

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ambiente y Desarrollo**  
**Ingeniería en Ambiente y Desarrollo**



Proyecto Especial de Graduación

**Línea base para la implementación del módulo de agricultura de  
precisión en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras**

Estudiante

Deicy Nathalia Botero Cardona

Asesores

Alexandra Manueles, Mtr.

Gloria Arévalo de Gauggel, Dra.

Jeffrey Díaz, Mtr.

Honduras, agosto 2022

**Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA MAIER**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ERIKA TENORIO MONCADA**

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), por brindarme el financiamiento para realizar mis cuatro años de estudio en Zamorano.

Al señor Ernesto Colindres quién es miembro del equipo de trabajo de Gerencia de Tierras y Aguas de Zamorano, por su apoyo durante la recolección de los datos topográficos de este estudio.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Índice de Cuadros .....	6
Índice de Figuras .....	8
Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción.....	12
Metodología .....	16
Área de Estudio.....	16
Diseño de la Investigación .....	17
Recolección de Datos para Generar la Cartografía Básica y Topográfica de la Parcela .....	17
Puntos de Control .....	17
Levantamiento Planimétrico.....	18
Cartografía Digital del Suelo en los Lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo.....	19
Identificación de los Lineamientos, Equipos y Herramientas para Levantamientos Topográficos.....	21
Resultados y Discusión.....	22
Cartografía Básica y Topográfica del Terreno .....	22
Curvas a Nivel, Direcciones de Flujo y Modelo Digital de Elevación .....	24
Incorporación de la Cartografía Digital de Suelos a la Cartografía Básica de la Parcela .....	29
pH .....	30
Conductividad Eléctrica .....	32
Materia Orgánica .....	33

Carbono Orgánico .....	35
Lineamientos Básicos y Equipos Utilizados en Levantamientos Topográficos y Cartográficos Aplicados a la AP .....	39
Etapa 1. Ubicación del Terreno .....	39
Etapa 2. Planificación .....	40
Etapa 3. Puntos de Control .....	40
Etapa 4. Identificar los Equipos a Utilizar en la Recolección de los Datos en Campo y Análisis en Laboratorio .....	40
Etapa 5. Proceso de Limpieza de Datos .....	45
Errores de Levantamientos Topográficos .....	45
Metadatos .....	46
Conclusiones.....	48
Recomendaciones.....	49
Referencias .....	50

## Índice de Cuadros

Cuadro 1 Uso del suelo en los meses de enero y febrero 2022 en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en lotes la Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras .....	23
Cuadro 2 Resultado del análisis de cada una de las muestras de suelo tomadas en el estudio de la Línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	29
Cuadro 3 Categorías de clasificación del pH del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	32
Cuadro 4 Categorías de clasificación de la salinidad del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	32
Cuadro 5 Categorías de clasificación de la materia orgánica del suelo del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	34
Cuadro 6 Categorías de clasificación del Carbono orgánico del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	36
Cuadro 7 Representación espacial de las zonificaciones resultandes de acuerdo a la disponibilidad de los parámetros de suelo evaluados en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	38

Cuadro 8 Técnicas, programas que pueden utilizarse y productos que se obtienen en trabajos de cartografía y topografía relacionados a la agricultura de precisión en cualquier área productiva ..... 47

## Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del sitio de estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión, lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	16
Figura 2 Puntos de muestreo del estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en lotes la Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras .....	19
Figura 3 Ortofoto del terreno del estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3 Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras .....	22
Figura 4 Puntos georreferenciados en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en lotes la Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras .....	25
Figura 5 Curvas a nivel en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	26
Figura 6 Direcciones de flujo en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras .....	27
Figura 7 Mapa digital de elevación en 3D en el estudio de la Línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras .....	28
Figura 8 Mapa digital de la distribución espacial de pH (H <sub>2</sub> O) disponible en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	31
Figura 9 Mapa digital de materia orgánica disponible en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	34

Figura 10 Mapa digital de carbono orgánico disponible en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	35
Figura 11 Mapa digital con las zonificaciones de acuerdo al estado de los parámetros químicos evaluados en el estudio para el establecimiento de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras .....	37

## Resumen

Los sistemas de producción agrícola se enfrentan el reto de maximizar las producciones haciendo uso de la menor cantidad de recursos, de manera que sean sistemas sostenibles. El objetivo del estudio fue realizar una línea base de información geográfica para el módulo de agricultura de precisión localizado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Este trabajo se realizó en el predio denominado lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo. Se realizó el levantamiento de la cartografía básica y topográfica del terreno utilizando un dron multirrotor, estación total y receptor GPS (Sistema de posicionamiento global). Para ello se recolectaron 1,413 coordenadas con su latitud, longitud y altura para generar las curvas a nivel, las líneas de flujo de agua y el modelo digital de elevación. Adicional a ello, se recolectaron 42 muestras de suelo a las cuales se les realizaron análisis de pH, conductividad eléctrica, y carbono orgánico, a partir de este se estimó la cantidad de materia orgánica. Con los datos analíticos de laboratorio se procedió a realizar el mapeo digital de las distintas variables por medio de procesos de interpolación. Se sugieren las principales herramientas y programas geográficos empleadas en el proceso de recolección y procesamiento de datos en AP. En los lotes 2 y 3 de La Vega, se encontró que el terreno por su topografía plana requiere mejores condiciones de drenaje, encontrándose además deficiencias en cuanto a materia orgánica, pH y carbono orgánico del suelo.

*Palabras clave:* Información geográfica, sostenibilidad, suelo.

### **Abstract**

Agricultural production systems face the challenge of maximizing production using the least amount of resources, so that they are sustainable systems. The objective of the study was to carry out a baseline of geographic information for the precision agriculture learning module at the Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. This work was carried out in the field called lots Vega 2 and 3 of Monte Redondo. To comply with the study, the basic and topographic mapping of the terrain was carried out using a multicopter drone, total station and GPS receiver. For this, 1,413 coordinates were collected with their latitude, longitude and height to generate the contour lines, the water flow lines and the digital elevation model, in addition to it; 42 soil samples were collected, which were analyzed for pH, electrical conductivity, and organic carbon, from which the amount of organic matter was estimated. With the laboratory analytical data, the digital mapping of the different variables was carried out through interpolation processes. The main geographic tools and programs used in the data collection and processing process in PA are suggested. In lots 2 and 3 of La Vega, it was found that the land, due to its flat topography, requires better drainage conditions, and deficiencies were also found in terms of organic matter, pH, and soil organic carbon.

**Keywords:** Geographic information, sustainability, soil

## Introducción

La seguridad alimentaria es un asunto de alerta a nivel internacional debido a diferentes factores como el crecimiento de la población mundial, los riesgos de eventos climáticos, la degradación ambiental, el cambio de uso de los suelos y una posible disminución de agua en cuanto a calidad y volumen que disminuyan las producciones agrícolas (Pérez et al., 2018). La agricultura en los últimos años ha tenido un rol económico de alta importancia en los países de Latinoamérica y el Caribe por su incremento en la participación en las economías nacionales (Escobar, 2016). Sin embargo, estos logros han generado importantes problemas ambientales y socioeconómicos, que se han convertido en un reto para alcanzar un desarrollo sostenible (Rizo et al., 2017).

Estas problemáticas tanto ambientales como socioeconómicas, se le han atribuido a la manera en cómo se han venido utilizando los recursos en los sistemas de producción agrícola (Andrade, 2016). El auge de una agricultura basada en altos insumos, aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas; ha implicado un elevado costo ambiental (Castellanos y Morales, 2016). El incremento de esta problemática ha creado una nueva visión frente al bienestar humano y de los ecosistemas, por lo que se ha empezado a implementando estrategias para avanzar hacia un desarrollo sostenible, lo que ha provocado un avance en cuanto a conocimiento técnico-científico (Rizo et al., 2017).

Las estrategias con respecto al uso de la informática se han venido desarrollado de manera importante en la producción agropecuaria a nivel mundial, a este tipo de innovación tecnológica se le conoce como agricultura de precisión (Rosales y Arechavala, 2020). La agricultura de precisión involucra la realización de procesos con diferentes tecnologías dentro de las que se pueden mencionar los vehículos aéreos no tripulados (VAN), los dispositivos electrónicos, programas y equipos que brindan aplicaciones informáticas, procesamiento de imágenes, herramientas para facilitar el análisis de la información, entre otros (Capraro y Tosetti, 2020). Este tipo de agricultura requiere de la

recopilación de datos, el procesamiento y análisis de información en tiempo real con el propósito de identificar las diferentes variaciones y sucesos de los cultivos para la oportuna toma de decisiones (Guerrero et al., 2017). Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han dado paso a un nuevo sistema de producción de alimentos, permitiendo obtener mayor eficiencia en cuanto a productividad y menor utilización de recursos naturales aplicando principios de agricultura sostenible (Muñoz et al., 2017).

Acuña (2015), define la agricultura sostenible como aquella que provee las necesidades básicas de alimentación de las generaciones actuales y futuras aportando beneficios económicos, sociales y ambientales de manera que sea una actividad que brinde condiciones de vida digna a todos los involucrados en los distintos procesos de producción. La sostenibilidad mantiene una constante mejora en la capacidad productiva con base en los recursos naturales renovables, respetando los ciclos ecológicos y los distintos equilibrios naturales de los ecosistemas.

Aunque el desarrollo de tecnología en la agricultura aún es una práctica económicamente costosa, cada vez son más las investigaciones que se realizan para hacerlas disponibles a todas las personas que se dedican al sector primario de la economía. En Centroamérica se han realizado algunas investigaciones sobre la incorporación de las TIC en sistemas agrícolas, siempre buscando una rentabilidad acompañada de una mayor sostenibilidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2021).

Salazar (2010), realizó un estudio donde identificó algunas de las tecnologías de precisión más importantes que pudiesen ser utilizadas en Centroamérica, así como también algunas limitantes que pudiesen presentar. Dentro de los resultados se concluye que un amplio sector de las empresas agrícolas especialmente en Guatemala, están incorporando el uso de tecnología, obteniendo una mayor eficiencia y reducción de costos, encontrando como una limitante la escasez de personal capacitado en esta área.

Mayhua et al. (2016) llevaron a cabo un estudio enfocado al desarrollo de un sistema de sensores inteligentes para utilizarlos en riego por goteo en diferentes cultivos agrícolas. Los resultados arrojaron datos que muestran una mejora en cuanto a la eficiencia y un menor consumo de agua por hectáreas de cultivo. Es así como las diferentes investigaciones que se realizan aplicando agricultura de precisión, muestran resultados que hacen más eficientes y sostenibles los sistemas agrícolas.

Otra de las herramientas que ofrece la tecnología y que son de gran apoyo en temas relacionados a la eficientización de recursos, son los sistemas de información geográfica. Esta tecnología corresponde a sistemas capaces de realizar representaciones espaciales que permiten la obtención de información geográfica referenciada, que se utiliza como un soporte en la toma de decisiones que busquen la solución más adecuada a problemáticas de gestión y manejo (Maldonado et al., 2017).

La utilización y desarrollo de tecnologías para la agricultura son un punto importante para mejorar de manera significativa y rápidamente las actividades agrícolas en diferentes aspectos como el económico y ecológico en las distintas regiones productivas de los países en vías de desarrollo (Gómez et al., 2016). Es por lo que, las diferentes instituciones educativas y centros de investigación agrícola, tienen el reto de generar y transmitir nuevos conocimientos en tecnología y estrategias que permitan una mayor eficiencia en el uso los recursos.

La Escuela Agrícola Panamericana (EAP) está comprometida en brindar a jóvenes de distintos lugares de Latinoamérica las bases necesarias para realizar cambios importantes en el sector agrícola. Uno de los pilares fundamentales de la institución es el Aprender Haciendo, esta es una metodología de enseñanza donde los estudiantes fortalecen y ponen en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas de clase, mediante el desarrollo de diferentes competencias en cada uno de los laboratorios y espacios educativos de campo.

Dado el avance en los modelos de producción mundial basados en la introducción de innovación tecnológica a los sistemas agrícolas, la EAP ha tomado la decisión de implementar el módulo de agricultura de precisión. El módulo tiene como objetivo introducir a los estudiantes en el uso de las tecnologías de la Información, comunicación y análisis en la producción agropecuaria, con el propósito de mejorar la productividad y sostenibilidad, teniendo en consideración la variabilidad presente en cada terreno con el manejo de los suelos y cultivos (Arévalo et al., 2022).

La implementación de equipos digitales y de precisión en la agricultura hace necesario tener un conocimiento de las distintas tecnologías y técnicas aplicadas, conocerlas y saber cuál, cómo y dónde aplicarlas. Los estudiantes, al finalizar el módulo tendrán destrezas de realizar la recolección y el análisis de los datos para la correcta toma de decisiones logrando de esta manera una optimización de los recursos disponibles en el marco de una producción agropecuaria sostenible (Arévalo et al., 2022).

El presente estudio tiene como objetivo generar la línea base de información geográfica del área piloto lotes la Vega 2 y 3, para el módulo de agricultura de precisión de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Para ello los objetivos específicos del estudio fueron: Generar la cartografía básica y topográfica de la parcela piloto de agricultura de precisión. Incorporar la cartografía digital de suelos a la cartografía básica de la parcela piloto de agricultura de precisión y finalmente, detallar los lineamientos de datos geográficos, herramientas, procesos de interpretación de datos y análisis de información, que pueden utilizarse en áreas vinculadas a la agricultura de precisión.

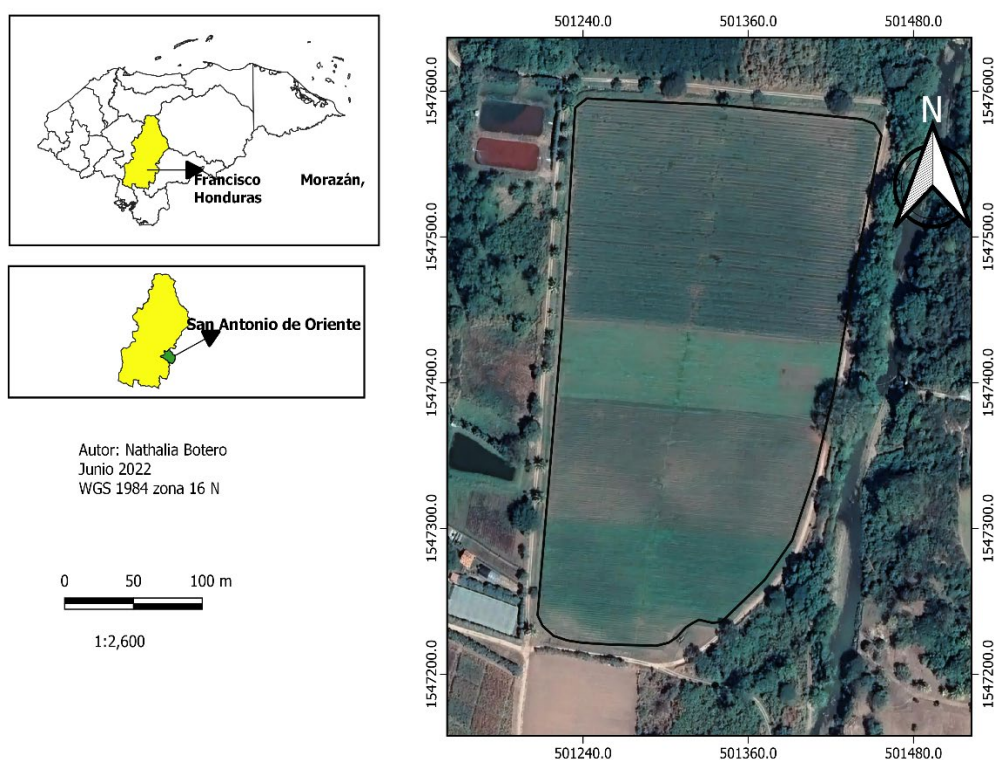
## Metodología

### Área de Estudio

La recolección de datos se realizó en los lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo, predio que posee un área de 7.13 hectáreas aproximadamente y que es propiedad de la EAP, Zamorano. Esta se ubica aproximadamente en el kilómetro 30 en la carretera de Tegucigalpa a Danlí, valle del Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. Esta área se encuentra a una altura media de 753 msnm, con precipitación promedio anual de 1,110 mm y una temperatura promedio anual de 24.5 °C (Duarte y Montaña, 2020). La ubicación del área de estudio se muestra en la Figura 1.

### Figura 1

*Ubicación del sitio de estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión, lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*



## **Diseño de la Investigación**

Esta investigación es de tipo cualitativo, no experimental pues hace referencia a un conjunto de procesos organizados de manera secuencial. Cada fase esta precedida por la siguiente, en un orden específico, aunque se puede redefinir alguna etapa (Hernández y Mendoza, 2018). Por otro lado, de acuerdo con Cabezas et al. (2018) en el tipo de investigación no experimental las variables estudiadas no se manipulan, se observan tal y como ocurren naturalmente para luego analizarlas.

## **Recolección de Datos para Generar la Cartografía Básica y Topográfica de la Parcela**

### ***Puntos de Control***

Inicialmente, se realizó la georreferenciación de dos coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), las cuales tuvieron el rol de ser puntos de control o puntos de referencia para la recolección de datos en la parcela. Los dos puntos principales fueron tomados en lugares estratégicos del terreno por medio de un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Estos puntos cuentan con coordenadas UTM de longitud (x), latitud (y) y altura (z). El primer punto de referencia corresponde a X: 5012554; Y: 1547217; Z: 759 msnm y el punto número dos corresponde a X: 501236; Y: 1547219; Z: 756 msnm. Con el fin de verificar la exactitud de los puntos de control, se midió con cinta métrica la distancia entre los dos puntos tomados, obteniendo como resultado una distancia entre ambos de 18.26 metros. Luego de esto, se aplicó la Ecuación 1 para verificar la exactitud de los datos recolectados por el receptor GPS, donde X corresponde a longitud y Y a latitud respectivamente:

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad [1]$$

El margen de error obtenido fue de 0.15 centímetros, por lo que se determina que los puntos de control recolectados tienen un alto nivel de exactitud.

Posteriormente, se tomaron tres puntos de control más en los alrededores de la parcela para facilitar la recolección de las coordenadas geográficas en las diferentes zonas de esta. El punto tres corresponde a X: 501204.162; Y: 1547225.482; Z: 759.694. El punto cuatro corresponde a X: 501221.600; Y: 1547397.299; Z: 756.418 m.s.n.m. El punto 5. X: 501216.389; Y: 1547445.850; Z: 756.891 m.s.n.m. Teniendo las coordenadas de control necesarias, se procedió al levantamiento planimétrico y topográfico.

Para el levantamiento topográfico se utilizaron dos estaciones totales, la estación total 5,600 series y la Nikon n 5. Estas se ubicaban en uno de los puntos de control a medida que se realizaba el recorrido por toda la parcela con el prisma para obtener las coordenadas de longitud, latitud y elevación. Las coordenadas se tomaron cada 10 metros, siempre siguiendo líneas horizontales de Oeste a Este y viceversa. Luego de tener los datos de campo se procedió hacer el uso de los programas ArcGis®, QGis® y Surfer® para la descarga de los datos y análisis de la información obtenida, como el Modelo Digital de Elevación (MDE), las direcciones de flujo y las curvas a nivel del terreno.

### ***Levantamiento Planimétrico***

Se realizó la toma de imágenes fotogramétricas de toda la parcela. Para ello se hizo uso de un dron multirrotor marca DJI móvil Pro®, mediante un vuelo previamente planificado. Dentro de la planificación se establecieron los puntos de partida y aterrizaje del área a fotografiar, la elevación y precisión. El vuelo se realizó con una duración de 22 minutos con 52 segundos, a una altura de 50 metros, donde el dron fue monitoreado por medio de la aplicación DJI PILOT®, misma que sirvió para establecer la ruta a seguir. Las condiciones climáticas que se tuvieron al momento de la realización del vuelo fueron las idóneas ya que se contó con temperatura de 23 °C, vientos de dos metros por segundo, ráfaga de siete metros por segundo, probabilidad de lluvia de 1% y visibilidad de 16 kilómetros, adicional a esto; se tenía una visibilidad de 15 satélites. Para el procesamiento primario

de las imágenes se utilizó el programa Pix4D® donde se descargaron las imágenes y se obtuvo el ortomosaico. Posteriormente, se hizo uso del programa QGis® para realizar el diseño cartográfico.

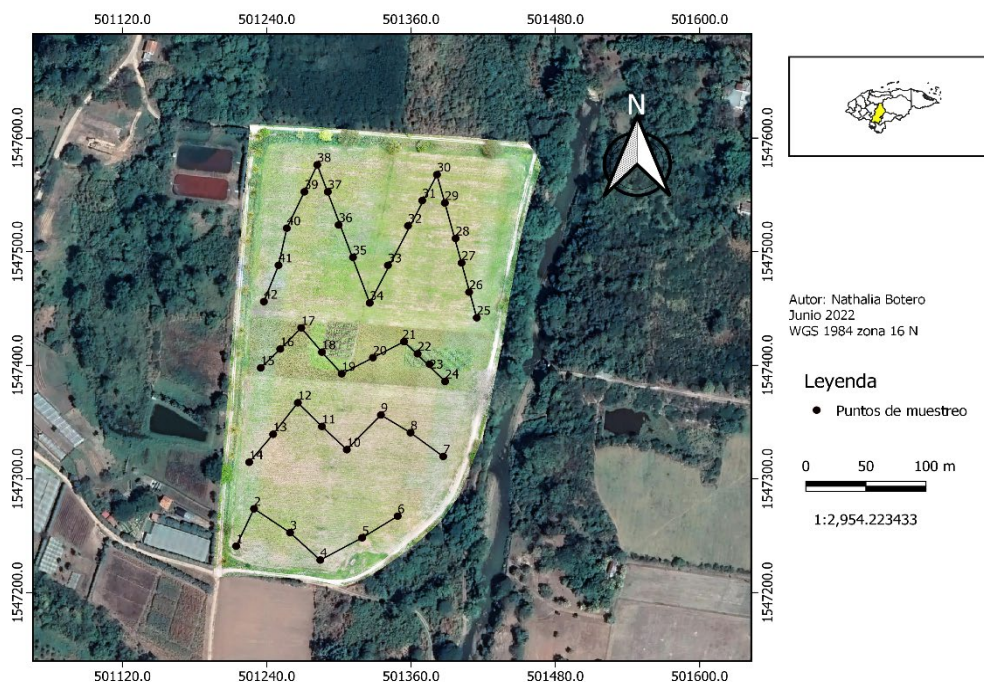
**Cartografía Digital del Suelo en los Lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo**

**Muestreo.**

La recolección de muestras en campo se realizó siguiendo una ruta sistematizada en forma de zig-zag en toda la parcela de acuerdo con la delimitación de uso del suelo (Figura 2). Esta metodología se aplicó de acuerdo con (Rosas, 2021) quién en el año 2021 realizó esta metodología de muestreo en esta misma parcela aplicando técnicas de AP, para realizar un estudio de plan de fertilización para los cultivos de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor*).

**Figura 2**

*Puntos de muestreo del estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en lotes la Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*



Posterior a la ubicación de cada punto se procedió a la realización de barrenaciones, las cuales tuvieron medidas de 25 cm de ancho x 25 cm de largo, con profundidad de muestra de cero a 30 cm.

En total se recolectaron 42 muestras, que corresponden a seis muestras por hectárea. Para realizar la toma de muestras se hizo uso de una piocha, un barrenador de metal y un celular “Android Samsung Galaxy” A32, este último permitió el uso de la aplicación GPS “Geo posición Lite” para la georreferenciación de los puntos muestreados.

#### **Análisis de Laboratorio de Suelos.**

Se realizó el análisis de los parámetros químicos correspondientes a pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y carbono orgánico de las 42 muestras tomadas en cada uno de los sitios de muestreo. Es importante mencionar que no se realizaron análisis del tipo de textura dado que realizó análisis texturales en este terreno para realizar un plan de fertilización para los cultivos de frijol y sorgo. Como resultados de los análisis se obtuvieron que existe una predominancia de suelo franco, seguido por franco arcilloso y franco arenosos respectivamente.

Luego de que las muestras fueron ingresadas al laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ), se procedió a su debida preparación para ser analizadas, proceso que consistió en el secado y tamizado de cada una de las muestras, para posteriormente realizar los análisis químicos. El análisis de pH se realizó mediante el método de 1:1 en agua: “AOAC 994.16 rango de 4,00 – 10, 00 (Latimer, 2019), la conductividad eléctrica por el método de la pasta saturada y el contenido de materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley & Black (1934) para suelos minerales no salinos.

#### **Mapeo de Suelos.**

Para obtener información sobre las variables analizadas en todo el terreno, se hizo uso de la cartografía digital de suelos (CDS). Esta técnica, de acuerdo con Castro (2015) es una herramienta que integra datos de campo, laboratorio y modelos digitales de elevación con métodos cuantitativos para inferir patrones de distribución de diferentes variables del suelo siendo un gran potencial para mejorar la consistencia, precisión, detalle y la velocidad con la que se produce información espacial de las parcelas agrícolas ayudando de esta manera a tener una mayor reconocimiento del terreno.

Como primer paso se obtuvo un archivo vectorial que muestra la distribución espacial de los 42 puntos muestreados. Las variables fueron interpoladas individualmente, generando archivos en formato ráster con tamaño de píxel de 0.10 metros cuadrados para una escala de 1:500 en toda la parcela. Se utilizó el método de Interpolación de Distancias Inversas (IDW) método que se recomienda utilizar cuando se trata de número de muestras pequeños y cuando la distancia de muestreo es muy grande (Villatoro et al., 2008), como es el caso de este estudio. Las herramientas de interpolación usadas fueron las disponibles en los programas QGis® y ArcGIS®.

### **Identificación de los Lineamientos, Equipos y Herramientas para Levantamientos Topográficos**

Para el cumplimiento de este objetivo se partió de la metodología que aplica la agricultura de precisión, la cual consiste en realizar un manejo de los cultivos/suelo por sitio-específico. El manejo por sitio-específico, busca cuantificar e identificar las variables espaciales para luego identificar el impacto de esta variabilidad, para poder implementar estrategias que permitan manejarlo de modo que se tengan mejoras significativas (Lago et al., 2011).

Se realizó una búsqueda bibliográfica donde se revisaron materiales informativos proporcionados por diversas revistas de información científica, tesis, manuales y proyectos de graduación relacionados a los diferentes componentes que hacen parte de la cartografía y topografía aplicadas a la AP y que se utilizan de acuerdo con el tamaño de la parcela y la factibilidad económica que representan. Se inició con la metodología de identificación del área de interés, prosiguiendo con herramientas que permitan una recolección de datos en campo de acuerdo con sus características, así mismo para un adecuado proceso en el correcto análisis de la información resultante, se mencionan las técnicas y equipos que son de mayores beneficios de acuerdo con los recursos económicos y el tamaño de la parcela.

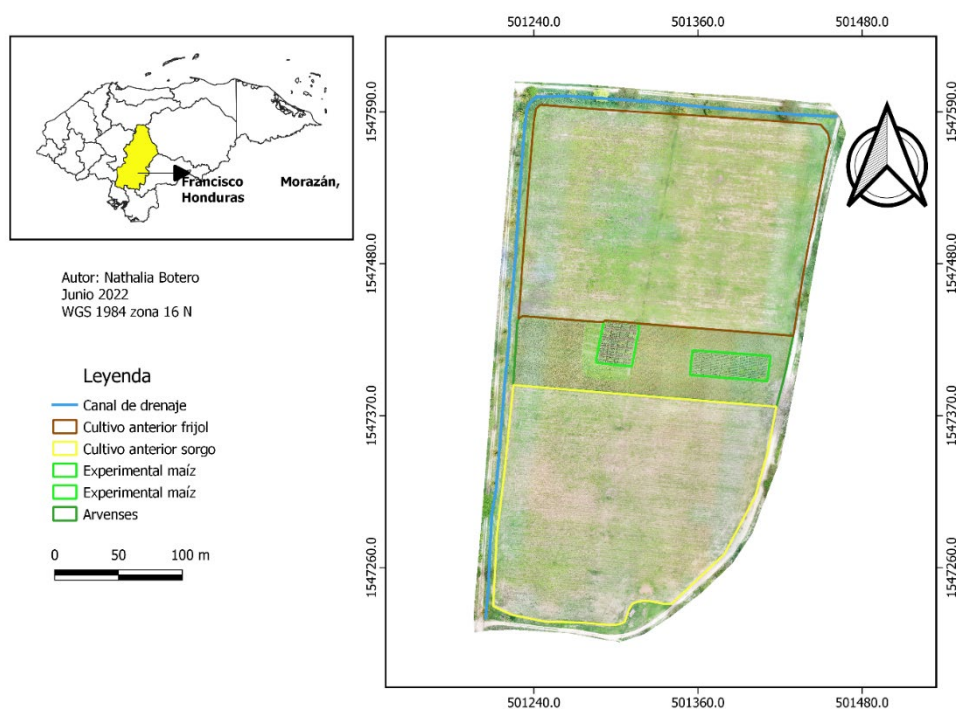
## Resultados y Discusión

### Cartografía Básica y Topográfica del Terreno

Se obtuvieron 507 fotos con una resolución de 0.016 metros las cuales fueron utilizadas para la generación del ortomosaico de toda la parcela (Figura 3). El ortomosaico es el conjunto de todas las imágenes tomadas durante el plan de vuelo permitiendo obtener una visualización de toda la escena, representando así la realidad del terreno lo más exacto posible (Escalante et al., 2016).

### Figura 3

*Ortofoto del terreno del estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3 Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*



Las fotografías aéreas fueron tomadas el 4 de marzo del año 2022. Para esta fecha gran parte del terreno se encontraba sin cultivos, contando solo con dos parcelas experimentales de maíz y una pequeña área con arvenses, por lo que el área restante estaba en descanso para una posterior siembra

de cultivos. Es importante mencionar que el área que se encontraba en descanso, pocos días atrás había producido cosechas tanto de frijol (*Phaseolus vulgaris*) como de sorgo (*Sorghum bicolor*) y se extrajo la última cosecha en los meses de enero y febrero, 2022 antes de realizar la toma de las fotos aéreas (Cuadro 1).

### **Cuadro 1**

*Uso del suelo en los meses de enero y febrero 2022 en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en lotes la Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*

Uso actual del suelo	Uso anterior del suelo	Área (ha)
Parcelas experimentales de maíz	Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	0.186
Árvenses	Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	0.828
Sin uso	Frijol ( <i>Phaseolus Vulgaris</i> )	3.210
Sin uso	Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	2.784
Drenaje (Metros lineales)	Drenaje	601.1

Lo anterior hace referencia a lo descrito por Fretes y Gómez (2018), la fotogrametría permite realizar un barrido rápido, preciso y económico de la superficie, lo que puede llegar a ser de gran interés para la obtención de modelos tridimensionales debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse y la diversidad de aplicaciones que tiene.

Los resultados antes mencionados se obtienen cuando se utilizan drones con cámara RGB (Rojo, verde y azul, por sus siglas en Inglés) dado que están hechas para permitir la observación de los objetos que se pueden ver a través del espectro visible. Sin embargo, cuando se trata de agricultura de precisión, la fotogrametría permite, por medio del uso de cámaras de bandas multispectrales, determinar características que son importantes en la vegetación y que no se pueden ver a través del ojo humano, lo que permite la toma de decisiones de manera oportuna para evitar la pérdida de los cultivos. Esas características son obtenidas por medio de diferentes algoritmos que son denominados índices.

Los índices permiten determinar el tipo de cobertura, evaluar sus variaciones en el tiempo y/o identificar la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos por medio de la estimación de su vigor vegetal, contenido de clorofila, estado nutricional o estado hídrico (Revelo Luna et al., 2021). Los índices más utilizados en la agricultura son el índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) y el índice de humedad de diferencia normalizada (NDWI). Es por ello que, los vehículos aéreos no tripulados son en la actualidad una de las tecnologías de mayor investigación en el área de fotogrametría, siendo una alternativa bastante atractiva además de innovadora para la captura de imágenes de alta resolución (Escalante et al., 2016).

### ***Curvas a Nivel, Direcciones de Flujo y Modelo Digital de Elevación***

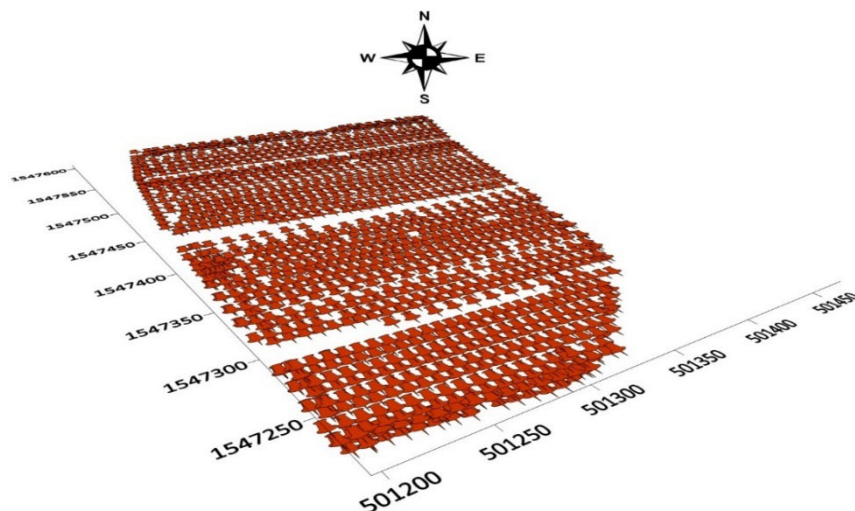
Los 1413 puntos recolectados en todo el terreno permitieron mediante sus valores de longitud, latitud y elevación obtener las curvas a nivel, las líneas de flujo del agua al llegar al suelo y el Modelo Digital de Elevación. Las curvas a nivel fueron realizadas con una equidistancia igual a 0.10 metros, esto con el propósito de tener una mayor representación de la realidad, es por lo que; tanto las curvas a nivel, las líneas de flujo, así como el modelo digital de elevación se presentan en dimensiones de 2D y 3D.

Realizar una representación en 3D de los datos obtenidos permiten tener una herramienta que facilita la comprensión y el entendimiento de datos complejos, como es en este caso algunas representaciones topográficas que permiten con una mayor descripción, transmitir una mejor visualización del contexto real. Adicional a esto, representar los datos en diferentes técnicas topográficas avanzadas es una forma de estar a la vanguardia con la tecnología que hoy está cambiando los sistemas de producción de alimentos (Moguillansky, 2005). Una buena descripción de los terrenos agrícolas permite planificar de acuerdo con los requerimientos necesarios, permitiendo así el buen desarrollo de todas las diferentes actividades que componen una buena planificación del

uso de los terrenos dedicados a la agricultura. En la Figura 4 se muestra la distribución de puntos correspondiente a las coordenadas UTM recolectadas en todo el terreno.

#### Figura 4

*Puntos georreferenciados en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en lotes la Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*



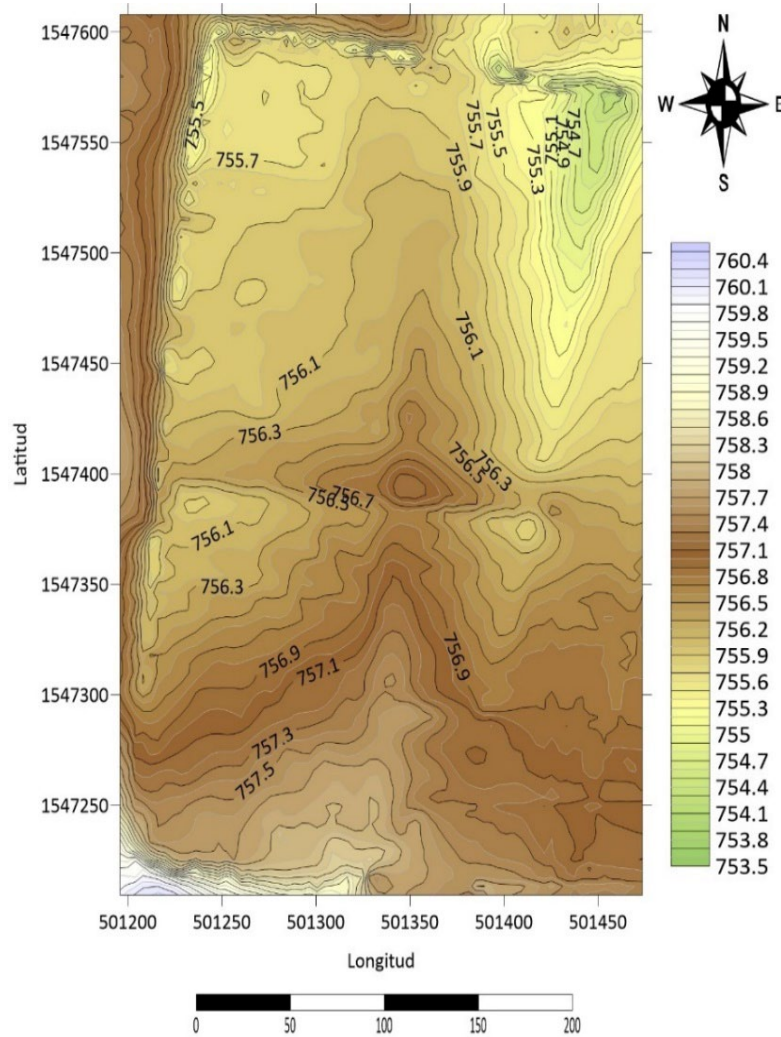
En este caso, las curvas a nivel (líneas planas generalmente curvas) muestran que el terreno presenta pocas probabilidades de erosionarse cuando se realizan diferentes labores agrícolas, dado la baja inclinación de este. Las líneas que conforman las curvas y que son las líneas que en el mapa unen todos los puntos que tienen la misma altura sobre el nivel del mar o elevación (Flores y López, 2018) muestran como en este terreno el lado este tiene un mayor drenaje que el lado Oeste (Figura 5). Esta interpretación se da debido a la distancia que existe entre las curvas en cada sector; el lado Este presenta curvas más estrechas y con una curvatura mayor, mientras que el lado Oeste presenta mayor distancia entre curvas y presencia de cotas que representan los puntos más altos del terreno, lo que dificulta de manera significativa la evacuación del agua por gravedad.

Rodríguez (2006), realizó un estudio en este mismo terreno, con el propósito de realizar un diseño de drenaje, así como definir el costo de su implementación. En el estudio se determinó que las partes del terreno que presentan problemas de drenaje son las que corresponden a suelo de textura

finas, medias y texturas en transición que se encuentran en las partes media, baja y planas del terreno. Esta situación puede atribuirse a las condiciones topográficas del terreno y al tipo de suelo.

**Figura 5**

*Curvas a nivel en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*

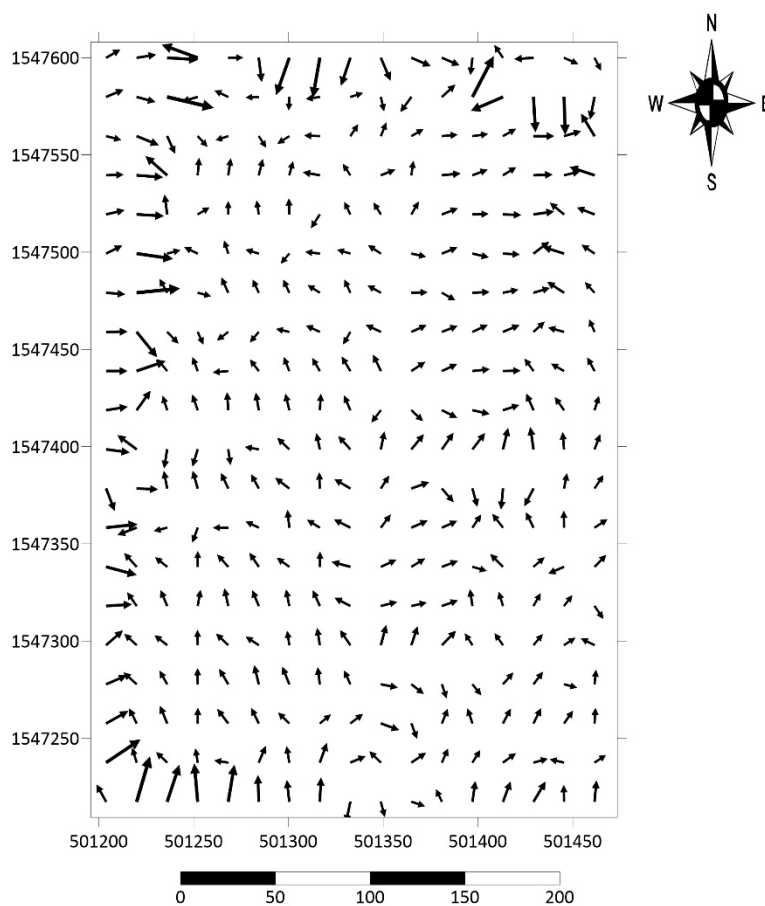


Así mismo, como las curvas a nivel permiten tener una representación de las condiciones de relieve del terreno, las direcciones de flujo (Figura 6) permite saber cómo es el movimiento de la escorrentía a lo largo del terreno. Esta información topográfica sirve como soporte al momento de

tomar decisiones en cuanto a la realización de correctos sistemas de drenaje en la zona productiva, de manera que, en temporadas de lluvia se eliminen rápidamente los excesos de humedad que puedan presentarse tanto en la superficie como de manera subsuperficial en los horizontes del suelo. Estas buenas prácticas agrícolas brindan a los cultivos condiciones que permiten un adecuado desarrollo productivo.

**Figura 6**

*Direcciones de flujo en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*

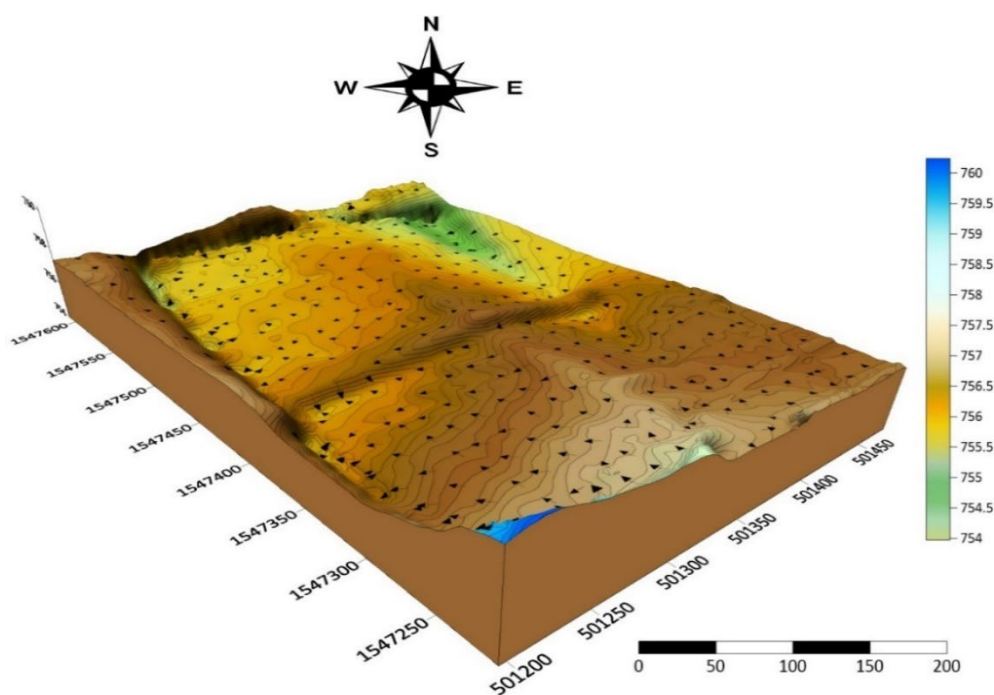


Como ya se había mencionado antes, otra de las herramientas que se pudo obtener en este estudio, fue el MDE (Figura 7). Por medio de este puede observarse como la elevación del terreno varía, teniendo como altura mínima 753.5 msnm y máxima de 795.8 msnm. Este MDE brinda una

representación más detallada sobre el relieve del terreno, así como también permite identificar los puntos más altos de la parcela donde se presentan la retención de agua debido a que hay puntos bajos que están rodeados de puntos más altos y debido a la falta de drenaje el agua no puede salir.

### Figura 7

*Mapa digital de elevación en 3D en el estudio de la Línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*



Representar el terreno en un plano dimensional como el 3D permite conocer de mejor manera las características de relieve. Esto hace referencia a lo mencionado por Burgos y Salcedo (2014), la realización del MDE constituye una importante herramienta en AP dado que permite representar las formas del relieve, siendo una de las maneras con mayor efectividad y alto grado de exactitud para producir y/o actualizar los datos topográficos de un terreno productivo.

## Incorporación de la Cartografía Digital de Suelos a la Cartografía Básica de la Parcela

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos de los análisis del laboratorio de suelos de cada una de las muestras, así mismos, se muestran las coordenadas correspondientes a los sitios donde fueron tomadas cada una de las muestras.

### Cuadro 2

*Resultado del análisis de cada una de las muestras de suelo tomadas en el estudio de la Línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras*

Punto de muestro	Latitud (Y)	Longitud (X)	pH	CE	MO	CO
1	1547241	501214.6	6.15	0.73	1.18	0.68
2	1547274	501229.4	5.26	1.22	1.97	1.14
3	1547253	501259.4	5.21	1.41	2.04	1.18
4	1547229	501284.5	5.32	1.07	1.43	0.83
5	1547248	501319.3	5.55	0.69	2.38	1.38
6	1547267	501348.9	5.31	0.85	2.04	1.18
7	1547320	501386.7	5.24	2.28	1.82	1.05
8	1547341	501359.6	5.44	0.57	1.25	0.73
9	1547356	501334.9	5.42	0.86	2.12	1.23
10	1547326	501306.6	5.09	1.89	1.78	1.03
11	1547346	501285.9	5.26	1.08	2.11	1.22
12	1547367	501265.9	5.23	0.94	2.04	1.18
13	1547339	501245.3	5.15	1.61	1.99	1.15
14	1547315	501225.4	5.19	0.53	1.57	0.91
15	1547398	501235.1	5.54	0.78	2.38	1.38
16	1547414	501251.2	5.58	0.89	2.66	1.54
17	1547433	501268.7	5.68	0.83	2.37	1.38
18	1547412	501285.9	5.85	0.72	1.98	1.15
19	1547393	501302.3	5.47	0.95	2.38	1.38
20	1547407	501328.3	5.74	0.62	2.25	1.31
21	1547421	501354.2	5.44	0.39	2.18	1.26
22	1547410	501365.4	5.42	1.58	2.17	1.26
23	1547401	501375.4	5.17	0.54	1.98	1.15
24	1547386	501388.3	6.91	0.95	2.19	1.27
25	1547442	501414.7	5.73	1.71	2.24	1.3
26	1547464	501408.3	5.53	1.15	1.84	1.07

Punto de muestro	Latitud (Y)	Longitud (X)	pH	CE	MO	CO
27	1547490	501402	5.59	0.94	1.85	1.07
28	1547512	501397.1	5.69	1.04	1.59	0.92
29	1547543	501388.1	5.65	0.91	1.99	1.15
30	1547568	501381.6	5.56	0.9	1.92	1.11
31	1547545	501369.3	5.63	1.18	1.52	0.88
32	1547523	501357.5	6.35	0.94	2.1	1.22
33	1547488	501340.8	5.76	1.79	2.31	1.34
34	1547455	501325.7	5.64	0.68	1.96	1.14
35	1547495	501311.7	5.68	0.92	2.44	1.42
36	1547524	501299.8	5.57	0.98	2.31	1.34
37	1547553	501290.8	5.53	2.48	2.38	1.38
38	1547576	501282	5.75	0.64	2.44	1.41
39	1547553	501271.3	5.71	0.97	2.3	1.34
40	1547521	501256.7	5.7	1.21	2.24	1.3
41	1547488	501249.8	5.81	0.43	1.91	1.11
42	1547456	501237.6	5.67	0.58	1.85	1.07

### **pH**

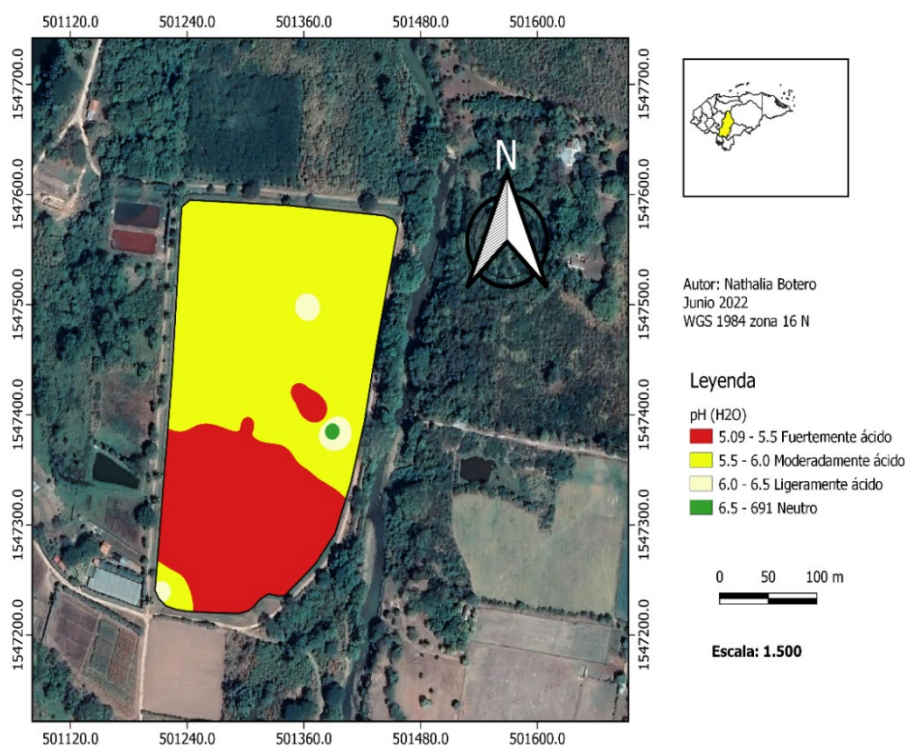
Para el parámetro de pH se obtuvieron tres zonas que presentan diferencias como se muestra en la Figura 8. La media de los resultados de las 42 muestras analizadas para este parámetro fue de 5.57, donde el 63% corresponde a un pH moderadamente ácido (5.5 - 6.0), un 35% para fuertemente ácido (5.0 - 5.5), 1.8% ligeramente ácido (6.0 - 6.5) y solo el 0.2% que corresponde a un suelo neutro (6.5 - 7.3).

Estos porcentajes indican un ambiente desfavorable para las actividades microbianas que intervienen en procesos de mineralización de la materia orgánica y afectación en la disponibilidad de fósforo (Osorio, 2012). El pH ideal del suelo varía de acuerdo con el tipo de planta, sin embargo, se deben mantener valores de rango neutros o cercanos a la neutralidad (6.5 - 7.3). Un enfoque integrado con respecto al manejo de los suelos ácidos comprende estrategias como la adición de cal, la siembra de variedades tolerantes a la acidez, el uso eficiente de fertilizantes, rotación de cultivos y mantener la diversidad de cultivos (FAO, 2021).

Comparando los resultados de este estudio con los obtenidos por Duarte y Montaña (2020), quienes también analizaron la distribución espacial de pH en este mismo terreno, se encuentra gran similitud entre los resultados de ambos mapas digitales. Los resultados obtenidos en el 2020 corresponden a una mayor extensión del terreno dentro del rango de fuertemente ácido, seguido por un pH moderadamente ácido. Estos mismos resultados fueron los obtenidos en el presente estudio, con la diferencia de que el área correspondiente a moderadamente ácido presenta un leve incremento en la parte alta del terreno. En el Cuadro 3 se muestran los rangos de pH, sus categorías, así como el área de lotes la Vega 2 y 3 a la cuál corresponde cada una de las clasificaciones.

### Figura 8

*Mapa digital de la distribución espacial de pH (H<sub>2</sub>O) disponible en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*



**Cuadro 3**

*Categorías de clasificación del pH del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*

pH	Clasificación	Cantidad de hectáreas dentro de cada categoría
<5	Extremadamente ácido	-
5.0 - 5.5	Fuertemente ácido	2.49
5.5 - 6.0	Moderadamente ácido	4.49
6.0 - 6.5	Ligeramente ácido	0.13
6.5 - 7.3	Neutro	0.017

Fuente: (Osorio, 2012)

**Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica presentó una media de 0.94, con un valor mínimo de 0.39 y un máximo de 2.48. El terreno cuenta con un rango predominante de conductividad eléctrica, que corresponde a un suelo no salino, sin embargo; también se encontró una pequeña parte dentro de la clasificación de ligeramente salinos. Para este parámetro no se realizó un mapa digital dado que el terreno está bajo un solo rango en un 99.4%. En el Cuadro 4 se muestran las categorías utilizadas para definir la conductividad eléctrica en los suelos. En general el suelo presenta unas óptimas condiciones en cuanto a su conductividad eléctrica. Esta condición permite que se puedan tener altos rendimientos de los diferentes cultivos en el terreno (Gallart, 2017).

**Cuadro 4**

*Categorías de clasificación de la salinidad del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*

Salinidad del suelo	CE (dS/m)	Cantidad de hectáreas dentro de cada categoría
0 – 2	No salinos	7.09
2 – 4	Ligeramente salinos	0.04
4 - 8	Moderadamente salinos	-

Salinidad del suelo	CE (dS/m)	Cantidad de hectáreas dentro de cada categoría
8 – 16	Fuertemente salinos	-
>16	Muy fuertemente salinos	-

Fuente: (Gallart, 2017)

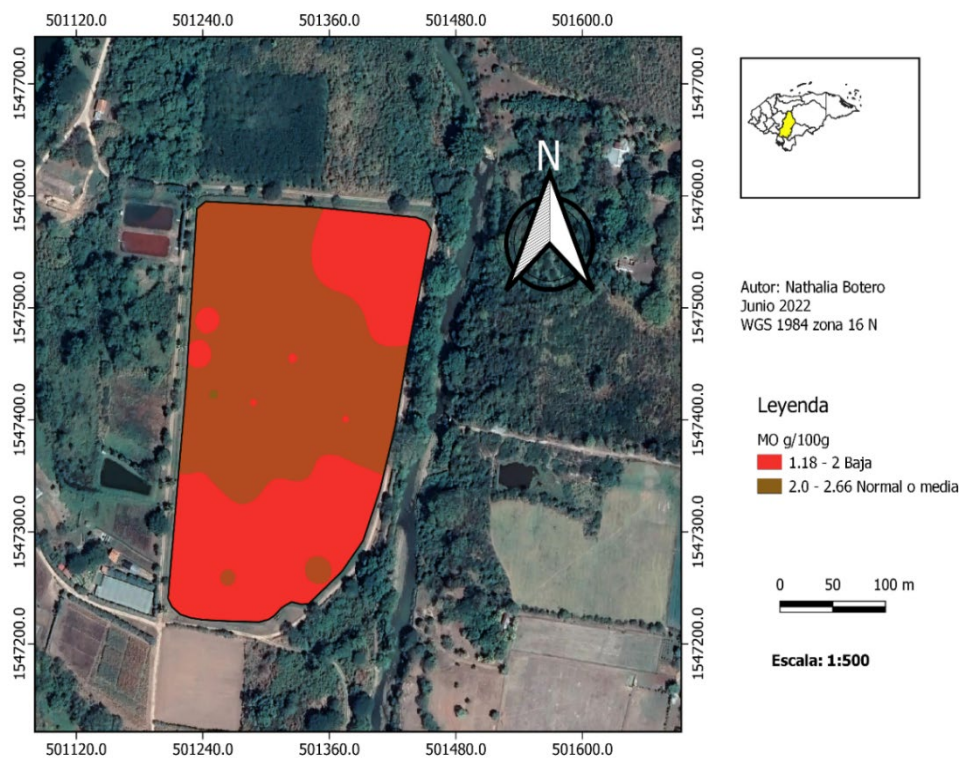
### ***Materia Orgánica***

Los resultados en cuanto a la distribución espacial correspondientes a materia orgánica presentan rangos de contenido bajo y normal o media, como se muestra en la Figura 9. Dentro del rango de baja materia orgánica se tiene el 57% de terreno mientras que dentro de la clasificación de materia orgánica medio o normal se cuenta con el 43%. De acuerdo con Rosas (2021), quien llevó a cabo, un estudio en este mismo terreno donde realizó análisis de algunas variables de macronutrientes para desarrollar un plan de fertilización, señaló que; el bajo contenido de materia orgánica puede atribuirse a las intensivas labores agrícolas que implican el uso de maquinaria y la ausencia de aplicación de prácticas de conservación de suelos en la producción de granos y semillas que se llevan a cabo en este terreno.

Se presentó una relación de materia orgánica baja con suelo no salino, este resultado muestra diferencia con lo mencionado por Delgado et al. (2019), quienes describen que a un rango de materia orgánica baja, los suelos presentan unas características altas de salinidad. Esta discrepancia puede atribuirse a condiciones diferentes en los dos estudios, dado que debido a la gran variabilidad que existe con respecto a los cambios de tipo de suelo y otras condiciones tanto topográficas como climáticas, no puede afirmarse que esta condición se presenta en todos los casos. En el Cuadro 5 se muestra la categoría en la cual se clasifica el contenido de materia orgánica, así como el área correspondiente a cada una de las clasificaciones para los lotes Vega 2 y 3.

**Figura 9**

*Mapa digital de materia orgánica disponible en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*

**Cuadro 5**

*Categorías de clasificación de la materia orgánica del suelo del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*

% MO	Clasificación de la MO	Cantidad de hectáreas dentro de cada categoría
> 4	Muy alta	-
3 - 4	Alta	-
2 - 3	Normal o media	3.09
1 - 2	Baja	4.04
<1	Muy baja	-

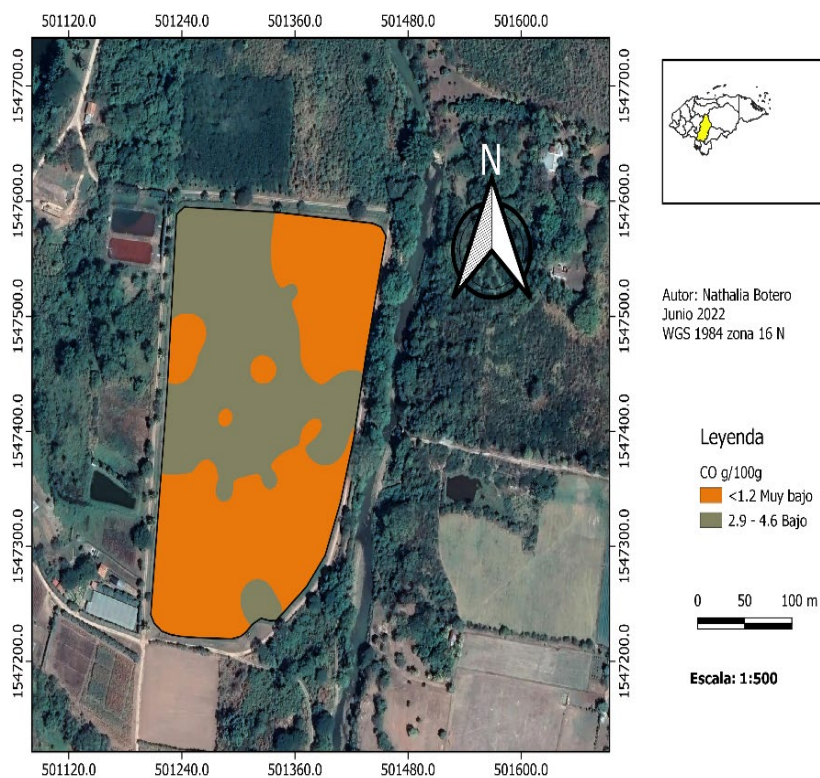
Fuente: (Arévalo y Gauggel, 2020)

### Carbono Orgánico

El mapa digital de distribución espacial correspondiente a carbono orgánico (Figura 10) muestra un bajo contenido de este coincidiendo con el bajo contenido de materia orgánica. Este resultado ya se esperaba dado que el carbono está directamente relacionado con la materia orgánica, sin embargo, se realiza el mapa digital para mostrar una comprobación de como la distribución de esta variable se asemeja a la de la materia orgánica debido a la relación entre ambos. Se encontró que para el carbono el 55.7% se encuentra dentro de la categoría de bajo, mientras que el 45.7% tiene muy bajo contenido de carbono. En el Cuadro 6 se muestran los rangos de clasificación para carbono encontrados en los lotes la Vega 2 y 3.

#### Figura 10

*Mapa digital de carbono orgánico disponible en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*



**Cuadro 6**

*Categorías de clasificación del Carbono orgánico del suelo disponible en la en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*

%CO	Clasificación de CO	Cantidad de hectáreas dentro de cada clasificación
>8.7	Muy alto	-
4.6 - 8.7	Alto	-
2.9 - 4.6	Medio	-
1.2 – 2.9	Bajo	3.9
<1.2	Muy bajo	3.2

Fuente: (Bormemisza y Fassbender, 1994)

Una de las características principales a tomar en cuenta al realizar planes de manejo en un área agrícola son las características texturales del suelo. Aunque en este estudio no se evaluaron estas características, de acuerdo con el estudio realizado por Rosas (2021) en esta misma área productiva, el tipo de suelo predominante es el franco, seguido por texturas de franco arcilloso, franco arenoso y franco limoso respectivamente.

Después de tener los mapas digitales de cada uno de los parámetros evaluados de forma individual, se realizó una representación espacial de cómo se encuentra la distribución de todos los parámetros en el terreno mediante una zonificación (Figura 11). En el mapa digital se pueden observar 10 zonas que son el resultado de todas las combinaciones entre los valores de pH, MO, y CO. Así mismo, en el Cuadro 7 se hace referencia a cada una de las zonas con la clasificación que le corresponde y adicionalmente se menciona la cantidad de hectáreas correspondiente por cada zona.

En todo el terreno hay una predominancia de tres zonas. La zona uno que corresponde a suelo con pH moderadamente ácido, con MO normal o media y con bajo contenido de CO con un área de 2.7 hectáreas. La zona 9 que corresponde a un suelo fuertemente ácido, con baja MO y muy bajo CO, con un área de 1.6 hectáreas y la zona 3, con un suelo moderadamente ácido, con baja MO y muy bajo contenido de CO, para un área de 1.4 ha aproximadamente, también se representan otras

clasificaciones menos representativas en cuanto a área. Es importante mencionar que, si bien en este mapa se muestran como se encuentra cada punto del terreno con respecto a cada parámetro evaluado para poder así realizar aplicaciones de la manera correcta, en el sitio correcto y en la cantidad correcta como lo menciona la AP, por tratarse de un área pequeña se debe considerar aspectos como el valor costo-beneficio para determinar si es viable una aplicación por punto específico. Para el caso de la conductividad eléctrica (CE) no se menciona en este mapa digital dado que se encuentra en buenas condiciones en todo el terreno por lo que no requiere de análisis para su mejora.

### Figura 11

*Mapa digital con las zonificaciones de acuerdo al estado de los parámetros químicos evaluados en el estudio para el establecimiento de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*



**Cuadro 7**

*Representación espacial de las zonificaciones resultantes de acuerdo a la disponibilidad de los parámetros de suelo evaluados en los lotes Vega 2 y 3, Monte Redondo, en el estudio de la línea base para la implementación del módulo de agricultura de precisión en la EAP Zamorano, Honduras*

Zonas	pH	MO	CO	Área (ha)
1	Moderadamente ácido	Normal o media	Bajo	2.7
9	Fuertemente ácido	Baja	Muy bajo	1.6
3	Moderadamente ácido	Baja	Muy bajo	1.4
2	Moderadamente ácido	Normal o media	Muy bajo	0.4
7	Fuertemente ácido	Normal o media	Bajo	0.4
8	Fuertemente ácido	Normal o media	Muy bajo	0.4
6	Ligeramente ácido	Normal o media	Bajo	0.08
4	Ligeramente ácido	Baja	Muy bajo	0.03
5	Ligeramente ácido	Normal o media	Muy bajo	0.02
10	Neutro	Normal o media	Bajo	0.02

Los parámetros químicos evaluados se seleccionaron dado que son indicadores de la calidad del suelo permitiendo analizar su situación actual, identificar los puntos de mayor falencia dentro del terreno con respecto a su sustentabilidad. Romero et al. (2009) mencionan que el pH, la materia orgánica y la conductividad eléctrica permiten identificar los factores que afectan la relación entre suelo y planta, la calidad y disponibilidad de agua, así como los nutrientes tanto para la biota del suelo como para las plantas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se hace una comparación con el estudio realizado por Duarte y Montaña (2020). Para la obtención de los resultados, ellos utilizaron un muestreo sistemático en forma de zigzag, recolectando 50 muestras que corresponden a siete muestras por hectárea. Para el presente estudio, se utilizó la misma metodología para la recolección de cada una de las muestras, pero con un menor número de puntos de muestreo, se obtuvieron 42 muestras correspondiente a seis muestras por hectárea. Sin embargo, los resultados fueron similares; esto puede atribuirse al tipo de interpolación utilizada para la realización de los mapas digitales. Duarte y

Montaño (2020) utilizaron la interpolación “Krigig” cuya herramienta es apropiada cuando se tiene un mayor número de datos a menores distancias, mientras que en este estudio se utilizó la interpolación IDW la cuál es utilizada cuando se tienen menor número de datos a mayores distancias. De acuerdo con estos resultados, es importante mencionar que se debe realizar una correcta selección de la metodología aplicar de manera que este acorde con lo planteado para tener una mayor precisión de los resultados.

## **Lineamientos Básicos y Equipos Utilizados en Levantamientos Topográficos y Cartográficos**

### **Aplicados a la AP**

La teoría de la topografía se basa esencialmente en la geometría plana, geometría del espacio, trigonometría y matemáticas en general. Algunos autores mencionan que la topografía es la ciencia de realizar las mediciones necesarias para determinar la relación relativa de puntos en la superficie terrestre, así como para situar sitios en una posición concreta (Del Rio et al., 2019). Por otro lado, un levantamiento topográfico es un al proceso por medio del cual se mide, se calcula y se dibuja para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de la tierra (Pachas, 2009). Para poder realizar este tipo de procesos en campo, es necesario seguir una metodología que permita mediante la medición de ángulos y distancias la obtención de datos que posteriormente puedan ser convertidos a información exacta y precisa del terreno. A continuación, se detallan los principales parámetros a considerar, los principales equipos y los “softwares” utilizados en cada una de las etapas de un proceso de levantamiento topográfico; adicional a esto se mencionan algunos de los programas y/o aplicaciones digitales para toma, almacenamiento y procesamiento de datos.

### ***Etapas 1. Ubicación del Terreno***

Esta es la primera etapa que se debe realizar al momento de un levantamiento topográfico, consiste en realizar una visita y posterior observación del terreno objeto del estudio. Esto permitirá tener una idea de cual serán los instrumentos y/o equipos más apropiados a utilizar, así mismo; se

definirá cuáles son los lugares más apropiados para ubicar los puntos de control. Estos, deben tener una ubicación que permita tener una buena visión total del terreno para tener una mejor y más rápida recolección de los datos del sitio de interés.

### ***Etapa 2. Planificación***

Todo levantamiento topográfico debe tener una previa planificación cuyo propósito debe ser fijar los modos de cómo se pretende ejecutar, de manera que permita un eficiente uso en cuanto a equipos, recursos humanos, financieros y el factor tiempo. Esto se hace con la finalidad de obtener un producto de alta calidad en el menor tiempo posible con la precisión y exactitud requeridos por el proyecto planeado. Dentro de esta etapa es muy importante verificar la disponibilidad de equipos topográficos, así mismo; la identificación del área de estudio es muy importante, ya que permitirá el reconocimiento de puntos de control existentes o seleccionar la ubicación más estratégica donde irán esos puntos de control (Pachas, 2009).

### ***Etapa 3. Puntos de Control***

Los puntos de control son coordenadas de longitud (X), latitud (Y) y altitud (Z) que fueron obtenidas con una alta precisión (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2016). La correcta selección de la ubicación de los puntos de control es de gran importancia dado que, estos puntos servirán como referencia para la obtención de los demás datos geográficos de todo el terreno.

### ***Etapa 4. Identificar los Equipos a Utilizar en la Recolección de los Datos en Campo y Análisis en Laboratorio***

Varias son las herramientas que pueden ser utilizadas para realizar un levantamiento topográfico. A continuación, se nombran algunas de ellas, así como también se realiza una breve descripción de sus características principales.

**Cinta Métrica.**

Se utiliza para medir distancias horizontales pequeñas, dentro de estas se incluyen cinta de acero, cinta metálica y cinta de fibra de vidrio. Para llevar a cabo la medición se requieren de los siguientes pasos de manera secuencial: alineación, aplicación de tensión, aplome, marcado de tramos, lectura de la cinta y registros de la distancia. Es necesario tener en cuenta que cuando se realizan levantamientos topográficos con esta herramienta, se deben utilizar otros instrumentos para tener una mayor exactitud de los datos: Plomadas para verificar la verticalidad del punto medio, nivel de mano para corroborar que la cinta este en nivel horizontal y las estacas que sirven para marcar los puntos medios del terreno (Vidal, 2018).

**Receptores GPS.**

Es un sistema determina las coordenadas espaciales en puntos respecto a un sistema referencia mundial. Para la obtención de las coordenadas de longitud (X), latitud (Y) y altura (Z) el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias como mínimo de cuatro satélites de coordenadas conocidas (Huerta et al., 2005). Algunos ejemplos de las marcas más utilizadas son Garmin, Trimble y los BCH.

**Estación Total.**

Esta integra cuatro aparatos en uno solo con el objetivo de reducir el tiempo en campo y facilitar el proceso de recolección de datos. Estos aparatos son: Distancia metro laser, teodolito, computadora y nivel de precisión. Con esto se obtiene una precisión laser en distancia y una precisión digital en los ángulos, además permite obtener mediante las variables de ángulos y variables verticales y horizontales el cálculo y almacenamiento de las coordenadas de cada uno de los puntos. Los levantamientos topográficos con una estación total se basan en principios geométricos y técnicas de

triangulación; es decir, permite a partir de dos puntos con coordenadas conocidas calcular las coordenadas de cualquier otro punto del campo (Hernández, 2011)

### **Dron.**

Estos aparatos se utilizan para la realización de trabajos topográficos mediante el uso de la fotogrametría. Estos equipos alcanzan una máxima velocidad de 80km/h en forma horizontal y llegan hasta los 300m de altura. Son vehículos relativamente pequeños que son manejados remotamente a través de un control manual, desde una computadora, Tablet o desde un teléfono móvil (Lupera, 2020). Por otro lado, la fotogrametría es la técnica para obtener información cuantitativa y cualitativa a partir de fotografías. Para el levantamiento topográfico se utiliza un área de esta técnica llamada métrica, ya que se aplica a la determinación de distancias, elevaciones, áreas, volúmenes y en la elaboración de mapas ortográficos con base a las fotografías (Pinzón, 2019).

En el mercado existen tres tipos de drones: ala fija, ala rotatoria y mixtos. Los drones de ala fija presentan un mayor tiempo de vuelo, pueden recorrer grandes distancias cubriendo así superficies extensas. La desventaja de este es que por la dificultad en cuanto a maniobrabilidad y la disposición de la cámara dificulta los trabajos verticales. Los drones de ala rotatoria son menos aerodinámicos por lo que la velocidad que llegan alcanzar es menor a los de ala fija, logrando cubrir superficies más reducidas. Sin embargo, la maniobrabilidad de estos aparatos es mucho mayores, lo que lo hace muy útiles en trabajos de zonas complejas. Por otro lado, los drones de ala mixta son de un mayor tamaño a los anteriores y presenta las ventajas y limitaciones de un sistema que tiene las combinaciones de ala fija y multirrotor (Fernández et al., 2016).

Los drones más utilizados en el campo de la agricultura son el multirrotor que tiene un tiempo de vuelo aproximado de 30 minutos haciendo una cobertura por vuelo de 65 ha y el de ala fija que tiene un tiempo de vuelo de 30 a 90 minutos y una cobertura por vuelo de 120 a 3.800 ha (Pino, 2019).

Un componente muy importante de estos aparatos son los sensores. De acuerdo con su tamaño cada dron puede llevar instalados diferentes tipos de sensores en función de los datos que se deseen obtener. Dentro de los sensores más utilizados se encuentran: Sensores para captura de imágenes que contienen cámaras RGB, térmicas o infrarrojas y multiespectrales. Estos permiten obtener imágenes con una alta resolución y en las distintas bandas del espectro de la luz; sensores LiDAR contienen un láser consistente en un haz de luz en distintas bandas del espectro que permite registrar los objetos y superficies. Este sensor permite la obtención de puntos georreferenciados y una clasificación de objetos mediante los valores de reflectancia, la obtención de modelos digitales de elevación y elaboración de mapas de contornos con una alta precisión (Fernández et al., 2016).

***Tipos de Cámaras de Drones. Cámara RGB.*** Este tipo de cámaras tienen un sensor que captura la luz dentro del espectro visible teniendo así tres canales de captura de información rojo, verde y azul. Con este tipo de cámaras solamente se puede realizar una captura e interpretación de los colores tal y como el ojo humano los puede ver. De este modo, su aplicación en la agricultura de precisión se realiza para detectar un reconocimiento de objetos, superficies o algún problema en el cultivo que ya se pueda ver a simple vista como, por ejemplo; cantidad y tipo de vegetación, daños avanzados en los cultivos, zonas de alto encharcamiento, identificación de la superficie del terreno, curvas de nivel, entre otras (Lorduy, 2017)

***Cámaras Termográficas.*** Esta cámara permite la captura de imágenes que permiten la construcción de mapas de termografía de los cultivos para posteriormente realizar análisis de estrés hídrico y de esta manera programar riegos localizados donde las plantas lo requiera (Acosta y Mendoza, 2017).

***Cámaras Multiespectrales.*** Estas cámaras tienen la capacidad de captar varios espectros de la luz pudiendo llegar a tomar valores de hasta seis bandas. Son las más utilizadas en agricultura de precisión ya que permiten la monitorización de pequeños cambios de la radiación visible e infrarroja

que reflejan las plantas. Estas cámaras se usan para detectar diferentes problemas y/o cambios en los cultivos antes de que aparezcan en el espectro visible haciendo posible una reacción anticipada para el control de plagas o enfermedades que puedan causar pérdidas en la cosecha (Lorduy, 2017).

#### **Agisoft Photoscan.**

Es un software no libre de fotogrametría con el cual se pueden generar los orto mosaicos georreferenciados, Modelos Digitales de Elevación, modelos digitales de terreno y el cálculo de índices vegetativos por su alta capacidad de procesamiento de imágenes multiespectrales (Gutierrez et al., 2018). Este es un sencillo programa que puede ser empleado por persona que apenas están incursionando en el procesamiento de imágenes fotogramétricas, pero también permite que personas especialistas en el tema realicen sus diferentes trabajos/estudios en este campo.

#### **Pix4D.**

Es un software no libre es especializado para trabajos de fotogrametría. Este programa utiliza las imágenes capturadas por los VAN e identifica puntos con características similares para obtener una reconstrucción precisa de todos los puntos de interés dentro de los cuales pueden destacarse los modelos digitales de superficie y de terreno que mediante los valores de elevación que tiene cada pixel permite trabajar con herramientas SIG, orto mosaicos de alta resolución, puntos de control en tierra permitiendo ingresar coordenadas de control para incrementar la precisión de los trabajos realizados, cálculos de volumen, líneas de contornos que representen la topografía del terreno, cálculo de áreas, modelos 3D, mapas de reflectancia y mapas de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para evaluar el desarrollo de la vegetación en los cultivos de interés (Ancorri y Flores, 2022). Este software tiene varias divisiones que han sido creadas con el objetivo de tener más herramientas que mejoren la precisión y exactitud de los resultados, estas divisiones son: Pix4D Mapper, Pix4D Fields y Pix4D Bim.

**ArcGIS.**

Es un sistema de partes que pueden ser organizadas individual o distribuidas en una red de computadoras heterogénea de estaciones de trabajo y/o servidores. Este programa tiene una estructura modular compuesta de tres aplicaciones principales: ArcMap, ArcCatalog, y ArcTools permitiendo realizar desde simples procesos hasta los más complejos en diferentes áreas que requieran los sistemas de información geográfica (Baroja et al., 2020)

**QGIS.**

Es un sistema de información geográfica de código abierto que permite la generación y análisis de los diferentes datos requeridos en una determinada área. Este programa permite manejar formatos ráster y vectoriales, así como diferentes bases de datos.

**Surfer.**

Es un programa que permite la visualización en 3D, la creación de isolíneas y el modelado de superficies. Su mayor uso se aplica para el modelamiento 3D del terreno modelamiento barimétrico, visualización del paisaje, análisis de la superficie, cartografía d curvas a nivel entro otras.

***Etapas 5. Proceso de Limpieza de Datos***

Para la recolección de los datos se sitúan puntos de referencia en el terreno o también conocidos como puntos de control con coordenadas XYZ, esto permitirá realizar un ajuste de los datos que hacen parte de los distintos errores que se presentan en el levantamiento topográfico. Para realizar la limpieza de los datos como primer paso se eliminan los elementos que no pertenecen al sitio de interés y en segundo lugar se cierran manualmente los huecos que puedan presentarse, esto haciendo uso de software especializado que permitan tener una alta precisión en los datos.

***Errores de Levantamientos Topográficos***

Toda actividad relacionada a la recolección de datos topográficos en campo puede verse afectado por errores de diferentes tipos. Dentro de estos existen diferentes causas u orígenes: Errores

personales, que hace referencia a errores causados por el operador del instrumento ya sea por poca práctica o descuido; errores instrumentales, son causados por fallas en el instrumento utilizado pudiendo aumentar o disminuir el valor de la medición real y errores naturales, que están directamente relacionados con la constante variación de fenómenos naturales como humedad, temperatura, altitud, el viento y la refracción de la luz (Porta, 2017).

### ***Metadatos***

De acuerdo con Pabón (2020) la Organización Nacional de Estándares de Información de los Estados Unidos (NISO) define los metadatos como datos de los datos. “Es información estructurada que describe, explica, localiza y/o facilita la recuperación, el uso o la gestión de recursos informacionales”. En el contexto de la agricultura, los metadatos son de gran utilidad, dado que con la incorporación de la tecnología y todo lo relacionado con el internet de las cosas, la información cada vez va a incrementar y a cambiar, por lo que los metadatos servirán como registros que permitirán volver a analizarse en caso de que sea necesario para encontrar los errores y aplicar soluciones pertinentes.

Una de las grandes ventajas de los metadatos, es que estos permiten obtener información de sobre cuál es la calidad de los datos. En el caso de la agricultura y las diferentes técnicas aplicando tecnología, los metadatos brindan información cómo se recolectaron los datos, cuales fueron los diseños de muestreo utilizado, y sobre las diferentes técnicas analíticas utilizadas entre otras (Vargas, 2006).

Finalmente, Los levantamientos tanto topográficos como cartográficos hacen parte importante en el campo de la agricultura de precisión, dado que para realizar un correcto manejo del campo se deben de conocer sus características mediante las cuales se realizará una mejor planificación. En el Cuadro 8 se muestra un resumen sobre las diferentes técnicas, programas que se

utilizan y productos que se obtienen cuando se realizan trabajos de cartografía y topografía para el levantamiento de datos de planimetría y tipografía de los suelos aplicado a la AP.

### Cuadro 8

*Técnicas, programas que pueden utilizarse y productos que se obtienen en trabajos de cartografía y topografía relacionados a la agricultura de precisión en cualquier área productiva*

Cartografía y topografía básica	Recolección de datos	Productos para posterior análisis	Programas más utilizados
Áreas y usos actuales	Cámaras RGB Cámaras multiespectrales Imágenes satelitales Receptores GPS	Ortofotos Mosaico de imágenes Imágenes aéreas Coordenadas geográficas	Qgis® ArcGis® PixD4mapper®
Elevación y pendiente	Cámaras multiespectrales Estación total Receptores GPS	Curvas a nivel Mapa de pendientes direcciones de flujo	Surfer® Qgis® ArcGis®
Resultados de los parámetros de suelo evaluados	Mapas de fertilidad de suelo Mapas de propiedades físicas Mapas de propiedades químicas Mapas de recomendación de insumos.	Propiedades físicas Propiedades químicas	Qgis® ArcGis® R®

### **Conclusiones**

Los trabajos de topografía y cartografía en la agricultura de precisión (AP) contribuyen a una correcta planeación de manejo de los terrenos agrícolas donde se consideren las características físicas del terreno. Con base en esto, en los lotes 2 y 3 de la Vega de Monte Redondo de la EAP Zamorano, así como en otras áreas vinculadas a la AP se pueden llevar a cabo buenas prácticas de manejo en el área cultivable haciendo uso de técnicas que permitan mayores y mejores rendimientos.

La identificación de las condiciones químicas del suelo de los lotes Vega 2 y 3 así como de otras áreas utilizadas para agricultura, permite realizar un adecuado plan de fertilización y adecuación química para los cultivos de acuerdo con sus requerimientos nutricionales, de manera que se proporcionen los nutrientes necesarios y no se realicen aplicaciones innecesarias que representen más un gasto que una inversión.

Los equipos, programas y técnicas de cartografía y topografía relacionados a la AP que se encontraron disponibles, contribuyeron a obtener información de los lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo de la EAP Zamorano, aplicando la metodología de punto-específico sugerida por la AP.

### Recomendaciones

Realizar un plan de manejo del terreno en cuanto a la distribución de los drenajes en toda el área de los lotes Vega 2 y 3 de Monte Redondo, en la EAP Zamorano que esté acorde con sus características físicas para evitar pérdidas de productividad por saturación y encharcamiento de agua en temporadas lluviosas.

Llevar a cabo posteriores estudios ya sea en este terreno o en otros que se vinculen a la AP, donde se realicen diferentes tipos de muestreos de acuerdo con los parámetros a evaluar y el objetivo productivo, esto para verificar cual es el más apropiados dependiendo del área, manejo, topografía y tipo de suelo.

Realizar análisis de suelo en cualquier área vinculada a la AP al menos cada dos años, esto para obtener información sobre la variabilidad que han tenido los componentes del suelo y poder diseñar correctos planes de fertilización.

Realizar posteriores estudios aplicados a la AP donde se evalúen condiciones del suelo para cultivos específicos tomando mayor número de muestras a menores distancias.

Cuando se apliquen técnicas de mapeo digital para actividades agrícola en cultivos específicos ya sea en lotes la Vega 2 y 3 de Monte Redondo EAP Zamorano o en otras parcelas, realizar verificación del resultado de las interpolaciones para los parámetros de principal interés de acuerdo con los requerimientos nutricionales del cultivo.

## Referencias

- Acosta, G. y Mendoza, C [Carlos] (2017). Aplicación de los drones en la agricultura. *Anuario De Investigación*, 6, 351–365. <http://www.diyys.catolica.edu.sv/wp-content/uploads/2017/09/25dronesAN17.pdf>
- Acuña, D. (2015). *Agricultura sostenible: antecedentes e iniciativas* [ODEPA Ministerio de Agricultura - Gobierno de Chile]. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/AgriculturaSostenible2015.pdf>
- Ancorri, J. y Flores, J. (2022). *Comparación de desplazamiento (X, Y, Z) obtenidos en el software Pixad Y Agisoft Metashape con el dron phantom 4 RTK en la carretera EMP. EP - 3s (puno) - Vilque - Mañazo - EMP. PE - 34A (Huataquita)* [Tesis]. Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Agrarias, Puno - Perú. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/17949>
- Andrade, F. (2016). *Los desafíos de la agricultura* (1a ed). International Plant Nutrition Institute.
- Arévalo, G. y Gauggel, C. (2020). *Manual de Laboratorio Manejo de Suelos y Aguas*.
- Arévalo, G., Ordoñez, J., Manueles, A., Díaz, J. y Oyuela, M. (2022). *Propuesta planificación de módulo de agricultura de precisión y digital*. Documento sin publicar.
- Baroja, D., Mejía, D., Cevallos, Á. y Puetate, G. (2020). *Sistemas de información geográfica, aplicaciones y ejercicios con ArcGis*. Centro de publicaciones PUCE. <https://www.pucesi.edu.ec/webs2/wp-content/uploads/2021/02/Sistemas-de-Informaci%C3%B3n-Geogr%C3%A1fica-ARCGIS-2020-final.pdf>
- Bormemisza, E. y Fassbender, H. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2da edición). Colección de Libros y Materiales Educativos.
- Burgos, V. y Salcedo, A. (2014). *Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información*. <http://www.b.ns.ina.gov.ar/ifrh-2014/eje3/3.10.pdf>

Cabezas, E., Naranjo, D. y Torres, J. (Eds.). (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf>

Capraro, F. y Tosetti, S. (2020). Herramientas modernas de gestión en riego de precisión basadas en dispositivos electrónicos, programas informáticos y técnicas de control automático. *Electronic Journal of SADIO*, 19(1), 5–32.

<https://publicaciones.sadio.org.ar/index.php/EJS/article/view/154/140>

Castellanos, R. y Morales, M. (2016). Análisis crítico sobre la conceptualización de la agricultura de precisión. *Cinecia En Un PC*(2), 23–33. <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181349391004.pdf> (Centro de Investigación y gestión de Santiago de Cuba).

Castro, M. (2015). *Cartografía digital de propiedades del suelo y su aplicación al estudio de la variabilidad espacial del cultivo de soja* [Tesis]. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina. [https://repositorio.inta.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7554/INTA\\_CRBsAsSur\\_EEA\\_Barrow\\_CastroFranco\\_M\\_Cartografia\\_digital\\_de\\_propiedades\\_del\\_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7554/INTA_CRBsAsSur_EEA_Barrow_CastroFranco_M_Cartografia_digital_de_propiedades_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Del Rio, O., Espinoza, T., Sáenz, A. y Córtes, F. (2019). Levantamientos Topográficos con Drones. *Revista Ciencia, Ingeniería Y Desarrollo Tec Lerdo*, 1(5), 15–19. <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID012.pdf>

Delgado, C., Rodríguez, R., Capulín, J., Madariaga, A. y Islas, M. (2019). Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chivasco, Estado de Hidalgo México. *Academia Journal*, 11(6), 522.

<https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/5e33037e64c4842a>

2d7878a9/1580401576719/Tomo+04+-

+Memorias+del+Congreso+Academia+Journals+Puebla+2019.pdf

Duarte, P. y Montaña, C. (2020). *Manual de procedimientos para elaboración de mapas de variabilidad espacial de suelos y su aplicación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.  
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6870/1/CPA-2020-T043.pdf>

Escalante, J., Cáceres, J. y Porras, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119–140.

Escobar, G. (2016). *La relevancia de la agricultura en América Latina y el Caribe: Análisis*.  
<https://static.nuso.org/media/documents/agricultura.pdf>

Fernández, J., García, J. y Gutiérrez, G. (2016). Drones: Nuevas aplicaciones geomáticas en el campo de las ciencias de la tierra. *Geo-Temas*, 1(16), 724–728.  
[https://www.researchgate.net/profile/Javier-Fernandez-Lozano/publication/308173342\\_Drones\\_Nuevas\\_aplicaciones\\_geomaticas\\_en\\_el\\_campo\\_de\\_las\\_Ciencias\\_de\\_la\\_Tierra\\_Drones\\_New\\_geomatic\\_applications\\_in\\_Earth\\_Sciences/links/57dc4d6708ae5292a379b1b1/Drones-Nuevas-aplicaciones-geomaticas-en-el-campo-de-las-Ciencias-de-la-Tierra-Drones-New-geomatic-applications-in-Earth-Sciences.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Javier-Fernandez-Lozano/publication/308173342_Drones_Nuevas_aplicaciones_geomaticas_en_el_campo_de_las_Ciencias_de_la_Tierra_Drones_New_geomatic_applications_in_Earth_Sciences/links/57dc4d6708ae5292a379b1b1/Drones-Nuevas-aplicaciones-geomaticas-en-el-campo-de-las-Ciencias-de-la-Tierra-Drones-New-geomatic-applications-in-Earth-Sciences.pdf)

Flores, H. y López, J. (2018). *Importancia de puntos topográficos, creación de curvas de nivel y triangulación en softwares mineros minesight y vulcan* [Tesis]. Universidad de Sonora.  
<http://repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/1835?locale=es>

Fretes, H. y Gómez, M. (2018). *Implementación de fotogrametría digital aplicada a imágenes aéreas*. Universidad Nacional de Asunción.  
[http://tesisfcp.bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/13096/fretes-hector-1.pdf](http://tesisfcp.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13096/fretes-hector-1.pdf)

- Gallart, F. (2017). *La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia* [Tesis], Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART%20-%20La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo%20como%20indicador%20de%20la%20capacidad%20de%20uso%20de%20los%20suelo...pdf?sequence=1>
- Gómez, U., Pérez, J. y Ramirez, J. (2016). Sistema de Información Agrícola para la disminución de Brechas entre Oferta y Demanda - AGROCRAFT. *Información Tecnológica*, 27(3). [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000300020&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000300020&script=sci_arttext) (Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Pontificia Bolivariana (UPB)).
- Guerrero, J., Estrada, F. y Medina, M. (2017). SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión, 14(2), 53–58. <http://www.iiisci.org/journal/PDV/risci/pdfs/CA544SI17.pdf> (Universidad de Colima, Mexico).
- Gutierrez, S., Hernández, L., Orozco, R., Aday, O., Delgado y Irenaldo (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *RIELAC*, 39(2), 79–91. <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/rieac/article/view/669/336>
- Hernández, L. (2011). *Manual de operaciones de la estación total*. [https://www.abreco.com.mx/manuales\\_topografia/teodolitos\\_estaciones/Manual%20de%20Operacion%20de%20Estacion%20Total.pdf](https://www.abreco.com.mx/manuales_topografia/teodolitos_estaciones/Manual%20de%20Operacion%20de%20Estacion%20Total.pdf)
- Hernández, R. y Mendoza, C [Chirstian]. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas*. [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf)
- Huerta, E., Mangiaterra, A. y Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento satelital*. UNR editora.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). *Especificaciones técnicas Cartografía básica digital*.  
[https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/documento\\_especificaciones\\_tecnicas\\_cartografia\\_basicas.pdf](https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/documento_especificaciones_tecnicas_cartografia_basicas.pdf)
- Lago, C., Sepúlveda, J., Barroso, R., Fernández, F., Maciá, P. y Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de rendimiento. Aplicación en la Agricultura de Precisión. *Idesia (Arica)*, 29(1), 59–69. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000100009&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000100009&script=sci_arttext)
- Latimer, G. (2019). Official methods of analysis of AOAC international: 21st Edition, 2019, 1.
- Lorduy, S. (2017). *Generación de ortoimágenes usando vehículos aéreos no tripulados aplicado a la agricultura* [Tesis]. EAFIT, Medellín, Colombia.  
[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12376/Sara\\_LorduyHernandez\\_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12376/Sara_LorduyHernandez_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Lupera, J. (2020). *“Levantamiento Topográfico Georreferenciado con Fotogrametría”*. Universidad técnica de Babahoyo Facultad de Ciencias Agropecuarias.  
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8453/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000082.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maldonado, C., Rea, V. y Villao, F. (2017). Los sistemas de información para lograr un desarrollo competitivo en el sector agrícola. *Ciencia UNEMI*, 8(13), 122–129.  
<https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663827014.pdf>
- Mayhua, E., Ludeña, J., Tamayo, J., Cuba, M., Núñez, Á., Gonzales, N. y Lozada, D. (2016). Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos. *Revista De Investigación (Arequipa)*, 7, 69–92.  
[https://web.archive.org/web/20180421074513id\\_/http://ucsp.edu.pe/investigacion/wp-content/uploads/2017/01/4.-Sistema-de-riego-por-goteo-autom%C3%A1tico.pdf](https://web.archive.org/web/20180421074513id_/http://ucsp.edu.pe/investigacion/wp-content/uploads/2017/01/4.-Sistema-de-riego-por-goteo-autom%C3%A1tico.pdf)

- Moguillansky, G. (2005). *La importancia de la tecnología de la información y la comunicación para las industrias de los recursos naturales*. Naciones Unidas, CEPAL. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4556/S05803\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4556/S05803_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Muñoz, M., Mera, Rafael, Artieda, J. y Vega, V. (2017). Tecnologías de la información y comunicación en la agricultura. *UNIANDES EPISTEME: Revista De Ciencia, Tecnología E Innovación*, 4(1), 105–116. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756395>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2021). *Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina*. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46965/4/S2100283\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46965/4/S2100283_es.pdf)
- Osorio, W. (2012). pH de suelos y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral De Suelos Y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1–4. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Pabón, J. (2020). Protección legal a los metadatos y la gestión digital de los derechos de autor. *Ius Et Praxis*, 26(1), 57–76. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-00122020000100057&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-00122020000100057&script=sci_arttext&tlng=en)
- Pachas, R. (2009). El levantamiento topográfico: Uso del GPS y estación total. *Academia*, 13(16), 29–45. <http://revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/academia/v8n16/articulo3.pdf> (Laboratorio de Topografía. Departamento de Ingeniería. Núcleo Universitario Rafael Ranges. Universidad de Los Andes (ULA)).
- Pérez, A., Leyva, D. y Gómez, F. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 9(1), 175–189. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342018000100175](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342018000100175)

- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75–84. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019005000402&script=sci\\_arttext&lng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019005000402&script=sci_arttext&lng=en)
- Pinzon, E. (2019). *Procesamiento de levantamientos topográficos en sectores rurales por medio de drone* (20162732019). Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad del medio ambiente y recursos naturales. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22738/PROCESAMIENTO%20DE%20LEVANTAMIENTOS%20TOPOGR%C1FICOS%20EN%20SECTORES%20RURALES%20POR%20MEDIO%20DE%20DRONE.pdf?sequence=1>
- Porta, J. (2017). "Evaluación de la precisión del proyecto con el metodo medición del levantamiento topografico con estación total topcon del coar chupaca 2016" [Tesis]. Universidad Peruana los Andes, Perú. <http://www.repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/262/JAME%20ESAU%cc%81%20PORTA%20INGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Revelo Luna, D. A., Mejía Manzano, J., Montoya Bonilla, B. y Hoyos García, J. (2021). Análisis de los índices de vegetación NDVI, GNDVI Y NDRE para la caracterización del cultivo de café (*Coffea arabica*). *Ingeniería Y Desarrollo*, 38(2), 298–312. <https://doi.org/10.14482/inde.38.2.628>
- Rizo, M., Vuelta, D. y Lorenzo, Ana, Lorenzo (2017). Agricultura, Desarrollo Sostenible, Medio Ambiente, Saber Campesino y Universidad. *Ciencia En Su PC(2)*, 106–120. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181351615008/html/> (Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba).
- Rodríguez, G. (2006). *Diseño del sistema de drenaje y determinación del costo de implementación en Monte Redondo, Zamorano, Honduras* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/11bc2d85-e89d-40b8-9581-7b9b8a851c7f/content>

Romero, M., Santamaría, D. y Zafra, C. (2009). Bioingeniería y suelos: Abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico*(15), 67–74.  
<https://www.redalyc.org/pdf/304/30415144008.pdf>

Rosales, A. y Arechavala, R. (2020). *Agricultura inteligente en México: Analítica de datos como herramienta de competitividad*. Universidad de Guadalajara; Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas.  
[http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Vinculategica6\\_2/37\\_Rosales\\_Arechavala.pdf](http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Vinculategica6_2/37_Rosales_Arechavala.pdf)

Rosas, D. (2021). *Manejo diferencial de los suelos mediante agricultura de precisión y convencional para la producción de semilla de frijol y sorgo* [Tesis sin publicar]. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Salazar, R. (2010). *Sistemas de informática y automatización aplicados a la agricultura: bondades y limitantes* [Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía Instituto de Investigación Agrónomas -IIA, Guatemala.  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/7146/1/T-02837.pdf>

Vargas, R. (2006). *Notas de conferencia: Bases De Datos Geográficos de Suelos y el Uso de Programas para su Construcción*. Universidad Mayor de San Simón – Centro CLAS.  
[http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/soils/\\_static/files/pdf/SoilGeographicDataBases\\_E.pdf](http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/soils/_static/files/pdf/SoilGeographicDataBases_E.pdf)

Vidal, A. (2018). *Análisis comparativo de levantamientos altimétricos por GPS, estación total y método de nivelación diferencial* [Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala.

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/10029/1/Anselmo%20Enrique%20Vidal%20Mactzul%20Xicay.pdf>

Villatoro, M., Henríquez, C. y Sancho, F. (2008). Vista de Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 98–105. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6773/6460>