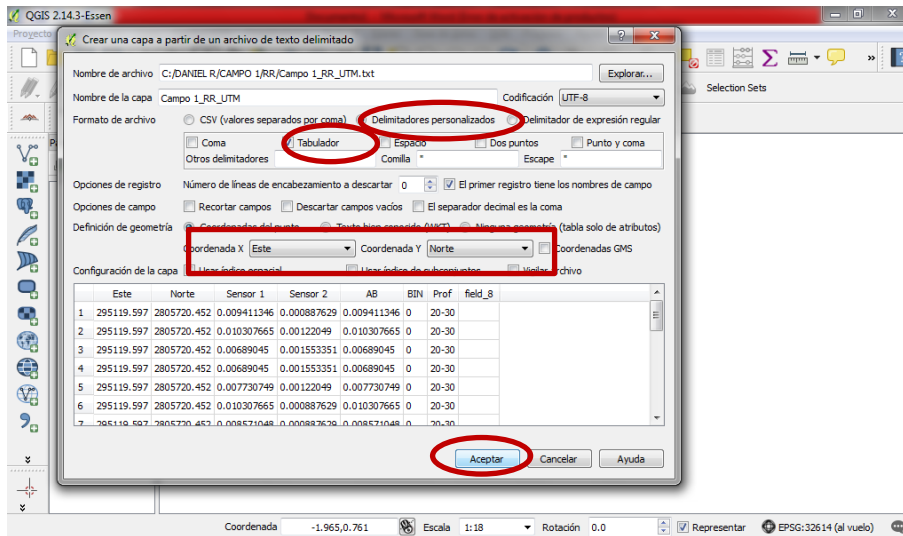
2._En la ventana *Crear una capa desde un archivo de texto delimitado*, haga clic en *Buscar*.



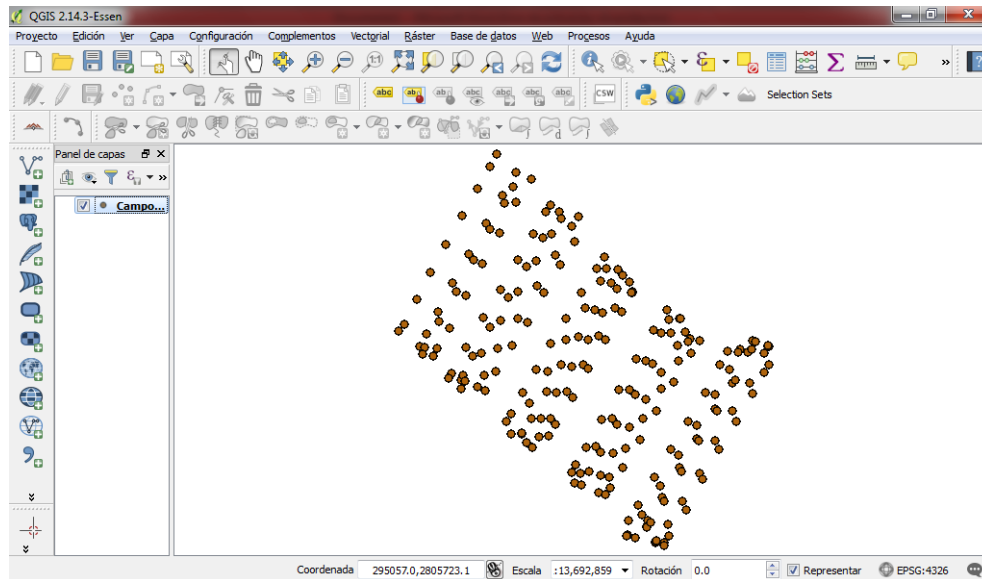
3._ Especificar la ruta al archivo de texto Campo 1_RR_UTM.



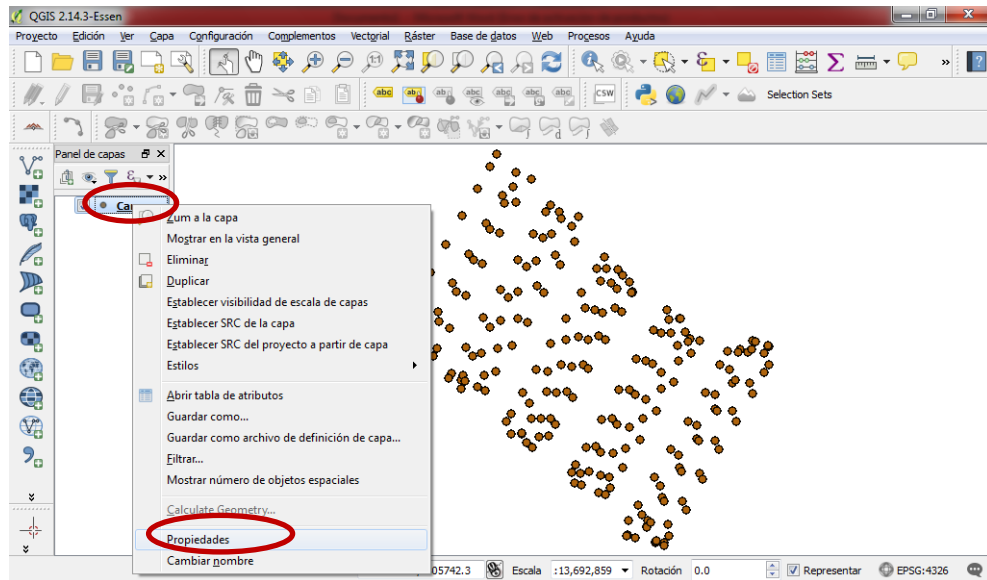
4._ En la sección *Formato de Archivo*, seleccionar *Delimitadores personalizados* y sección *Tabulador*. Luego en sección *Definición de Geometría* se llena con los campos de coordenadas *X* y *Y*. En este caso *Este Y Norte*. Por último *Aceptar*.



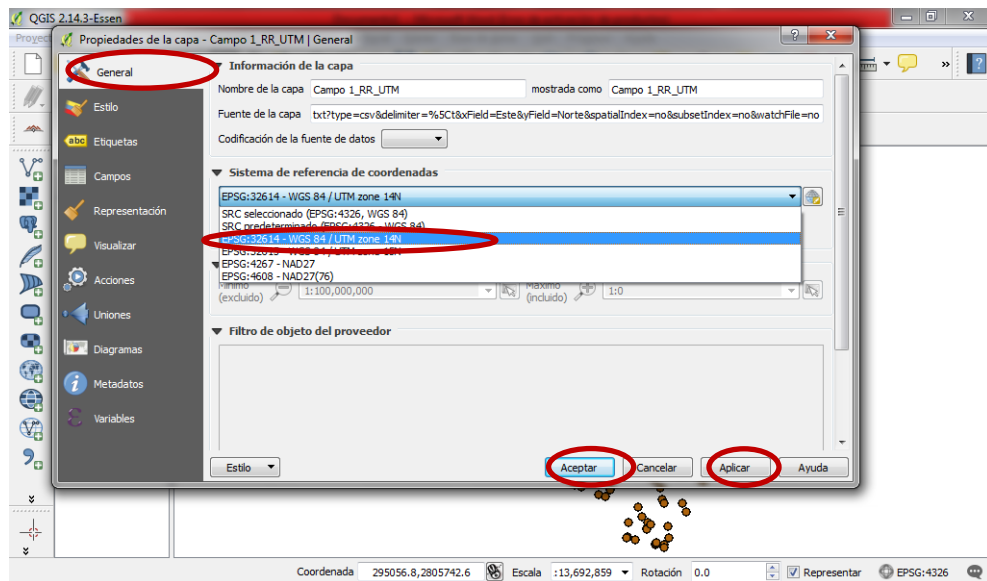
5._ A continuación se observan que los datos han sido importados y desplegados en la pantalla de QGIS.



6._ Haga clic derecho sobre la capa y luego en *Propiedades*.

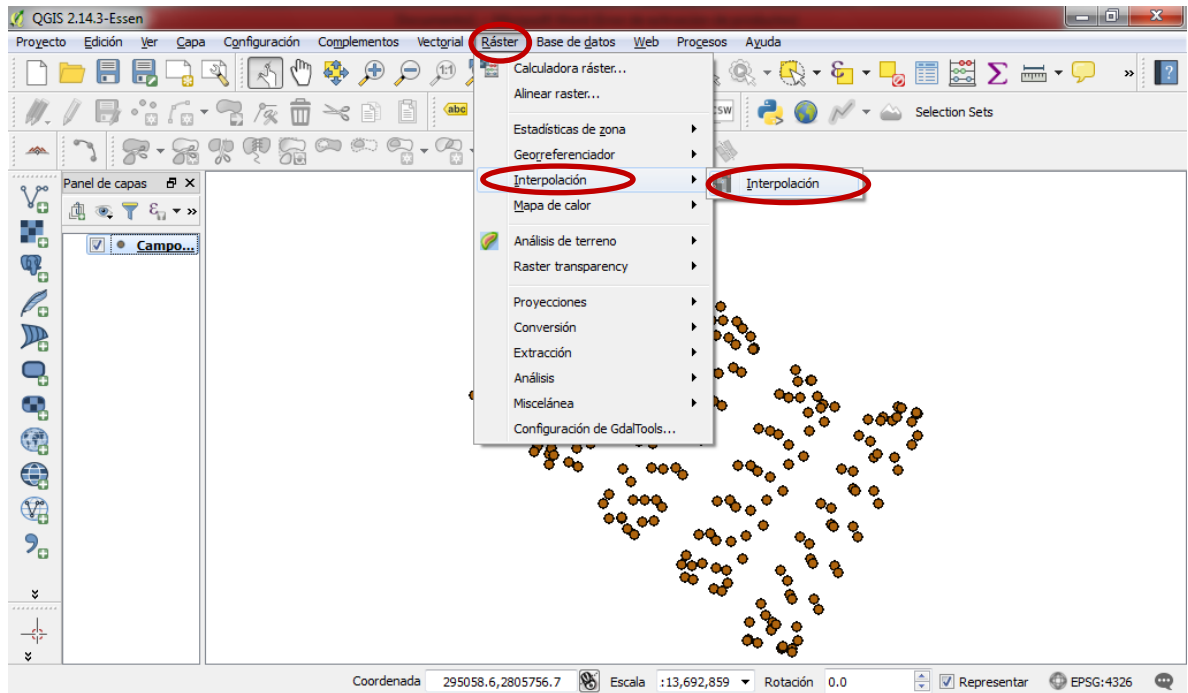


7._ En General, ir a Sistema de referencia de coordenadas y seleccionar WGS 84/ UTM zone 14N, Aplicar y luego Aceptar.

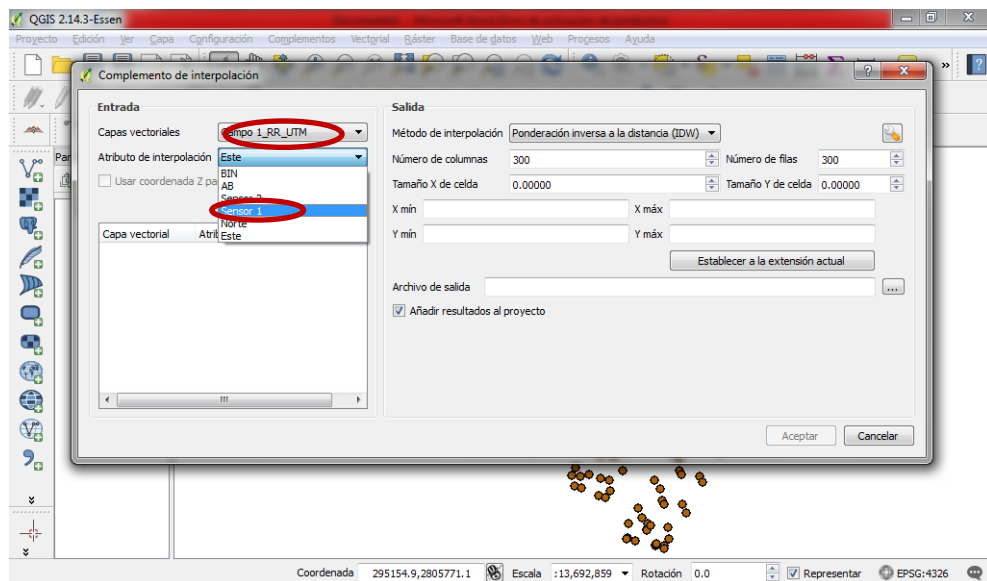


A3. Interpolación

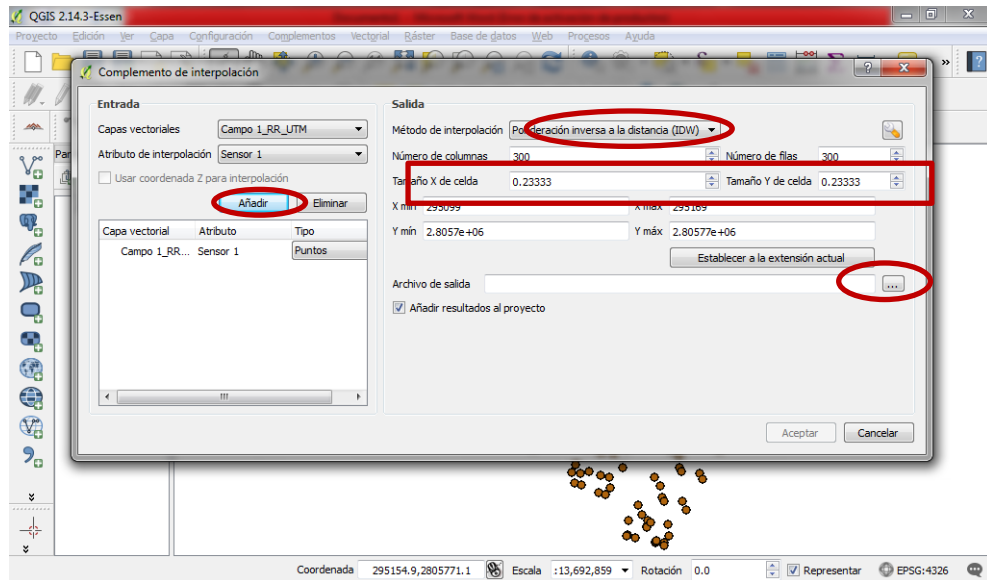
1._ Haga clic en la capa *Ráster* > *Interpolación* > *Interpolación*.



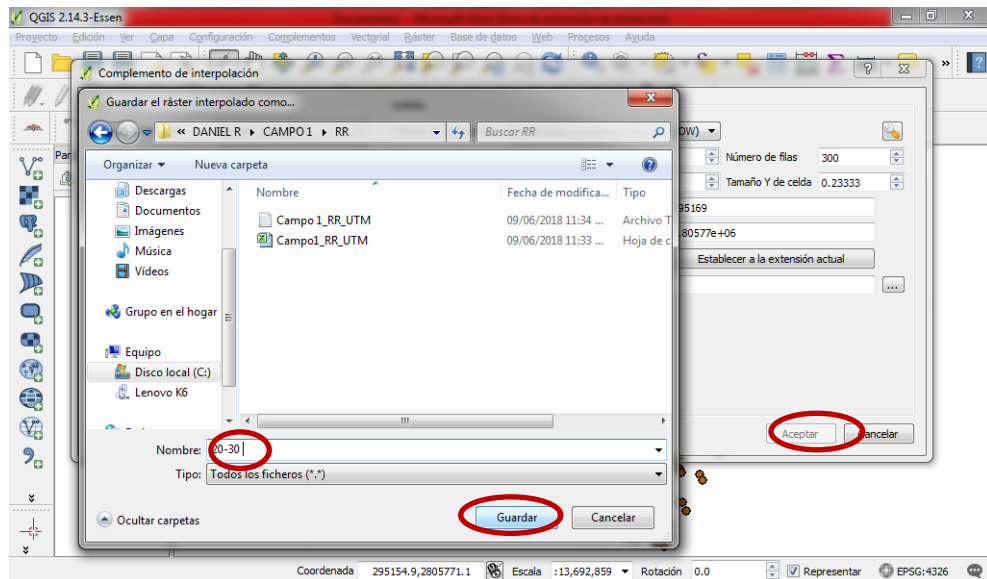
2._ En la ventana de Interpolación corroborar que en *Capas Vectoriales* esté seleccionado *Campo 1_RR_UTM*. En *Atributo de interpolación* escoger la capa y el atributo a interpolar.



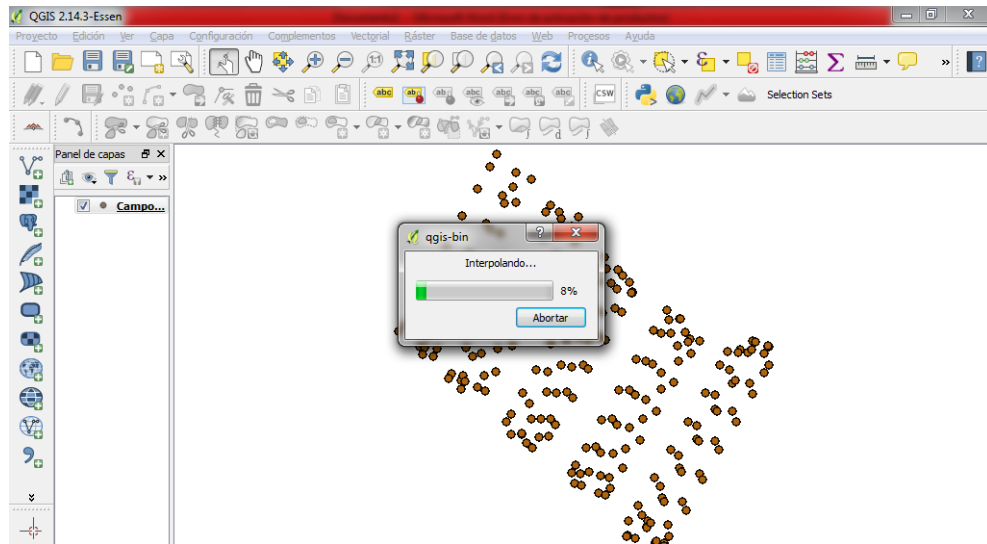
3._ Se procede a Añadir, en *Método de interpolación* seleccionar ***Ponderación Inversa a la Distancia (IDW)***. También se puede definir el *Tamaño de celda X, Y* (tamaño de los pixeles) pero en este caso se dejan por default. Luego se define el nombre de salida.



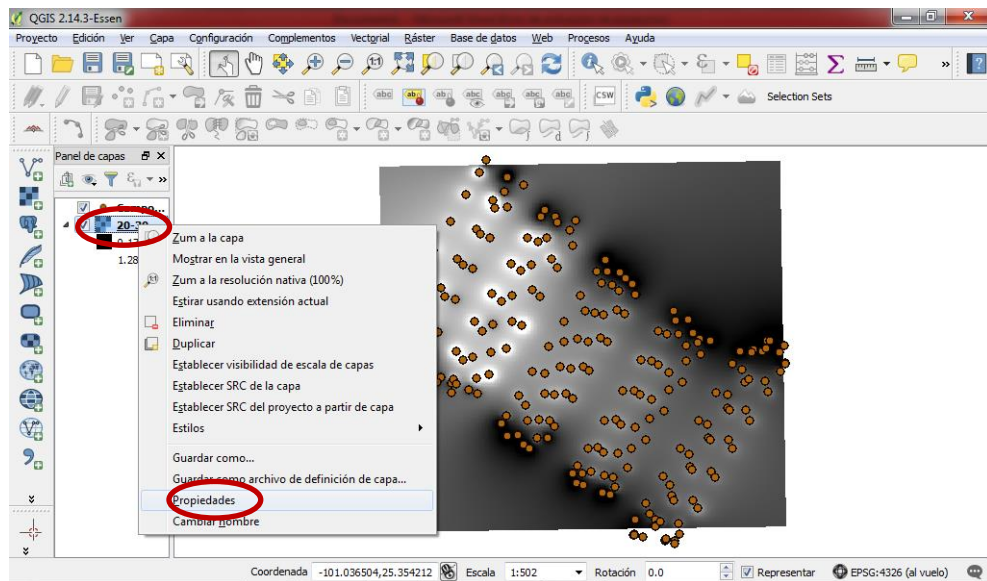
4._ Definir la ruta de guardado > Agregar un nombre > Guardar > Aceptar.



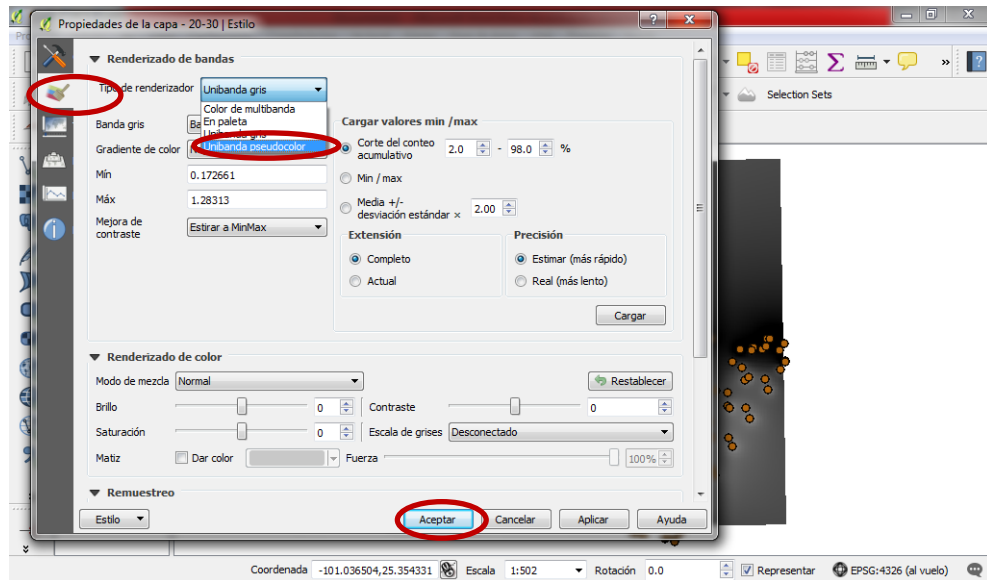
5. Esperar a que termine el proceso, puede tomar unos minutos, dependiendo de la cantidad de valores que se están manejando.



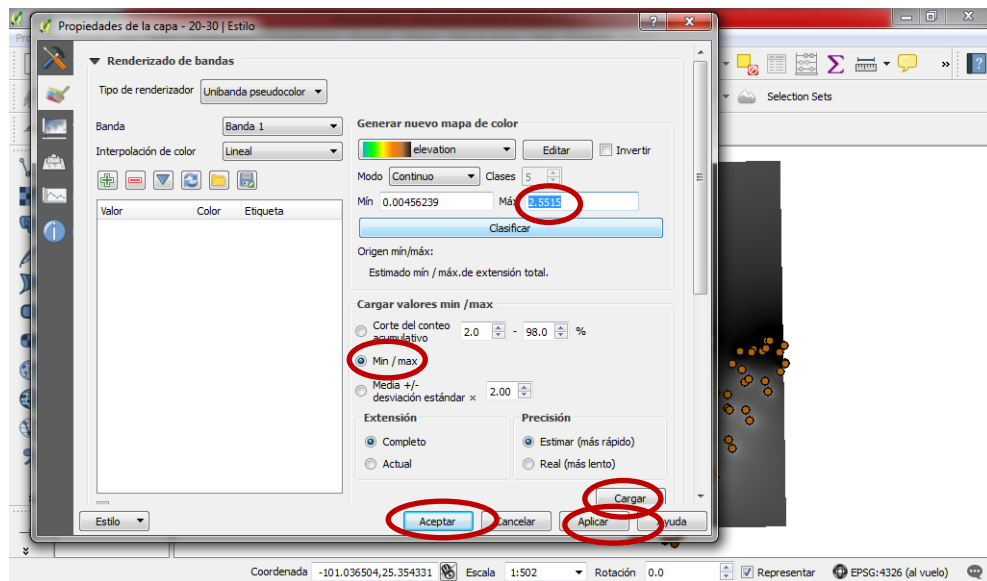
6._ Una vez terminado la interpolación (doble clic sobre la capa o clic derecho y luego *Propiedades*).



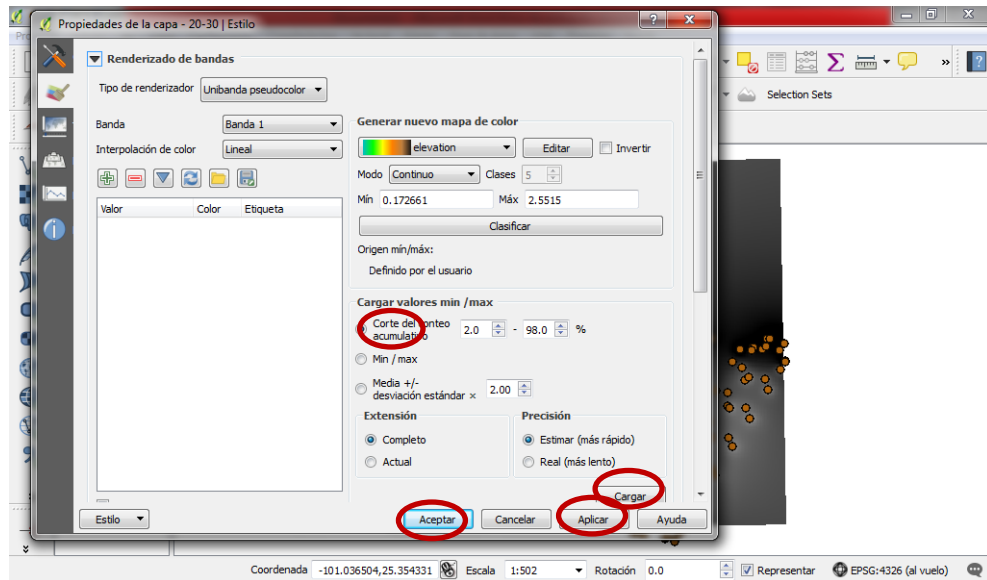
7._ En propiedades, ir a *Estilo*, en *Tipo de renderizador* seleccionar *Unibanda pseudocolor*.



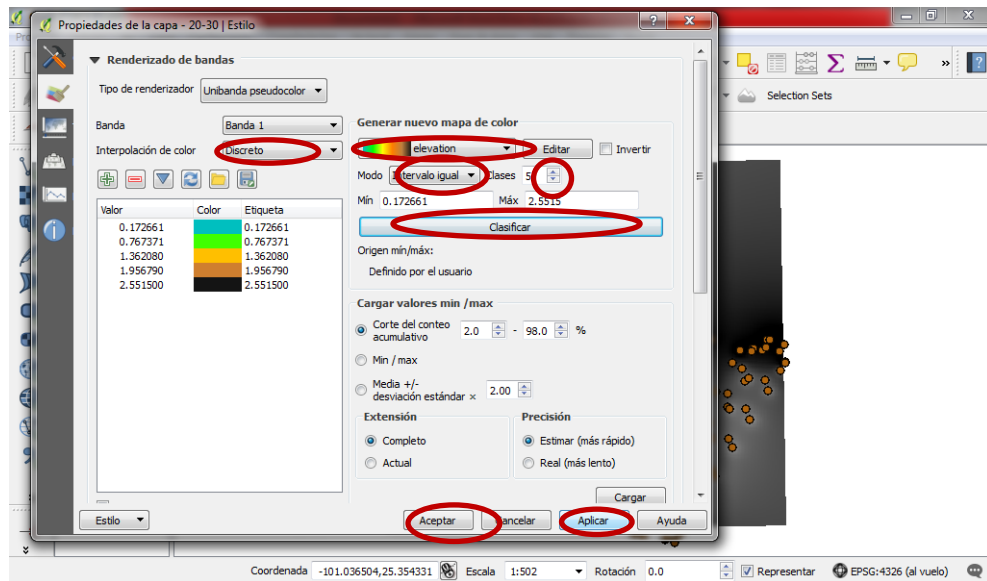
8._ En el campo *Cargar valores* activar *Min/máx* y *Cargar*. Se actualizan los valores y copiamos el valor de *Máx*.



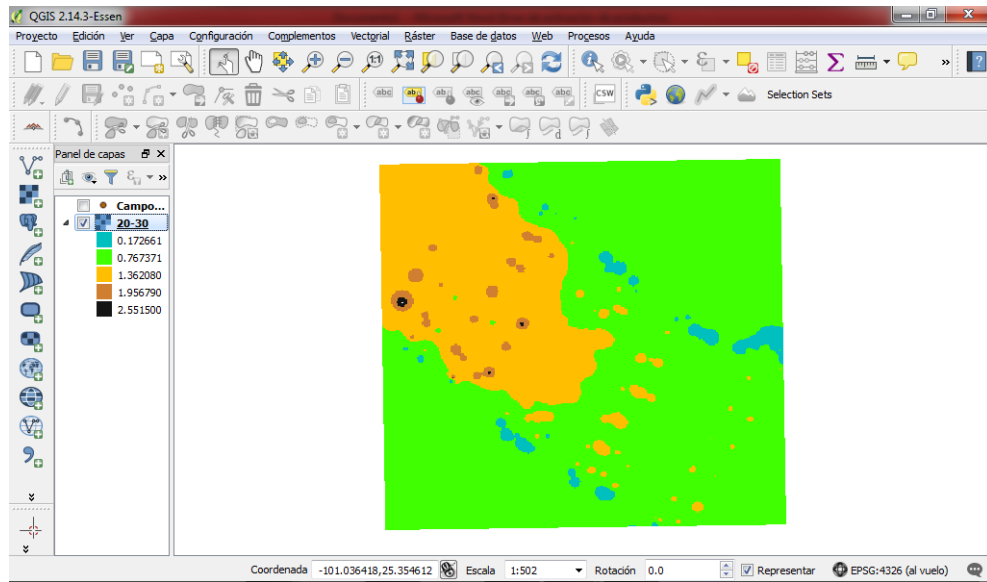
9._ En los campos *Cargar valores* se activa *Corte del conteo acumulativo*, y luego *Cargar*, nuevamente se actualizan los valores de *Min* y *Max*, en este segundo pegar el valor copiado anteriormente. Este procedimiento se realiza con el fin de no descartar ningún valor en la clasificación.



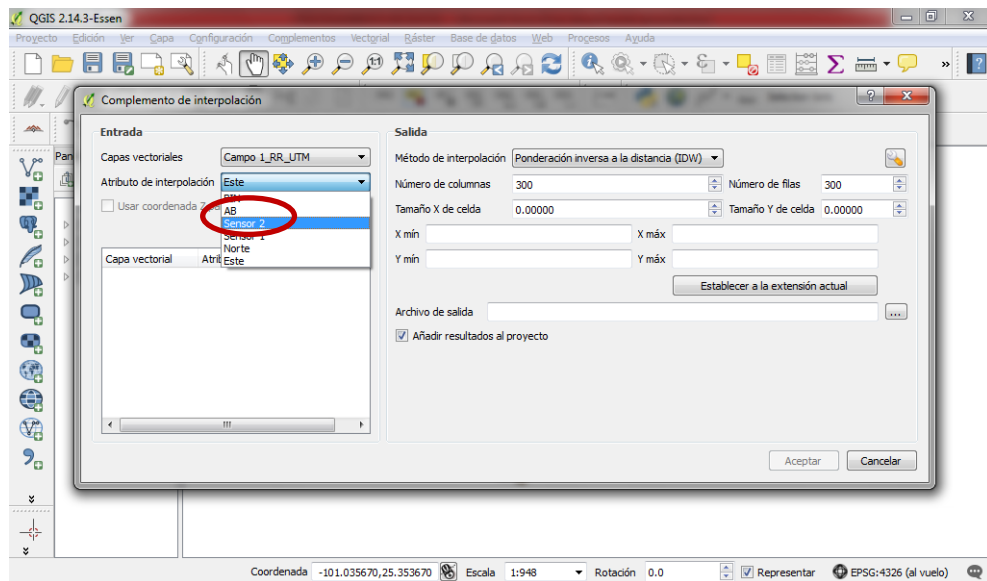
10._ En la opción *Interpolación de color*, seleccionar *Discreto*. En *Nuevo mapa de color* se puede cambiar el tipo de banda a preferencia personal, en *Modo*, seleccionar *Intervalo igual* y colocar 5 *clases*. Seguidamente haga clic en la opción *Clasificar / Aplicar/ Ok*.

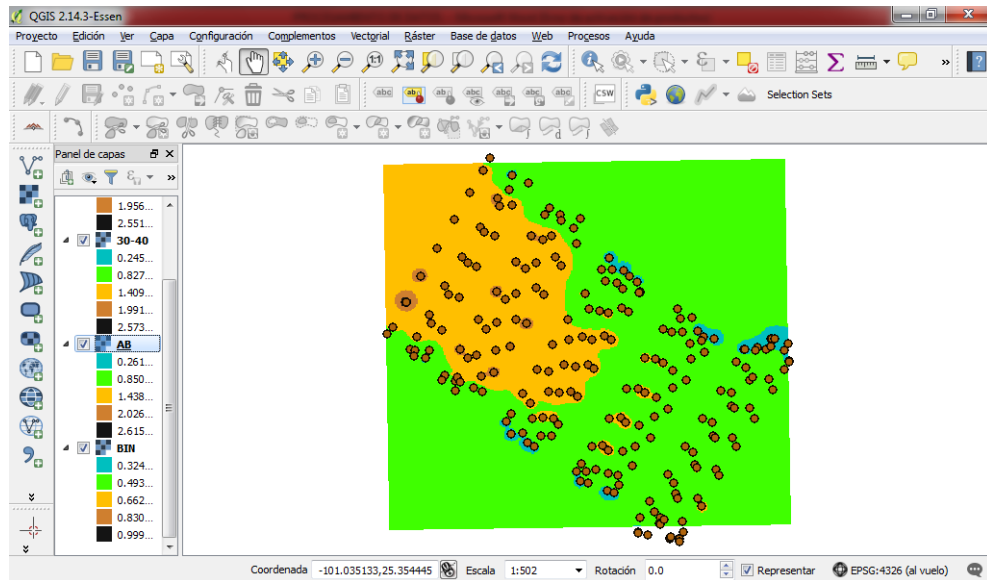


11._ De esta manera queda el mapa de interpolación 20-30 RP del Campo 1(Muestreo Dinámico).



12. De la misma manera se interpolan todos los atributos (*Sensor 2*, *AB*, *BIN*) de la capa Campo 1_RR_UTM.





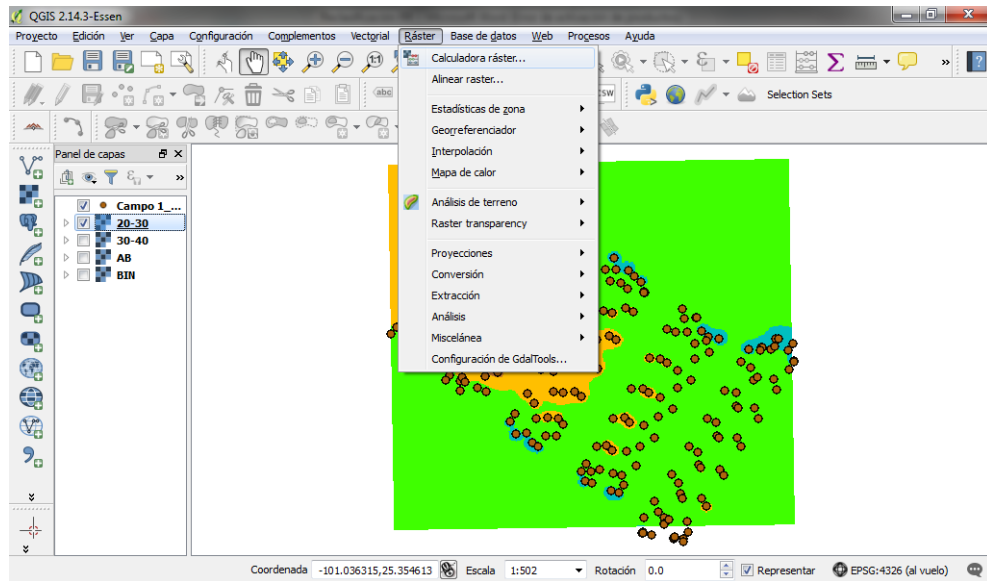
NOTA:

- Este mismo procedimiento se realiza para el campo 2_RR_UTM.
- Para los Campos 1 y 2 de RP se realiza el mismo procedimiento únicamente en la parte de la interpolación.

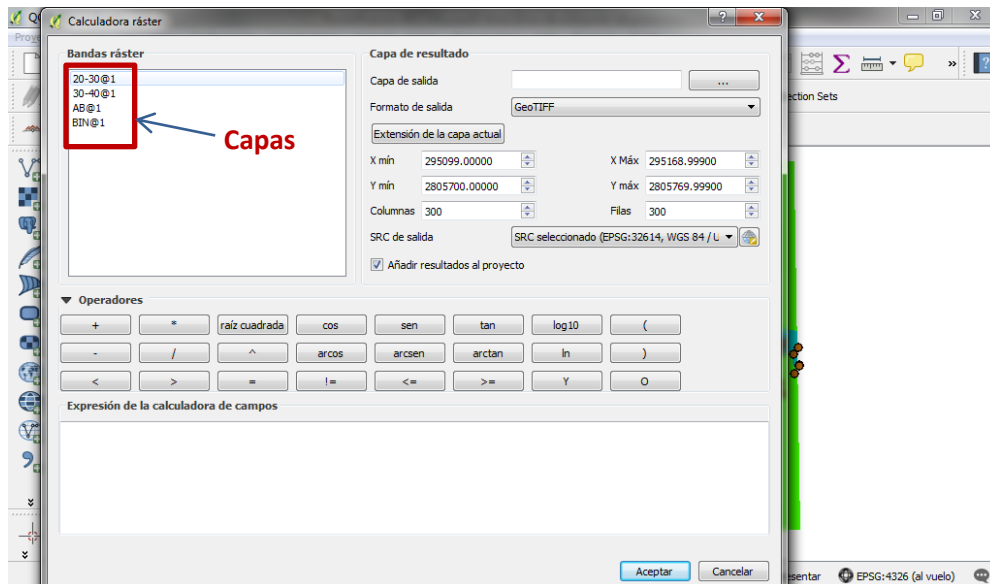
A4. Reclasificación

Se lleva a cabo la reclasificación para poder convertir las capas ráster a vectorial. Manejando las capas en vectorial se pueden calcular las áreas.

1._ Ir a Ráster > Calculadora ráster.



2._ Se abre esta nueva ventana.



3._ Se utilizan los mismos rangos de valores de la capa a reclasificar. La Codificación se inserta en *Expresión de calculadora de campos*.

20-30

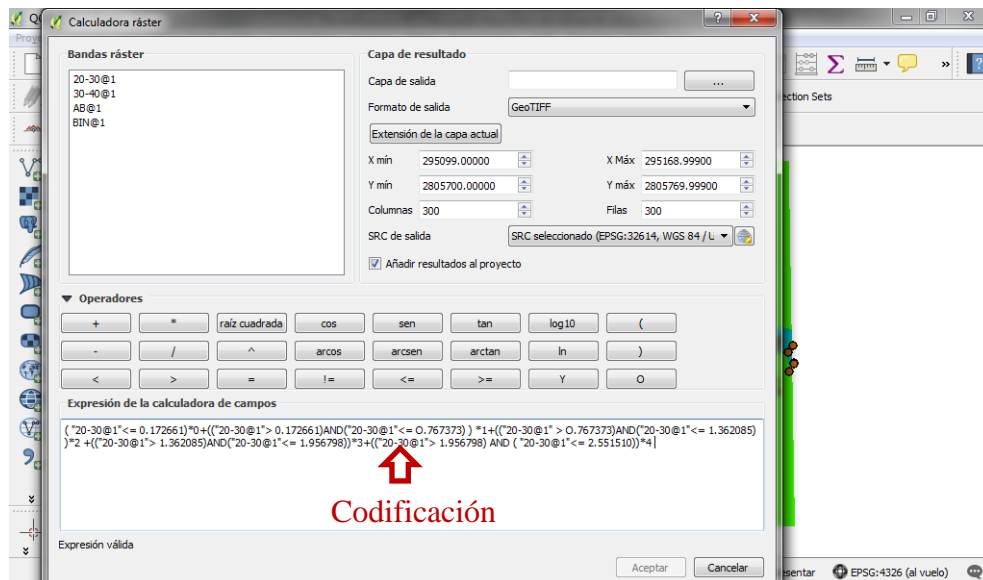
	0.172661
	0.767373
	1.362085
	1.956798
	2.551510

0 - 0.172661
0.172661 - 0.767373
0.767373 - 1.362085
1.362085 - 1.956798
1.956798 - 2.551510

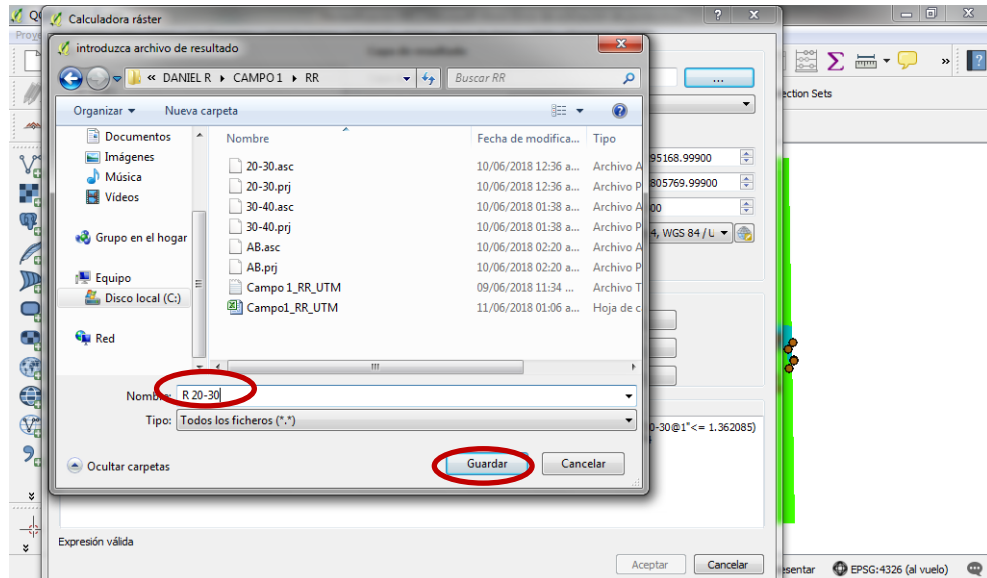
Codificación

RP_20-30 (Muestreo Dinámico

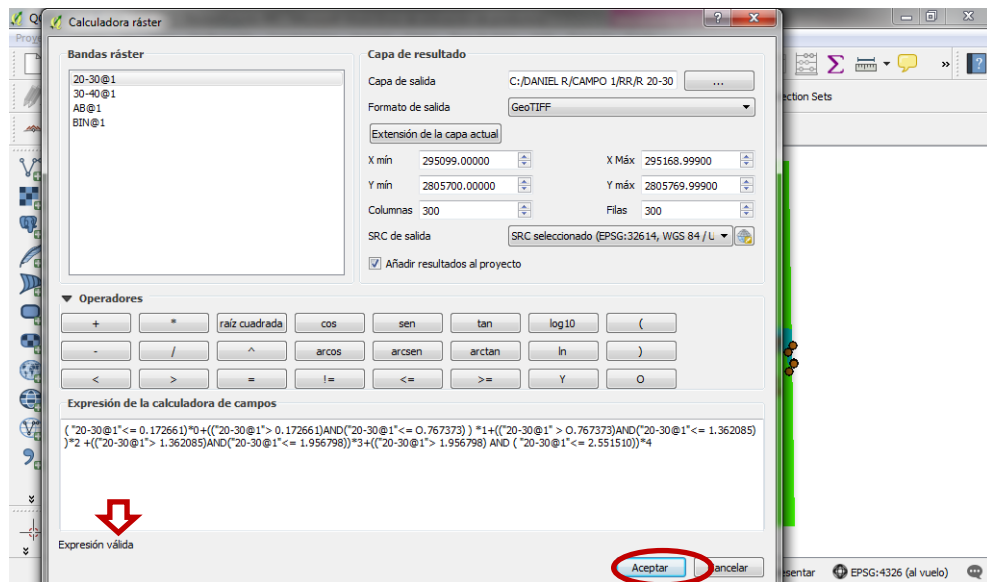
("20-30@1"<= 0.172661)*0+((("20-30@1"> 0.172661)AND("20-30@1"<= 0.767373)) *1+((("20-30@1" > 0.767373)AND("20-30@1"<= 1.362085)) *2 +((("20-30@1"> 1.362085)AND("20-30@1"<= 1.956798))*3+((("20-30@1"> 1.956798) AND ("20-30@1"<= 2.551510))*4



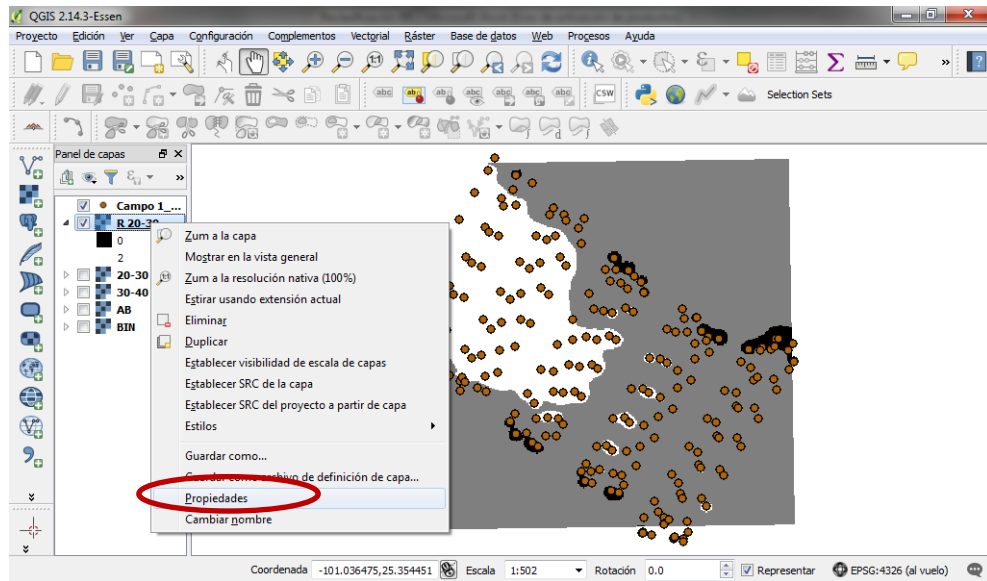
4._ Se especifica el *Campo de salida*,> *Nombre* > *Guardar*.



5._ Finalmente corroborar que en la parte inferior izquierda diga *Expresión válida*.
Aceptar.

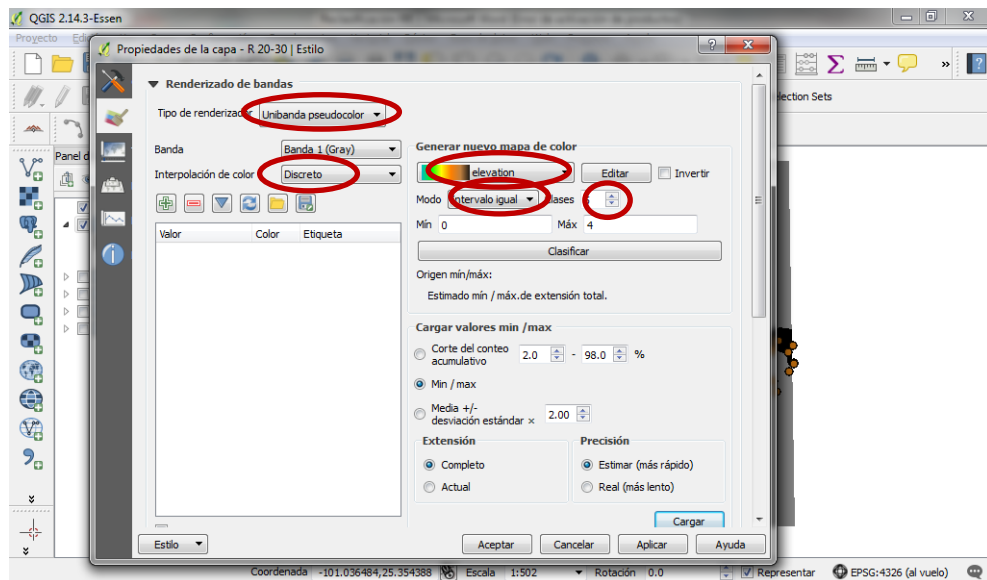


6._ Una vez que aparezca la capa, clic derecho sobre ella, luego propiedades.

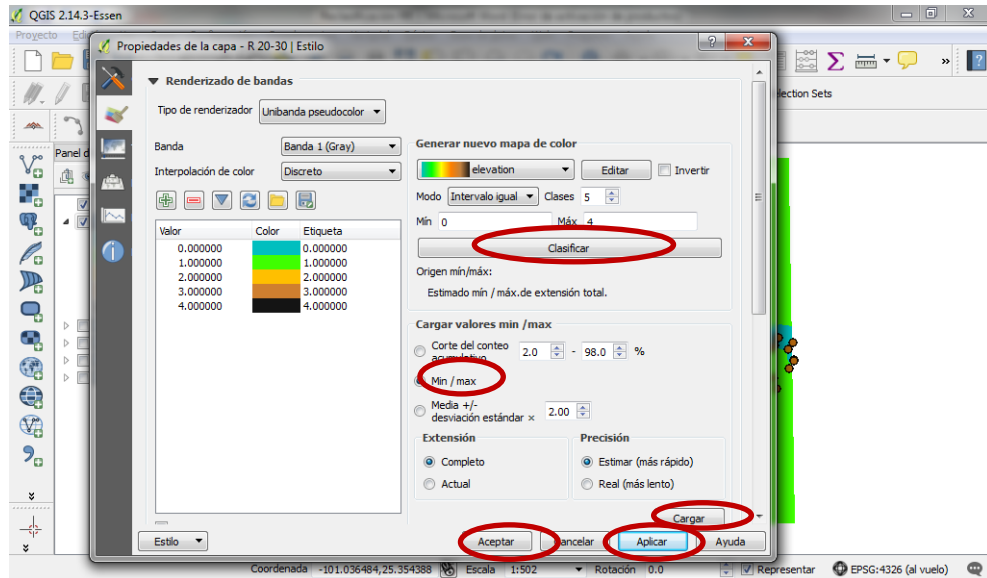


7._ Ir a Estilo:

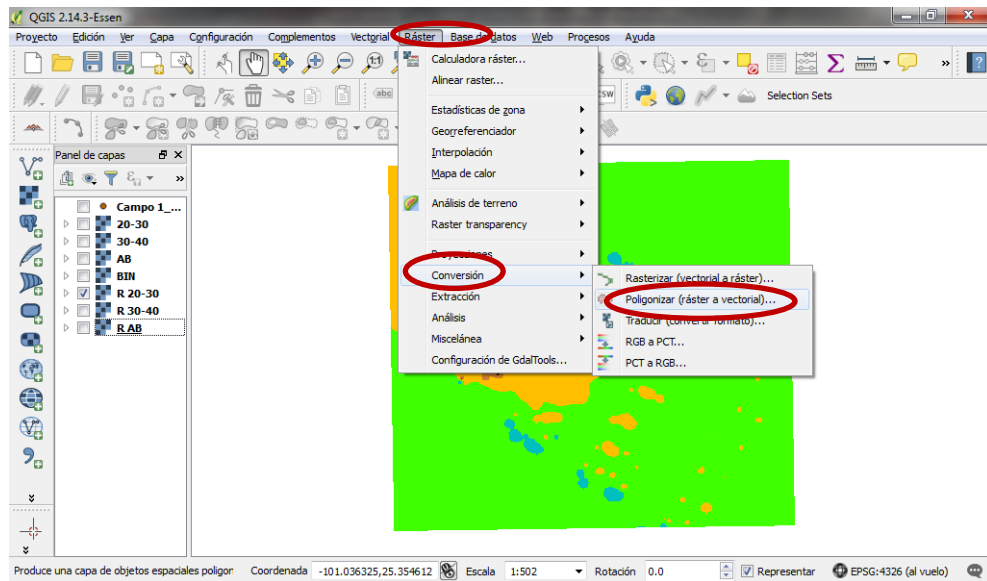
- *Tipo de renderizador > Unibanda pseudocolor,*
- *Interpolación de color > discreto*
- *Generar nuevo mapa de color > elevación*
- *Modo > Intervalo igual*
- *Clases > 5*



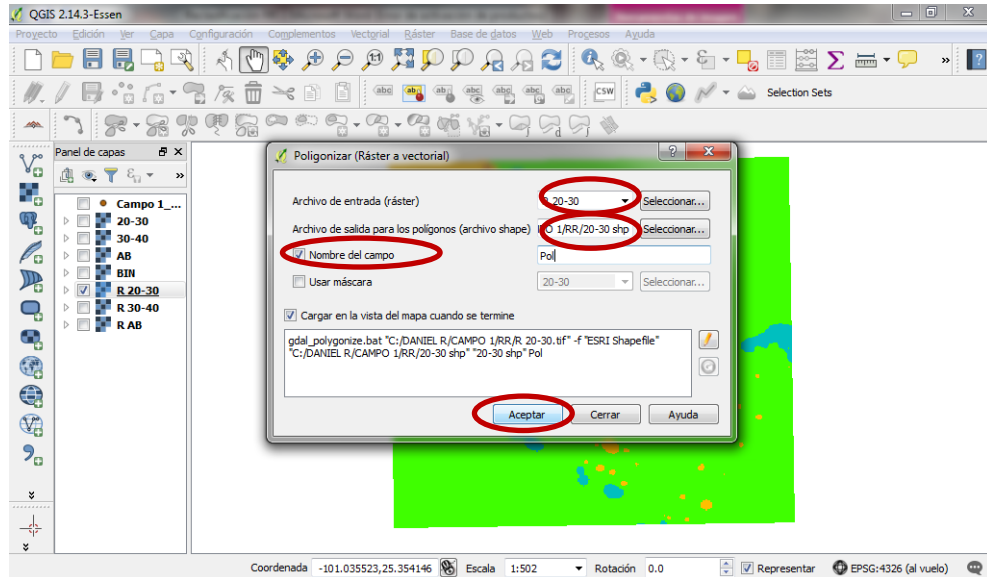
8._ En Cargar valores activar Min/máx y Cargar. Luego Clasificar > Aplicar> Aceptar.



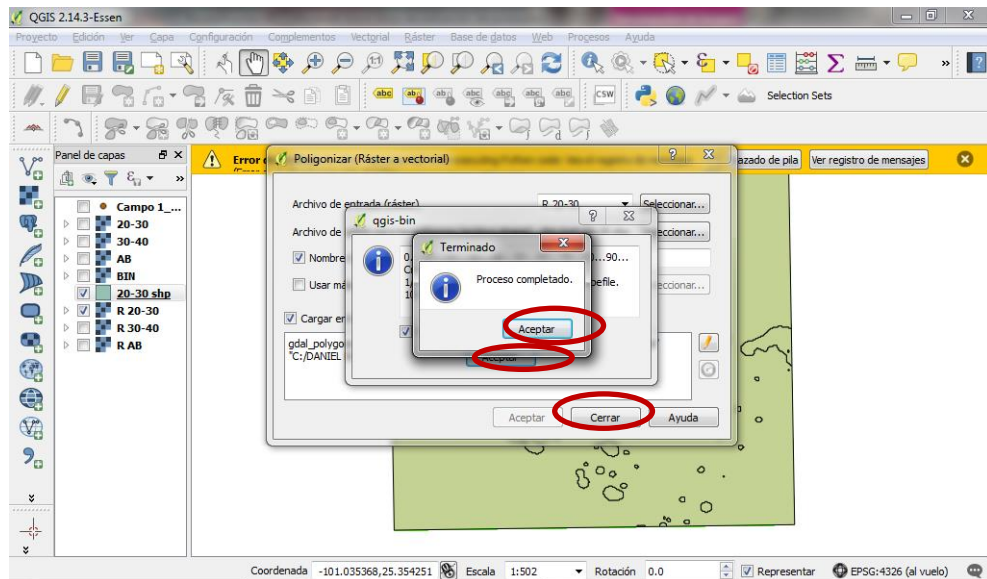
9._ Una vez cambiando el estilo de la capa, ir a *Ráster > Conversión > Poligonizar* (ráster a vectorial).



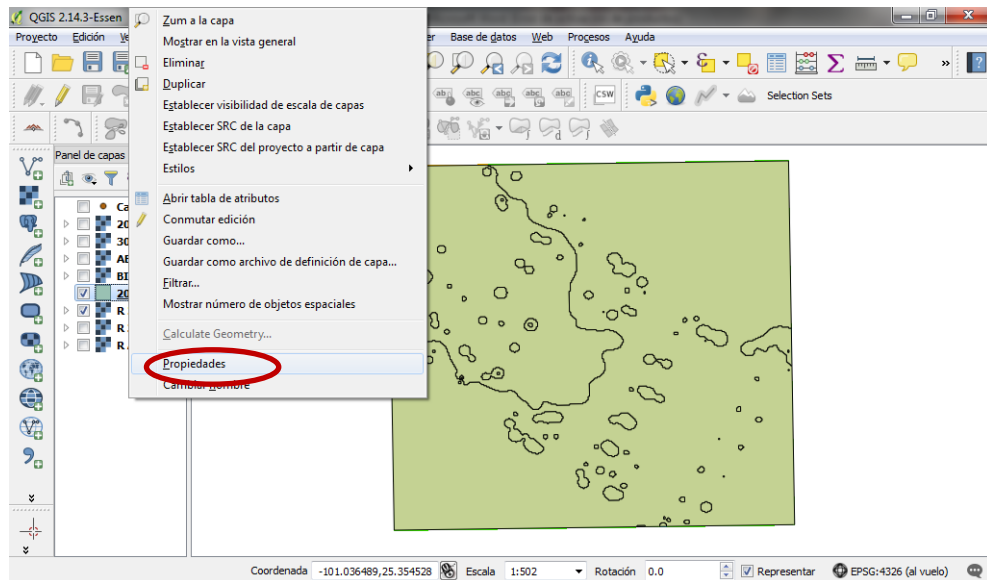
10._ En *Archivo de estrada (ráster)* seleccionar la capa a convertir. En *Archivo de salida para polígonos (archivo shp)* seleccionar la ruta y nombre. Activar *Nombre del campo* y nombrarlo en este caso Pol. Aceptar.



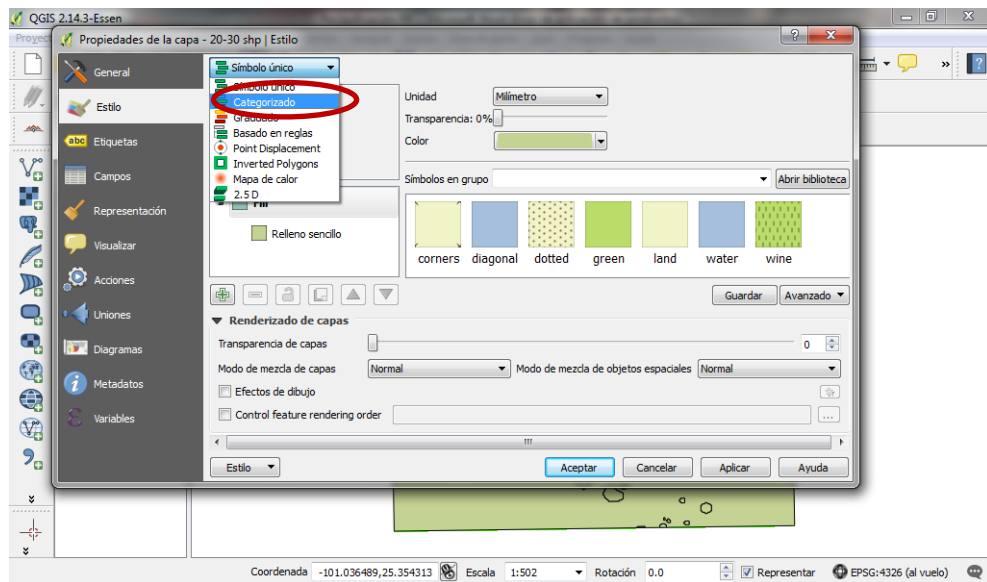
11._ Terminado el proceso, *Aceptar* > *Aceptar* > *Cerrar*.



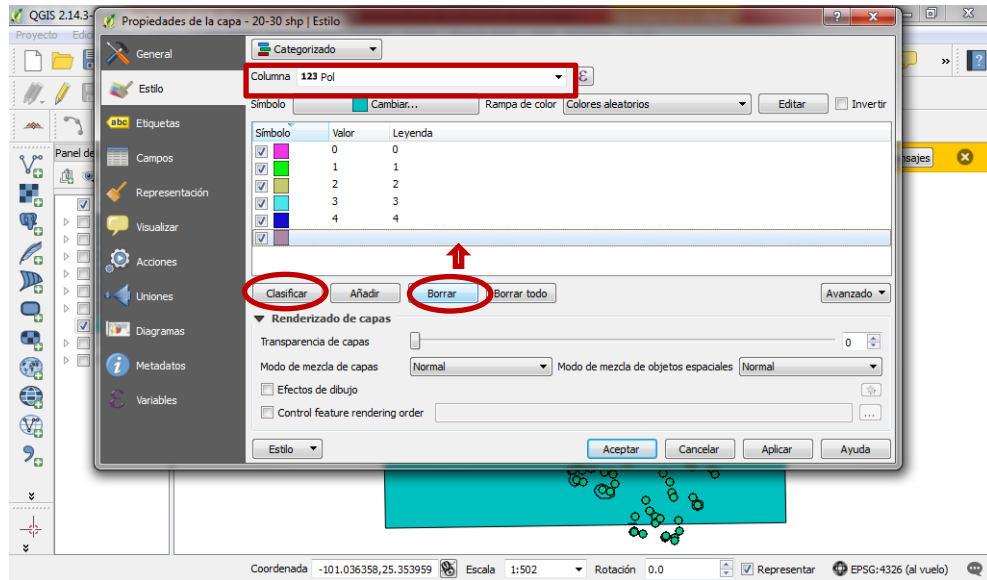
12._ Clic derecho > *Propiedades.*



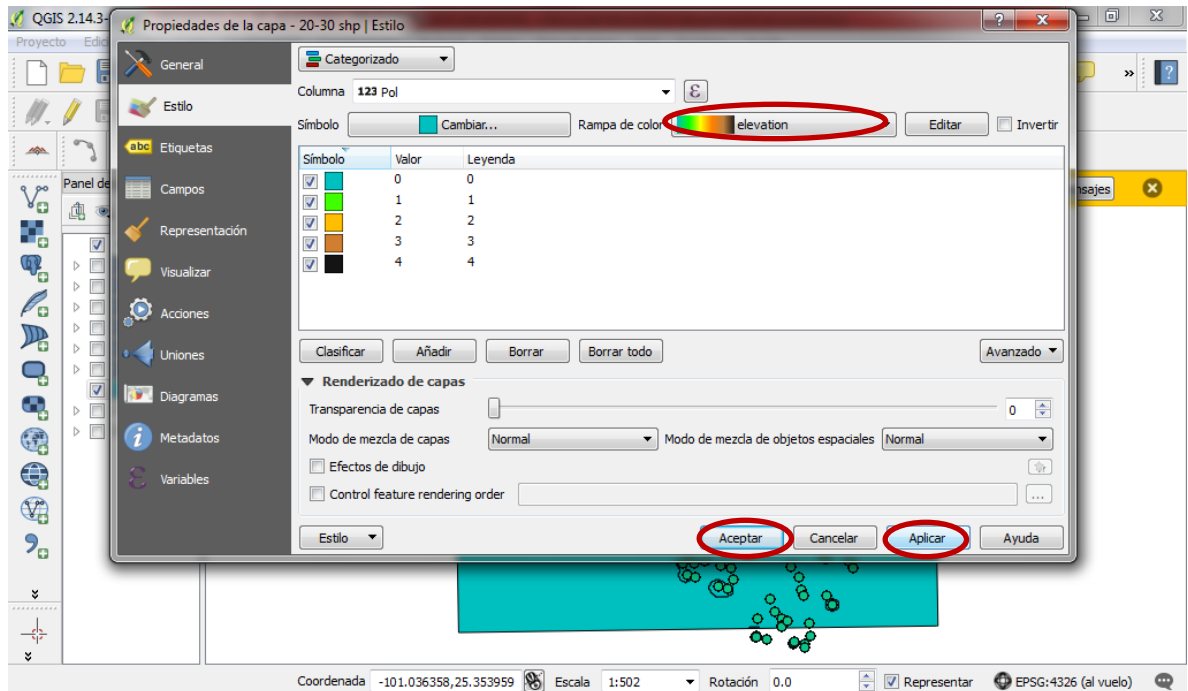
13._ *Estilo > Categorizado.*



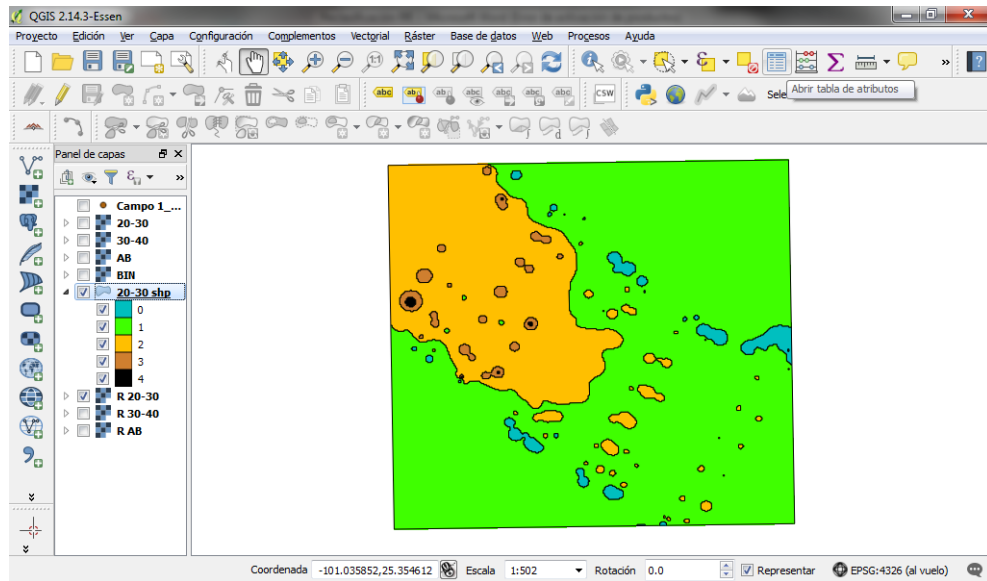
14._ En columna seleccionar el campo Pol.> *Clasificar* > *Borra símbolo vacío*



15._ En *Rampa de colores* seleccionar *elevación* (criterio personal), finalmente *Aplicar* y *Aceptar*.

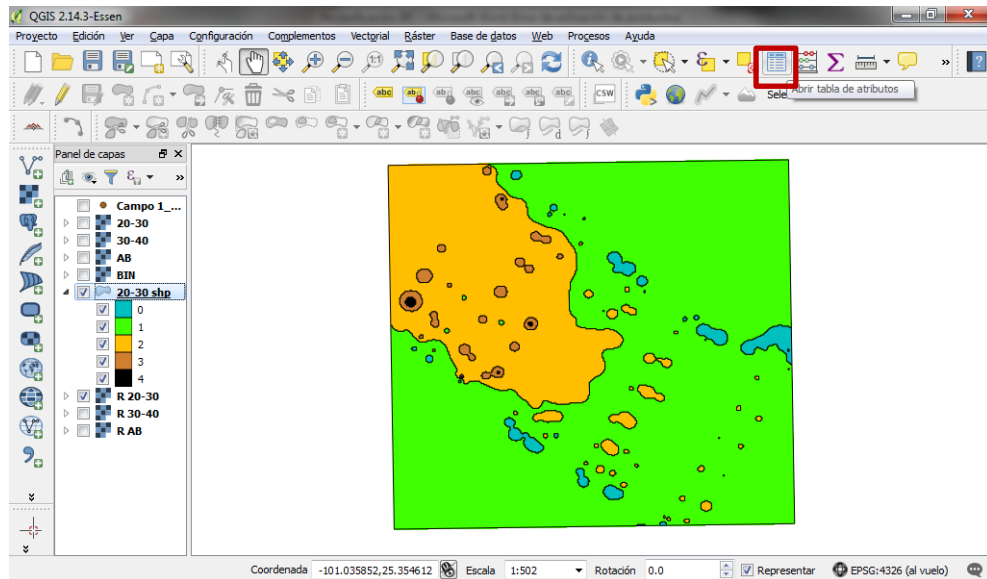


16._ De la siguiente manera queda la capa vectorial.

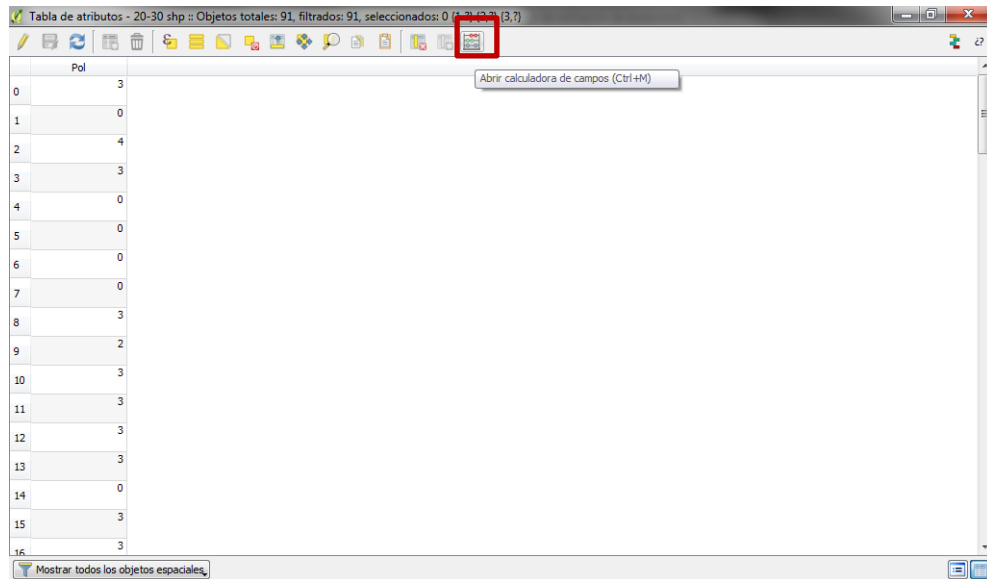


A5. Cálculo de áreas

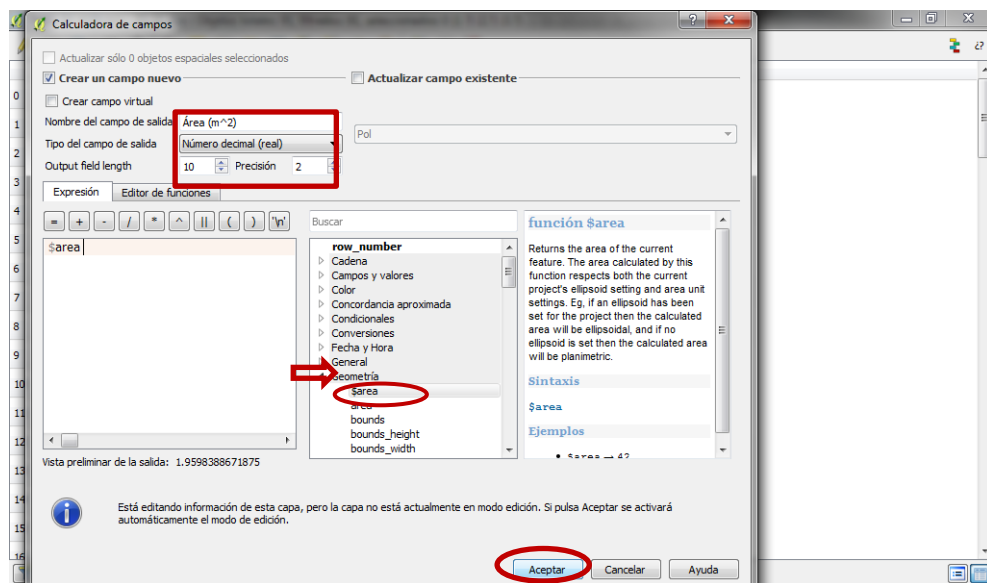
1._ Abrir tabla de atributos.



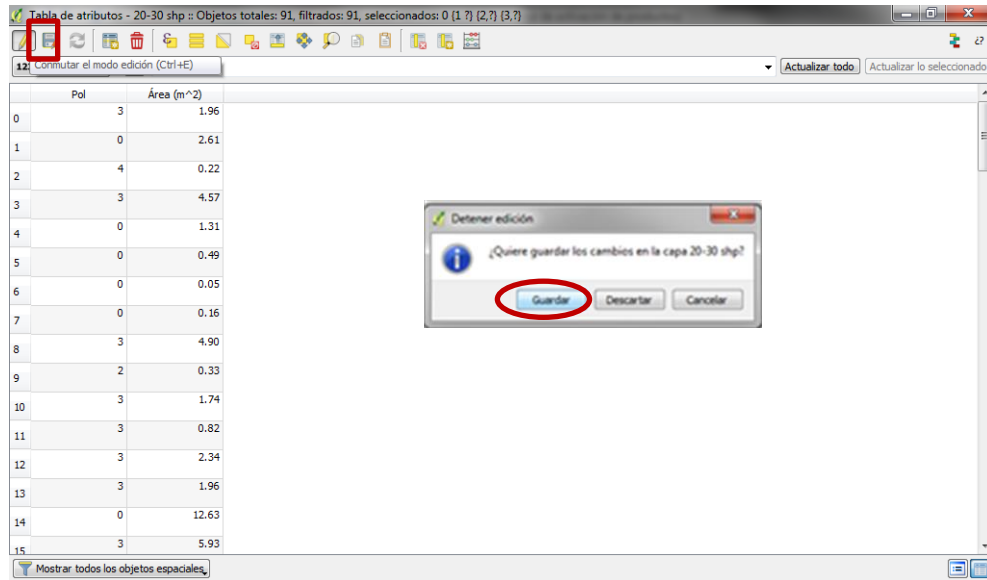
2._ Abrir calculadora de campos.



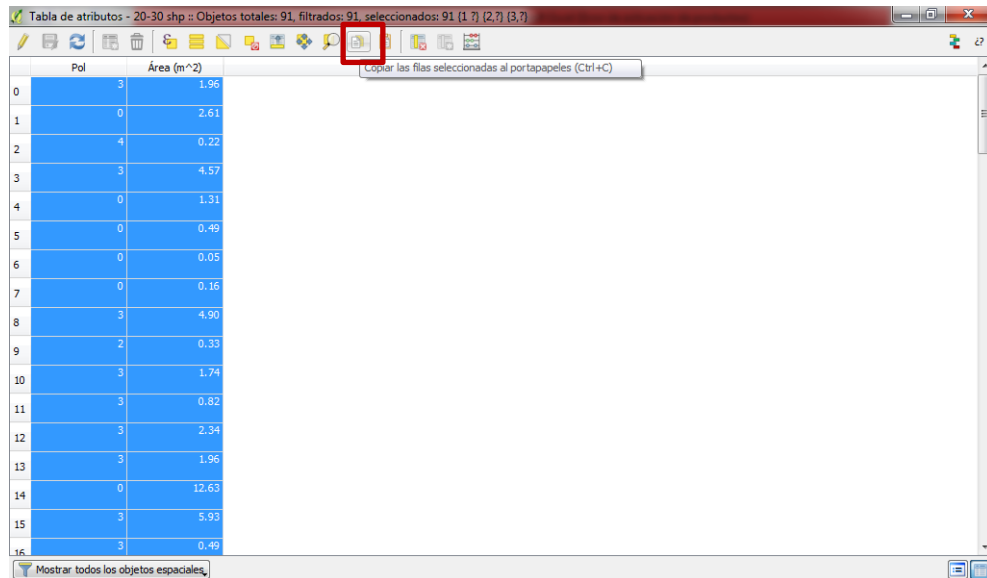
3._ Se abre la siguiente ventana. En *Nombre de campo de salida* especificar Área (m²). *Tipo de campo de salida* seleccionar *Número decimal (real)*. En *precisión* manejar 2. Luego en *Flow_number* ir a *Geometría* y darle doble clic sobre *\$area*. Aceptar.



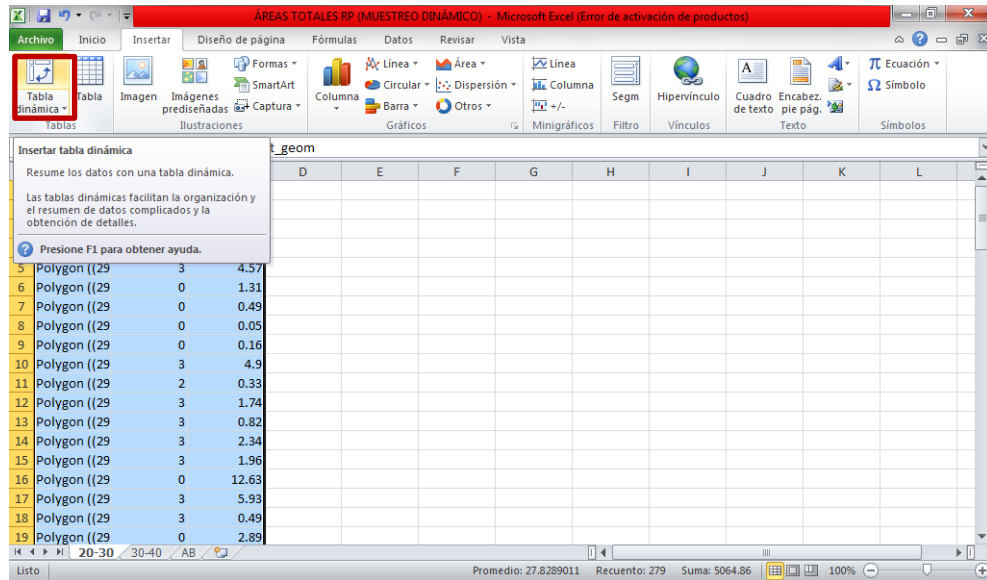
4._ De esta manera se genera el campo Área. Ir a lápiz que está en la parte superior izquierda para guardar los cambios.



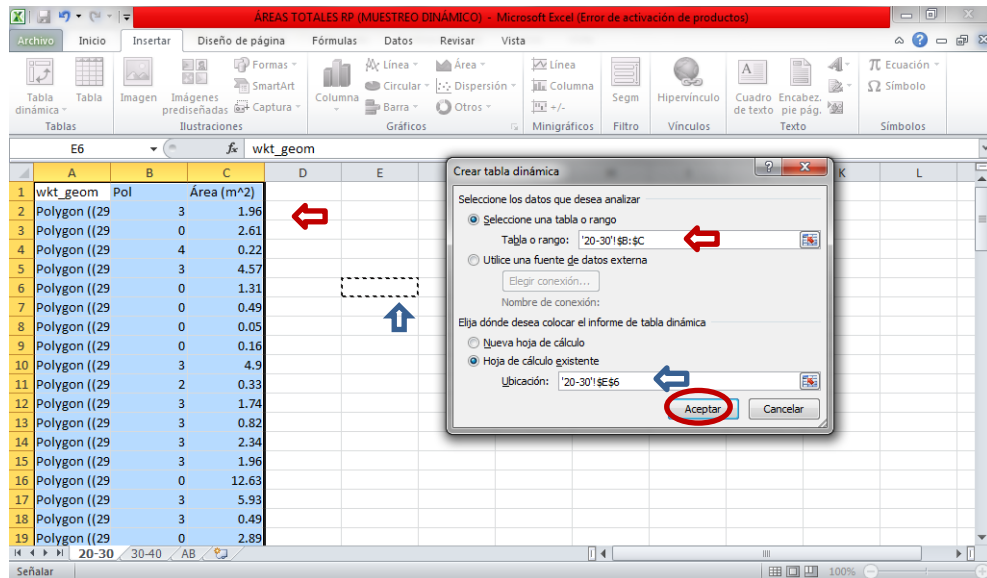
5._ Para calcular las áreas seleccionar todo y copiar.



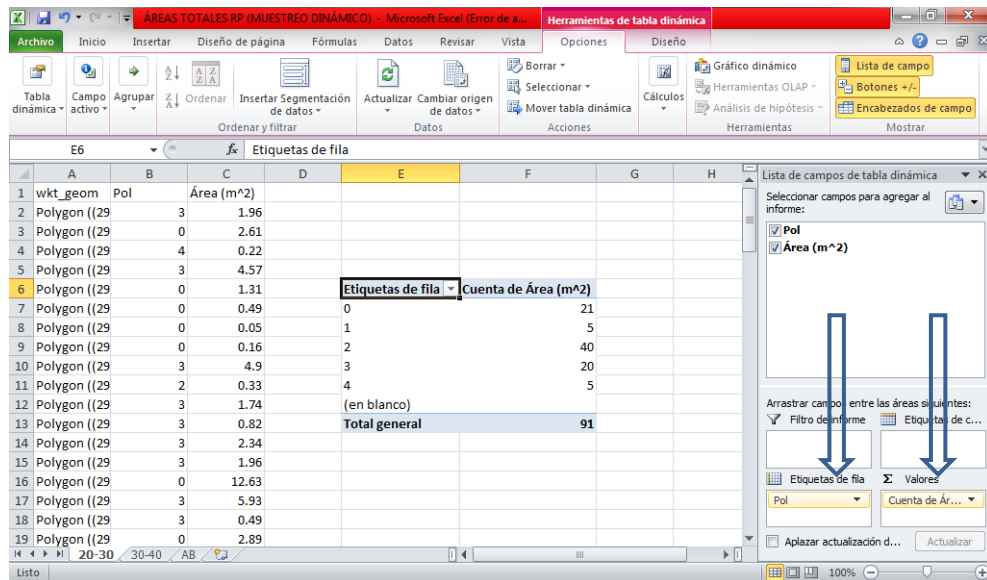
6._ Abrir una hoja de Excel y pegar. Luego, *Insertar > Tabla dinámica.*



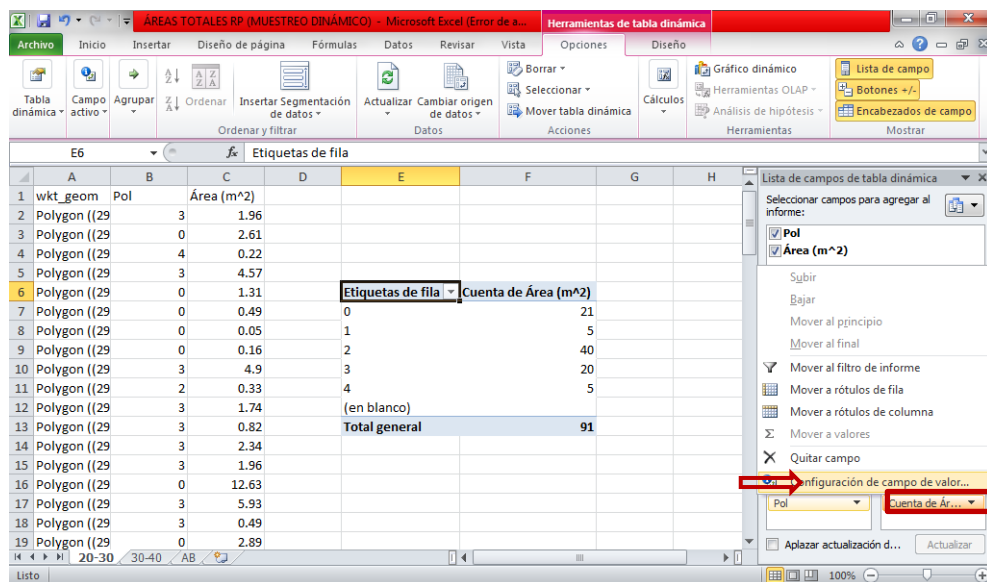
7._ En Tabla o rango. Seleccionar las columnas A, B,C En la siguiente casilla hacer clic en la celda donde se quiere ejecutar el proceso y *Aceptar.*



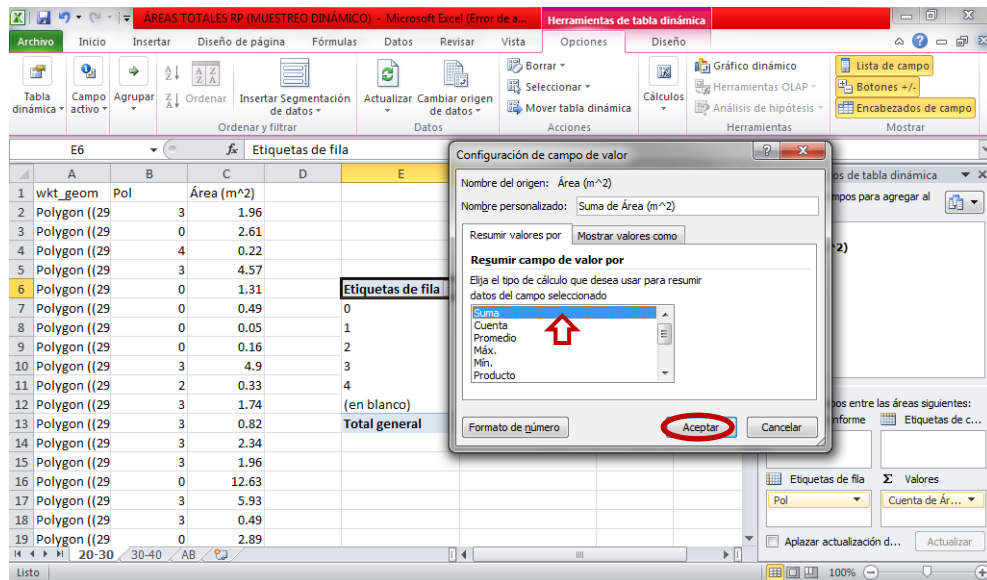
8._ En *Etiqueta de fila* arrastra el campo Pol (polígonos) y en *Valores > Áreas*.



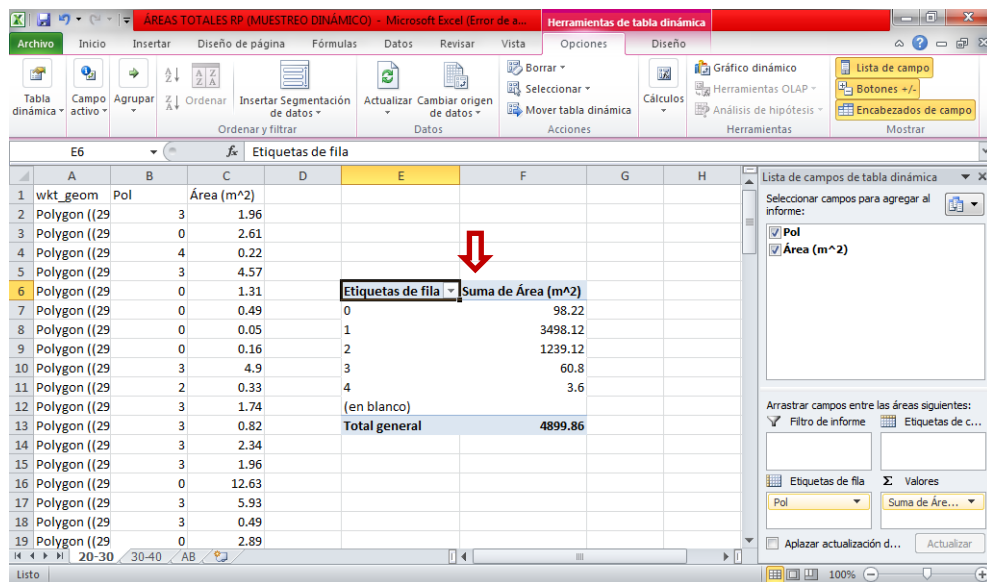
9._ Clic en *Cuenta de Áreas > Configuración en campo de valores*.



10._ Seleccionar *Suma* > *Aceptar*.



11._ De esta manera se muestra la tabla con las áreas calculadas.



B. Manejo de datos en Excel campo 1 RP (Muestreo Estático)

- 72 puntos para medir
- Magnitudes en Mega Pascales (MPa)

1._ Manejo de datos en Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	RP20	RP30	RP40							
2	295120.192	2805722.17	-3.198	-4.818								
3	295124.754	2805730.85	-1.005	-0.936	-1.857							
4	295129.511	2805739.09	-1.319	-1.871	-4.236							
5	295134.776	2805747.65	-0.481	-0.662	-1.18							
6	295139.017	2805748.47	-3.626	-5.574	-5.413							
7	295134.557	2805739.9	-1.006	-1.213	-1.521							
8	295129.19	2805731.23	-1.527	-1.545	-2.558							
9	295124.332	2805722.99	-2.023	-2.292	-3.609							
10	295125.208	2805720.98	-1.793	-2.469	-3.757							
11	295130.366	2805729.1	-1.184	-1.313	-2.06							
12	295135.336	2805738.11	-1.303	-1.24	-2.169							
13	295140.604	2805746.9	-1.376	-1.393	-1.529							
14	295141.645	2805742.56	-1.847	-1.876	-2.203							
15	295136.778	2805733.66	-1.283	-1.118	-1.032							
16	295131.508	2805724.76	-1.308	-0.94	-0.762							
17	295129.871	2805716.48	-1.462	-1.472	-1.668							
18	295134.179	2805715.08	-1.412	-2.055	-3.329							
19	295139.039	2805723.43	-1.253	-1.161	-2.149							

2._ Convertir todos los valores de cada profundidad en Absolutos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	RP20	RP30	RP40	RP20	RP30	RP40				
2	295120.192	2805722.17	-3.198	-4.818		3.198	4.818	0				
3	295124.754	2805730.85	-1.005	-0.936	-1.857	1.005	0.936	1.857				
4	295129.511	2805739.09	-1.319	-1.871	-4.236	1.319	1.871	4.236				
5	295134.776	2805747.65	-0.481	-0.662	-1.18	0.481	0.662	1.18				
6	295139.017	2805748.47	-3.626	-5.574	-5.413	3.626	5.574	5.413				
7	295134.557	2805739.9	-1.006	-1.213	-1.521	1.006	1.213	1.521				
8	295129.19	2805731.23	-1.527	-1.545	-2.558	1.527	1.545	2.558				
9	295124.332	2805722.99	-2.023	-2.292	-3.609	2.023	2.292	3.609				
10	295125.208	2805720.98	-1.793	-2.469	-3.757	1.793	2.469	3.757				
11	295130.366	2805729.1	-1.184	-1.313	-2.06	1.184	1.313	2.06				
12	295135.336	2805738.11	-1.303	-1.24	-2.169	1.303	1.24	2.169				
13	295140.604	2805746.9	-1.376	-1.393	-1.529	1.376	1.393	1.529				
14	295141.645	2805742.56	-1.847	-1.876	-2.203	1.847	1.876	2.203				
15	295136.778	2805733.66	-1.283	-1.118	-1.032	1.283	1.118	1.032				
16	295131.508	2805724.76	-1.308	-0.94	-0.762	1.308	0.94	0.762				
17	295129.871	2805716.48	-1.462	-1.472	-1.668	1.462	1.472	1.668				
18	295134.179	2805715.08	-1.412	-2.055	-3.329	1.412	2.055	3.329				
19	295139.039	2805723.43	-1.253	-1.161	-2.149	1.253	1.161	2.149				

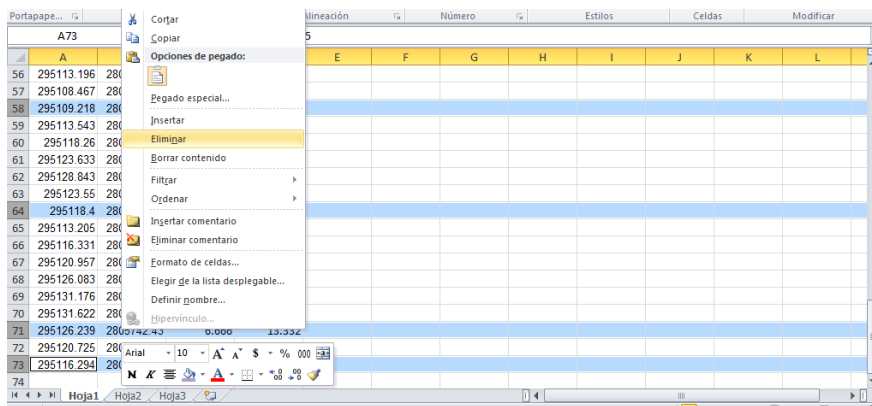
3._ Para manejar los valores de la profundidad 30 y 40 como si se estuviese tomando de 0 a 10 es necesario restarle el valor de la capa anterior.

$$\text{RP 20-30} = \text{RP30} - \text{RP20}$$

$$\text{RP 30-40} = \text{RP40} - (\text{RP20} + \text{RP 20-30})$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	RP 20	RP30	RP40	RP 20-30	RP 30-40					
2	295120.192	2805722.17	3.198	4.818	0	1.62	4.818					
3	295124.754	2805730.85	1.005	0.936	1.857	0.069	0.783					
4	295129.511	2805739.09	1.319	1.871	4.236	0.552	2.365					
5	295134.776	2805747.65	0.481	0.662	1.18	0.181	0.518					
6	295139.017	2805748.47	3.626	5.574	5.413	1.948	0.161					
7	295134.557	2805739.9	1.006	1.213	1.521	0.207	0.308					
8	295129.19	2805731.23	1.527	1.545	2.558	0.018	1.013					
9	295124.332	2805722.99	2.023	2.292	3.609	0.269	1.317					
10	295125.208	2805720.98	1.793	2.469	3.757	0.676	1.288					
11	295130.366	2805729.1	1.184	1.313	2.06	0.129	0.747					
12	295135.336	2805738.11	1.303	1.24	2.169	0.063	0.803					
13	295140.604	2805746.9	1.376	1.393	1.529	0.017	0.136					
14	295141.645	2805742.56	1.847	1.876	2.203	0.029	0.327					
15	295136.778	2805733.66	1.283	1.118	1.032	0.165	0.416					
16	295131.508	2805724.76	1.308	0.94	0.762	0.368	0.914					
17	295129.871	2805716.48	1.462	1.472	1.668	0.01	0.196					
18	295134.179	2805715.08	1.412	2.055	3.329	0.643	1.274					
19	295139.039	2805723.43	1.253	1.161	2.149	0.092	0.804					

4._ Se eliminan los valores extremadamente altos porque alteraría nuestros resultados.



5._ Crear una nueva columna AB usando la función if

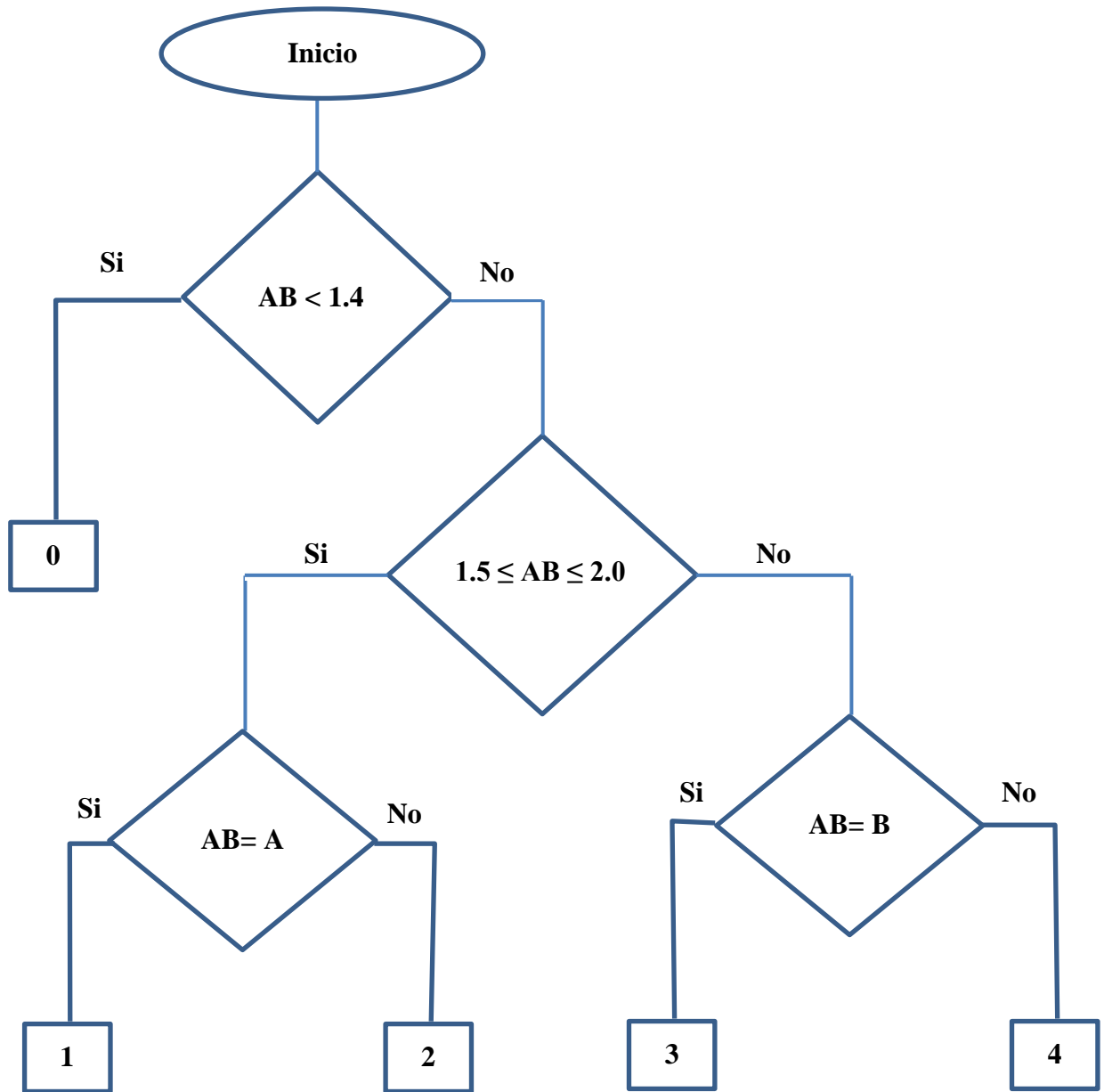
If RP20-30>=RP30-40; En donde se refiere a
Then AB=RP 20-30;
Else AB=RP 30-40;
End

If (condición)
 {sentencias_si_verdadero;}
else
 {sentencias_si_falso;}
end

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Este	Norte	RP 20-30	RP 30-40	AB							
2	295124.754	2805730.85	0.069	0.783	0.783							
3	295129.511	2805739.09	0.552	2.365	2.365							
4	295134.776	2805747.65	0.181	0.518	0.518							
5	295139.017	2805748.47	1.948	0.161	1.948							
6	295134.557	2805739.9	0.207	0.308	0.308							
7	295129.19	2805731.23	0.018	1.013	1.013							
8	295124.332	2805722.99	0.269	1.317	1.317							
9	295125.208	2805720.98	0.676	1.288	1.288							
10	295130.366	2805729.1	0.129	0.747	0.747							
11	295135.336	2805738.11	0.063	0.803	0.803							
12	295140.604	2805746.9	0.017	0.136	0.136							
13	295141.645	2805742.56	0.029	0.327	0.327							
14	295136.778	2805733.66	0.165	0.416	0.416							
15	295131.508	2805724.76	0.368	0.914	0.914							
16	295129.871	2805716.48	0.01	0.196	0.196							
17	295134.179	2805715.08	0.643	1.274	1.274							
18	295139.039	2805723.43	0.092	0.804	0.804							
19	295144.396	2805731.44	0.056	0.003	0.056							

Este procedimiento fue utilizado para el Campo 2 RP (Muestreo Estático).

C. Proceso para la generación de un mapa de diagnóstico



A= valores a profundidad "20-30" cm
B= valores a profundidad "30-40" cm
AB= SI($A \geq B$, A, B)

0 ----> 0-20 (valores < 1.5)
1 ----> 20-30 (valores 1.5-2.0)
2 ----> 30-40 (valores 1.5-2.0)
3 ----> 30-40 (valores >2.0)
4 ----> 20-30 (valores >2.0)