



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA COLEGIO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA

**“UTILIZACION DE LA TOPOGRAFÍA EN LA
AGRICULTURA DE PRECISIÓN”**

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO TOPOÓGRAFO Y GEODESTA

Presenta:

ALAN MONTES SOLIS

Director de Tesis:

M.I. ÁNGEL CECILIO GUERRERO ZAMORA

PUEBLA, PUE.

NOVIEMBRE 2020



Oficio D-SA 3162/2017

**C. ALAN MONTES SOLIS
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“UTILIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN”

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como asesor al Mtro. Ángel Cecilio Guerrero Zamora.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 18 de septiembre de 2017

M. en I. Fernando Daniel Lázcano Hernández
Director

M'FDLH/M'JAT/BARV
C.c.p. Interésado
C.c.p. Archivo

80 AÑOS
DE UNIVERSIDAD

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. 108 C, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente.

El que suscribe: Mtro. Ángel Cecilio Guerrero Zamora, asesor del tema denominado: “**UTILIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**”, presentado por el **C. ALAN MONTES SOLÍS**, pasante de la carrera de Ingeniería Topográfica y Geodésica, me permito informar a Usted que dentro del marco de examen profesional, y después de haber realizado una cuidadosa revisión del contenido temático, la metodología y la redacción de la tesis correspondiente, no existe inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 12 de octubre de 2020



Mtro. Ángel Cecilio Guerrero Zamora
Asesor

M' ACGZ/BARV
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi padre y madre, José Luis Montes Flores y Alma Jannet Solís Solorio respectivamente, quienes son la razón por la que hoy estoy aquí, por su confianza, su fé, por todo el sacrificio que han realizado; así mismo a mi hijo Axel Montes Morales quien siempre estuvo apoyándome, gracias por tu tiempo, paciencia y amor, gracias por todo.

A mis hermanos Reyna Michelle y José Luis Montes Solis por su paciencia, comprensión y apoyo en todo momento.

Así mismo al M.I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora por las facilidades brindadas para poder realizar este trabajo, por su disponibilidad, amabilidad, sabiduría, así como por los apoyos para poder complementar este trabajo y hacerlo una realidad.

A todos mis familiares y amigos que me dedicaron tiempo y apoyo a lo largo de estos años para poder lograr esta gran meta, no me resta más que a todos ustedes decirles.....

GRACIAS.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVO	8
CAPITULO I.....	9
“CONCEPTOS BÁSICOS”	9
1.1. LA TOPOGRAFÍA.....	9
1.2. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS EN LA AGRICULTURA.	9
1.3. DEFINICIÓN DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	10
1.4 . AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN SAN MARTIN TEXMELUCAN.....	11
1.4.1. TIPOS DE CULTIVOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
1.4.2. CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS (TEMPORAL Y DE RIEGO).....	13
CAPITULO II	16
“USO DE LAS TECNOLOGÍAS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN”	16
2.1. TIPOS DE VARIABILIDAD.....	16
2.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	18
2.3. AGENTES INVOLUCRADOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISION	19
2.3.1. EL PRODUCTOR EMPRESARIO	19
2.3.2. LOS ASESORES O CONSULTORES.....	20
2.3.3. LAS EMPRESAS PROVEEDORAS DE INSUMOS.....	20
2.3.4. LAS EMPRESAS PROVEEDORAS DE EQUIPAMIENTO.....	21
2.4. HERRAMIENTAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	21
2.4.1 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN.....	21
2.4.2. CARTOGRAFÍA.....	24
2.4.3. FOTOGRAFÍAS AEREAS DE SATÉLITE	26
2.4.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	27
2.5. CUADRO COMPARATIVO AGRICULTURA DE TEMPORAL/AGRICULTURA PRECISIÓN.....	28
2.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA CULTIVOS EN TIEMPO REAL.....	30
2.6.1. MÉTODOS PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	30
2.6.2. SENSORES	38
2.6.3. OTRAS TECNOLOGÍAS	40

2.7. USO DE MAQUINARIA	42
CAPITULO III	45
“APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN CULTIVOS DE SAN MARTIN TEXMELUCAN, ESTADO DE PUEBLA”	45
3.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	45
3.2. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA ZONA	46
3.2.1. PRECIPITACIÓN.....	46
3.2.2. HUMEDAD	50
3.2.3. CLIMA	54
3.3. TOMA DE MUESTRAS DEL SUELO	56
3.4. USO Y PROCESAMIENTO PARA CÁLCULO DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN (NDVI).....	61
3.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE DRONE PARA LEVANTAMIENTOS	65
3.4.2. TÉCNICAS PLAN DE VUELO.....	68
3.4.3. EVALUACION DE LA PRECISION DE MAPEO	70
3.4.4. METODOS Y ESTUDIO DE AREA DE INTERES	71
3.4.5. USO DE QGIS PARA EL CÁLCULO DEL NDVI	72
3.4.6. PASOS EN UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO POR DRONE	76
3.4.7. DIAGRAMA PARA OBTENER EL NDVI.....	80
CAPITULO IV.....	81
“REVISIÓN DE RESULTADOS EN ÁREA DE ESTUDIO”	81
4.1. USO DE DRONE EN AREA DE ESTUDIO.....	81
4.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	89
4.3. CALCULO DEL NDVI	90
RESULTADOS.....	99
CONCLUSIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101

INTRODUCCIÓN

En la agricultura actual, se busca el mayor rendimiento que se pueda sacar con el fin de lograr mayores beneficios. Para ello, en los últimos años se ha avanzado mucho en la agricultura llamada “de precisión”, que está en constante desarrollo.

La agricultura de precisión es la utilización y aplicación de las nuevas tecnologías en superficies de suelo, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego...) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente.

Hace algunos años se logró la aplicación del sistema GPS (Global Positioning System) en agricultura para la obtención de la posición mediante coordenadas y la producción obtenida en cada uno de esos puntos. Con la elaboración de estos datos, se representaron los primeros mapas de rendimiento, comenzándose a llamar la utilización de estos nuevos sistemas "Agricultura de Precisión". En los últimos años con los avances tecnológicos en informática y en las nuevas redes de comunicación se han obtenido avances muy importantes, llegando a poder controlar el posicionamiento con errores menores a 1 metro, mediante los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Esta técnica de cultivo todavía está en algunos países del viejo mundo como lo son España, en fase totalmente experimental, pero es un hecho que los mapas de rendimiento se están obteniendo y estas informaciones son utilizables por equipos que se pueden montar en los tractores.

En algunos otros países los cambios tecnológicos que por lo general se producen en la agricultura están directamente relacionados con la rentabilidad que trae aparejado dicho cambio. Ejemplo de esto son la adopción de la semilla híbrida de maíz, la siembra directa y la biotecnología, entre otros. La agricultura de precisión no mejora el precio de los granos, sino que es una tecnología con la que los productores buscan producir a bajo costo.

OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo, es conocer el estado actual en una zona que se cultiva maíz y que está situada en Santa María Moyotzingo, Junta Auxiliar del Municipio de San Martín Texmelucan de Labastida; esto mediante la realización de mapas, análisis estadísticos, estudios de laboratorio, etc. Para hacerlo, se marcarán en la parcela varios puntos para lograr el trazo de una malla, y posicionarse cada uno de esos puntos.

Entre los objetivos más importantes que tiene este trabajo están:

- Conocer las técnicas de agricultura de precisión usadas en el Santa María Moyotzingo, Junta Auxiliar del Municipio de San Martín Texmelucan.
- Realizar levantamientos topográficos para conocer las características de los terrenos a estudiar, así como poder seccionar en una malla la zona de interés.
- Realizar un estudio con instrumentos de alta precisión para determinar las características de las tierras agrícolas, como pH, conductividad eléctrica, salinidad y temperatura, con el fin de contribuir a mejorar su producción con el uso de técnicas que así lo permitan.
- Usar los sistemas de información geográfica por sus siglas (SIG) para obtener resultados como evapotranspiración.
- Emitir un resultado final para que el dueño del terreno pueda hacer uso y aprovechar de mejor manera sus tierras, evitando la sobre explotación del terreno.

CAPITULO I

“CONCEPTOS BÁSICOS”

1.1. LA TOPOGRAFÍA

Es la ciencia y la técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de terreno lo suficientemente reducidas como para poder despreciar el efecto de la curvatura terrestre, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y/o numérica, según los requerimientos del trabajo.

Dentro de la Topografía se incluye el estudio de los instrumentos usados por ella, sus principios de funcionamiento, sus componentes y su operación. También se estudia teoría de errores, ya que en muchos trabajos topográficos se exigen determinados valores de exactitud en los resultados, valores que a su vez determinarán los métodos y la precisión de los instrumentos a utilizar en el proyecto.

1.2. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS EN LA AGRICULTURA.

- Replantar datos de un plano en el campo y viceversa.
- Localizar y marcar los límites de una propiedad.
- Medir el área de una propiedad.
- Subdividir terrenos en parcelas.
- Medir áreas de parcelas.
- Obtener información (elevaciones, distancias, curvas de nivel) para proyectos de riego, drenaje y conservación de suelos.

1.3. DEFINICIÓN DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión es una estrategia de administración que utiliza tecnología de la información y las comunicaciones para recolectar datos útiles desde diferentes fuentes con el fin de apoyar decisiones asociadas a producción de cultivos.

La definición de Agricultura de precisión podría ser la siguiente:

La utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego...) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente. (Pérez de Ciriza Gainza, J.J., 2001.)

La agricultura de precisión gestiona la tierra acorde a sus necesidades. Para ello se utilizan experiencias de muchas disciplinas y se integran las últimas herramientas y técnicas del mundo TIC (tecnologías de la información y la comunicación) para facilitar un mejor entendimiento del terreno.

La agricultura de precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad. Estos sistemas además permiten aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos. (Kreimer, P. 2003.)

Con esto actualmente los agricultores deben ser capaces de reducir costos, y, en consecuencia, mejorar su rentabilidad.



Figura 1. Ciclo de la agricultura de precisión. **Fuente.** (AgroSIG, 2015)

1.4. AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN SAN MARTIN TEXMELUCAN.

Para el valle de Texmelucan y como para muchas partes del país la agricultura tradicional consideraba a los campos agrícolas como homogéneos y la aplicación de insumos no incluía la variabilidad espacial y temporal de la producción ni el análisis de las causas de esa variabilidad.

Es por ello que la agricultura de precisión es la aplicación de las tecnologías y principios para el mejor rendimiento del campo, mediante información asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental. (Pierce y Nowak, 1999).



Figura. 1.1. Cultivo de maíz. **Fuente.** Elaboración propia (2019).



Figura. 1.2. Cultivo de maíz. **Fuente.** Elaboración propia (2019).

1.4.1. TIPOS DE CULTIVOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

El Valle de Texmelucan se caracteriza por la producción de hortalizas, como la lechuga, cebolla, coliflor, rábano, cilantro, perejil, y cereales tales como maíz, el trigo y el sorgo de manera tradicional, pues actualmente no se realiza algún estudio que permita conocer las características del suelo ni mucho menos lo que le hace falta para tener una buena producción, dividiéndose como se muestra a continuación.

1.4.2. CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS (TEMPORAL Y DE RIEGO)

LA AGRICULTURA DE RIEGO

Consiste en el suministro de importantes cantidades de agua a los cultivos a través de diversos métodos artificiales de riego. Este tipo de agricultura requiere grandes inversiones económicas y una cuidada infraestructura hídrica: canales, acequias, aspersores, albercas, etc., que exige, a su vez, un desarrollo técnico avanzado. Entre los cultivos típicamente de regadío destacan los frutales, el arroz, el algodón, las hortalizas y la remolacha.

Sus principales características son:

- El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional en el que predominan las fuerzas de gravedad y por tanto el movimiento vertical.
- No se moja todo el suelo, sino solamente una parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.

- El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.
- Requiere un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua en el bulbo, puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.
- Utiliza pequeños caudales a baja presión.
- Se opera con la frecuencia necesaria para lograr un alto contenido de humedad en el suelo (riego de alta frecuencia).



Figura. 1.3. Formas de riego. **Fuente.** (encolombia, s.f.)

AGRICULTURA TEMPORAL

Tipo de agricultura que se practica principalmente en las zonas marginadas y en las partes altas de nuestro estado, está limitada principalmente por la precipitación

pluvial natural (temporada de lluvias), no es competente en el mercado debido a los bajos rendimientos.

La agricultura de temporal no es otra cosa que la producción agrícola que depende de las condiciones de lluvia para producir, es decir donde no se cuenta con riego ni estructuras tales como los invernaderos. Cualquier cultivo que sea sembrado de esta manera es conocido como de temporal, no importa si es cereal, frutal u hortaliza. Este tipo de agricultura es propia de sistemas poco tecnificados de producción, solo en algunas regiones se logran buenos rendimientos, aunque ello depende de la buena planeación del cultivo y sobre todo de la buena presencia de lluvias. No es que sean frutos de temporada o que sean solo cereales, es que la producción depende de la lluvia.

CAPITULO II

“USO DE LAS TECNOLOGÍAS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN”

2.1. TIPOS DE VARIABILIDAD

La variabilidad que existe dentro de un lote se puede resumir en tres clases: natural, tales como tipo de suelo y topografía; aleatoria, como las precipitaciones; y de manejo, como la aplicación de fertilizantes y la densidad de siembra. La variabilidad natural incluye:

➤ ***Variabilidad de suelos.***

El suelo puede variar espacialmente en la capacidad de retención de agua, materia orgánica y en otras características físicas y químicas por tipo de topografía, como así también por una serie de elementos interactuantes. Uno de los desafíos es cuantificar la variabilidad de los suelos.

➤ ***Variabilidad biológica.***

Dentro de los lotes es tan grande como la variabilidad de suelos e incluye la variabilidad en la población de microbios del suelo, población de malezas, población de insectos, ocurrencia de enfermedades, crecimiento del cultivo y por último el rendimiento, que es la variable “diagnóstico”, que permite a los productores darse cuenta del resultado de toda la variabilidad biológica ocurrida durante el ciclo del cultivo.

➤ ***Variabilidad en los procesos dinámicos del suelo.***

La variabilidad en los procesos dinámicos del suelo se puede entender mirando, por ejemplo, a la dinámica del Nitrógeno (N). El N en el suelo representa el balance existente entre un número de procesos tales como la

mineralización, inmovilización, desnitrificación, volatilización, nitrificación, adsorción, absorción por los cultivos y percolación.

En la práctica, la mayoría de los cálculos de aplicación de insumos se basan en un rendimiento esperado en función de una serie de variables entre las cuales se encuentran la fertilidad y disponibilidad hídrica (método del balance de nutrientes). El desafío es cuantificar la respuesta de rendimiento del cultivo a la dosis variable de insumos (método de la dosis óptima económica) utilizando indicadores de bajo costo tales como el tipo de suelo y la topografía. En este sentido, el análisis de regresión espacial de los datos del monitor de rendimiento y diferentes dosis de fertilizante en distintos tipos de suelo muestra resultados agronómicos y económicos muy alentadores, a pesar de la complejidad de las interacciones que existen entre el ambiente físico y la respuesta biológica, lo que dificulta cuantificar la respuesta frente a diferentes prácticas de manejo.

Otra aplicación de gran utilidad de la agricultura de precisión es la evaluación a campo de ensayos en franjas. En el momento de la cosecha no es necesario disponer en el campo de una balanza para pesar ni es necesario que la cosechadora descargue parada, sino que solamente se debe poseer el monitor de rendimiento calibrado y cosechar los ensayos respetando las franjas de los tratamientos. Además, presenta como principal ventaja que el análisis de resultados de los ensayos se puede realizar por sectores diferentes de los lotes y de esta manera ajustar el manejo diferencial dentro de los mismos. Por ejemplo, los rendimientos de dos cultivos pueden ser idénticos, si se usan los promedios, pero diametralmente opuestos en la loma y en el bajo de un lote. Ese valioso dato solo se logra a través del mapa de rendimiento. Lo mismo puede ocurrir con el tipo y la dosis de fertilizante, la densidad de semilla, la fecha de siembra, el espaciamiento entre hileras, etc. Esta metodología le permite al productor, a partir de sus propios datos, transformarse en experimentador para tomar decisiones de manejo que le posibiliten manejar la variabilidad.

Si no existiera variabilidad dentro de un lote (de suelos, de rendimiento, etc.), no habría necesidad de agricultura de precisión y si no existiera variabilidad en los ensayos de híbridos dentro del lote, se seguirían las recomendaciones de los ensayos zonales.

2.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Se ha estado experimentando a nivel mundial con lo que se denomina Dosis Variable (DV), que consiste en aplicar cantidades distintas de insumos en cada posición dependiendo de uno o varios parámetros, pero hay relativamente poco uso comercial fuera de EE.UU. y Canadá.

En Latinoamérica y Australia el uso de DV está limitado por el alto coste de muestreo y análisis de suelo. En Europa Occidental, la DV se comienza a adoptar por la preocupación acerca de la contaminación ambiental, y para cumplir con normas legales.

Los primeros estudios económicos se centraron en la DV de fertilizante ya que fue la primera técnica de precisión disponible comercialmente. En general los estudios se centraban manejando uno o dos insumos. La mayoría de los estudios se realizaron sobre cultivos extensivos, porque ese era el “mercado masivo” buscado por los fabricantes y vendedores.

Los investigadores señalan que hasta hace poco la mayoría de los empresarios agrícolas, sobre todo europeos, desconocían el significado de esta técnica.

Existe una gran diferencia de eficiencia productiva y de rentabilidad empresarial entre un productor que llega tarde a la adopción tecnológica y otro innovador que sigue el ritmo de desarrollo tecnológico. (Kreimer, P. 2003.)

2.3. AGENTES INVOLUCRADOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISION

Los agentes que directamente están involucrados en la agricultura de precisión podríamos decir que son:

- El productor empresario,
- Los asesores o consultores,
- Las empresas proveedoras de insumos y
- Las empresas proveedoras de equipamiento.

2.3.1. EL PRODUCTOR EMPRESARIO

Debido al crecimiento productivo y al incremento de las tareas gerenciales que debe realizar el productor, cada vez tiene menos tiempo para recorrer sus parcelas y hacerles un seguimiento adecuado. Mediante la Agricultura de Precisión dispondrá de información más detallada pudiendo realizar el seguimiento de los resultados de sus cultivos. También podrá evaluar y supervisar el trabajo de sus tractoristas y de los responsables de campo porque todo queda perfectamente registrado y geo-referenciado en los mapas de rendimiento.

El productor, mediante estas herramientas, podrá cuantificar fácilmente la variabilidad natural de su campo para luego realizar los ajustes de manejo oportunos, evaluar el resultado de nuevas técnicas, el comportamiento de diferentes materiales genéticos, las recomendaciones de su consultor o proveedor de insumos, los errores de manejo que pueden haber cometido por decisiones equivocadas u omisión.

(Kreimer, P. 2003.)

2.3.2. LOS ASESORES O CONSULTORES.

Los asesores o consultores encontraran en esta tecnología una importante ayuda para su trabajo. Las fotos aéreas, satelitales y digitalizadas, les permitirán observar los cultivos durante el desarrollo del mismo, pudiendo identificar y ubicar aquellos ambientes o sectores con problemas que requieren una rápida atención. Los sensores a tiempo real permitirán relacionar aspectos del cultivo o del suelo con cuestiones de gestión. En lo referido a los ajustes de gestión no solo se tiene en cuenta el ajuste en la dosis o mezclas de fertilizantes, sino a todos los aspectos agronómicos que pueden tener repercusión en el resultado económico de los cultivos.

En Estados Unidos, en algunas universidades como la de Colorado, ya se imparten estudios para poder desarrollarte como consultor en las tecnologías de la información aplicadas a la agricultura. Esta carrera se llama “*Aplied Information Technology in Agriculture*”, y en ella se instruye a los alumnos para que utilicen las nuevas prácticas de la AP en la toma de decisiones con respecto al suelo, a los cultivos, a los sistemas de gestión y también para encontrar nuevas oportunidades tecnológicas en el mercado.

(*Kreimer, P. 2003.*)

2.3.3. LAS EMPRESAS PROVEEDORAS DE INSUMOS

Estas empresas proveedoras dispondrán de una tecnología que les permitirá ofrecer recomendaciones a los productores sobre el uso de sus productos ajustado para los ambientes más representativos de cada zona, como forma de aprovechar al máximo el potencial de sus insumos y ofrecer un mejor servicio.

(*Kreimer, P. 2003.*)

2.3.4. LAS EMPRESAS PROVEEDORAS DE EQUIPAMIENTO

Las empresas dedicadas al equipamiento deberán estar muy cerca del productor y de su asesor para poder detectar sus necesidades y poder responder a las mismas.

(Kreimer, P. 2003.)

2.4. HERRAMIENTAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Las herramientas en la Agricultura de Precisión podrían ser las siguientes:

- Sistema de localización GPS y DGPS.
- Captadores de rendimiento (sobre planta, suelo, malas hierbas y medio).
- Otros captadores de adquisición de información.
- Cartografías de contenido de elementos minerales.
- Fotos aéreas de satélites.
- Sistemas de información geográfica (SIG).
- Modelos de ayuda a la toma de decisiones.
- Material capaz de modular la dosis en continuo.

2.4.1 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

➤ **Sistema de posicionamiento global (GPS).**

Es conocido el uso del GPS para auxilio de la dirección de máquinas agrícolas en el momento de la distribución de insumos en área (dirección con auxilio de barras de luces), o incluso en la completa automatización de esta operación (pilotos automáticos). Estos sistemas han permitido una mayor eficiencia en dicha distribución, ya que pueden evitar superposición o falla de bandas tratadas. Otra ventaja es la posibilidad de trabajar de noche,

lo cual aumenta la capacidad operacional de las máquinas y permite realizar aplicaciones de insumos en horas técnicamente más adecuadas.



Figura. 2.1. Uso del GPS en la agricultura de precisión. **Fuente.** (Fernandez, 2017)

➤ **Monitoreo de rendimiento y mapeo.**

Es una representación espacial de datos de rendimiento registrados durante la cosecha de un cultivo. Comúnmente la representación espacial se realiza utilizando un formato vectorial de puntos y coordenadas (x, y, z) asociadas a un sistema de proyección (latitud y longitud, WGS84) que referencia geográficamente los puntos.

La cantidad de información que se obtiene en cada punto del mapa de rendimiento depende del monitor que se utilice; estos pueden ser: altura de cabezal, ancho de cosecha, distancia recorrida, velocidad de avance, flujo de granos, humedad de granos, pérdidas de cosecha, entre otros.

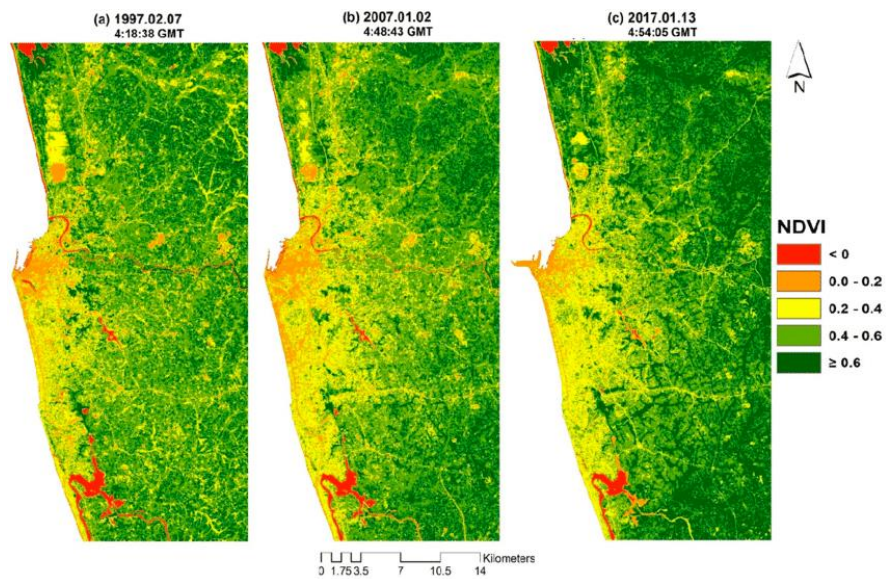


Figura. 2.2. Seguimiento de mapas NDVI. **Fuente.** (Gómez López, s.f.)

El monitor de rendimiento también estima y graba el contenido de humedad y la cantidad de grano de cada sitio. El rendimiento, ya sea base “seca” o base “húmeda”, se calcula como la cantidad de grano de cada sitio dividida por el área de cosecha en particular.

➤ **Percepción remota.**

Es la ciencia y el arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos con un aparato (sensor remoto) que no está en contacto físico con ese objeto, área o fenómeno bajo estudio. El sensor remoto puede estar a pocos centímetros o a varios kilómetros, dependiendo del sistema usado y de la información deseada. Ejemplo: sensor de nitrógeno, fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.

➤ **Dosis variable de fertilizantes y densidad de siembra variable.**

Permite ajustar la dosis de insumos de acuerdo con el mapa de aplicación realizado en un GIS. Requiere del uso de un GPS para conocer la ubicación

del equipo en el lote. Una computadora integra la información del mapa de aplicación y del GPS enviando la información al controlador del equipo para variar la dosis recomendada sobre la marcha. Si no se dispone de un sistema de dosis variable automático, se presenta como alternativa la dosis variable manual o la paralelización de zonas de manejo.

- **Banderillero satelital.** Es un sistema de guía por GPS usado para que el equipamiento siga una trayectoria determinada en el mapa de aplicación. Se utiliza principalmente en pulverizadoras autopropulsadas y en aviones aplicadores.

Antes de contar con monitores de rendimiento y GPS se tomaban los lotes como una unidad productiva y así se obtenían datos promedio de productividad y de características físicas y químicas del suelo. Pero en los datos promedio del lote se englobaba la variabilidad que existía tanto en potenciales de suelo como de rendimiento. En realidad, existe gran variabilidad de propiedades de suelo y por ende de rendimiento, la que se pone de manifiesto a través de los mapas que son la representación gráfica del rendimiento y su distribución espacial dentro del lote.

2.4.2. CARTOGRAFÍA

Una vez entendida la funcionalidad del GPS, se pueden imaginar diversas aplicaciones en diferentes sectores de las actividades económicas. En la agricultura, se pueden destacar las siguientes:

- **Relevamiento planialtimétrico:** Debido a su facilidad operacional, el GPS ha sido bastante utilizado para delimitar áreas en el establecimiento rural. Incluso los aparatos menos precisos, como los de navegación, son utilizados para ese fin. Sin embargo, debido a los errores que presentan este tipo de aparatos, los mapas planialtimétricos que realizan deben

utilizarse en forma restringida a decisiones administrativas de la propiedad rural como, por ejemplo, estimar la cantidad de insumos a ser transportados para una determinada área. Para su uso fuera del contexto administrativo de la propiedad rural, se deben utilizar aparatos de mayor precisión que sigan las legislaciones pertinentes de cada país.

- Dirección de máquinas agrícolas: Es conocido el uso del GPS para auxilio de la dirección de máquinas agrícolas en el momento de la distribución de insumos en área (dirección con auxilio de barras de luces), o incluso en la completa automatización de esta operación (pilotos automáticos). Estos sistemas han permitido una mayor eficiencia en dicha distribución, ya que pueden evitar superposición o falla de bandas tratadas. Otra ventaja es la posibilidad de trabajar de noche, lo cual aumenta la capacidad operacional de las máquinas y permite realizar aplicaciones de insumos en horas técnicamente más adecuadas.

- Georreferenciamiento de parámetros de suelo y planta: Con la disponibilidad del uso del GPS a partir de la década de 1990, se inició una revolución en el manejo de la producción agrícola, comparando la eficiencia del uso de los insumos en las prácticas de manejo por el rendimiento promedio con el manejo por ambiente (sitio-específico). De esta manera, se proponen diversas técnicas donde se realizan intervenciones en la agricultura, basadas en el georreferenciamiento de las propiedades físico-químicas del suelo, de la nutrición de la planta y de ataques de plagas y enfermedades.

2.4.3. FOTOGRAFÍAS AERIAS DE SATÉLITE

Archivos con extensiones GeoTIFF, IMG, JPEG, JPEG2000, MrSID (formato mucho más comprimido leído por diversos programas SIG), DEM y SDTS son ejemplos de archivos digitales en formato matricial.

El píxel es la menor unidad física de representación de la información en una pantalla, en un proyector, o en un televisor digital de pantalla plana, *smartphone* o *tablet*. En cualquier archivo matricial o raster dataset, como imágenes satelitales, fotografías aéreas digitalizadas, mapas escaneados a partir del papel y fotografías digitales comunes de personas, objetos o paisajes, el píxel puede ser considerado la menor celda de direccionamiento de coordenadas geográficas y de un atributo, como los valores de reflectancia de una imagen satelital, las clases de suelo en un mapa temático digital, o los colores de una fotografía digital. El tamaño del píxel define la resolución espacial y la escala de mejor visualización de una imagen digital, como, por ejemplo, 90 m en un archivo SRTM (escala de 1:340.200), 30 m en una imagen de satélite Landsat (escala de 1:113.400), 10 m en una imagen de satélite SPOT (escala de 1:37.800), o 1 m en una imagen de satélite IKONOS (escala de 1:3.780). Cuanto mayor el tamaño del píxel, menor la resolución espacial o el nivel de nitidez y detalle de la información representada.

En términos comparativos, cabe mencionar que cada tipo de formato presenta ventajas y desventajas. En general, los archivos vectoriales son fácilmente manejados por el procesador de las computadoras, principalmente porque ocupan poco espacio en la memoria durante la realización de los cálculos y ocupan poco espacio en el disco duro (HD por su sigla en inglés) para su grabado. Además, la nitidez es independiente del zoom aplicado en el monitor de la computadora, porque al aumentar o disminuir el zoom, un punto siempre continúa siendo un punto y una línea continua siendo una línea. Por otro lado, los archivos matriciales exigen mayor procesamiento por el hecho de que la representación de la información está asociada a una matriz cuadrada o rectangular de píxeles alrededor

del trazo en sí, o sea, incluso píxeles que poseen valor 0 (cero) o valor inexistente (*missing value*) forman parte del archivo y exigen tiempo de procesamiento, ocupan memoria y necesitan espacio en el disco duro. Además, la visualización está comprometida por el zoom aplicado en la pantalla. En el caso de archivos vectoriales con gran cantidad de datos, el tamaño de los archivos y el tiempo de procesamiento pueden exceder significativamente el tiempo necesario para la realización de cálculos, al comparar con el tiempo necesario para realizar las mismas operaciones si el mapa estuviese en formato matricial.

Los programas de SIG deben ser capaces de convertir archivos de formato vectorial para matricial y viceversa. Siempre es preferible realizar este proceso en el sentido vectorial-matricial y no en el sentido matricial-vectorial, porque en este último caso, generalmente, pueden ocurrir pérdidas de datos ya que, en el momento de convertir un punto para un píxel, por menor que sea el tamaño del píxel resultante, se pierde una característica puntual. Lo mismo ocurre con datos anteriormente representados por líneas finas. Considerando como ejemplo un mapa de líneas en que las líneas representan arroyos con un ancho de 3 m; al convertir una línea vectorial para formato matricial con píxel de 5 m de lado, por ejemplo, la línea que representa el arroyo pasará a tener el mismo ancho correspondiente al tamaño del píxel, o sea, 5 m de ancho, lo que no corresponde a la realidad. Diversos programas de SIG trabajan con los dos formatos de archivos.

2.4.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Es un programa de computación que puede recolectar, clasificar, mapear, graficar, almacenar, analizar y mostrar datos de producción con una referencia espacial (coordenadas: latitud y longitud). Es un sistema de “información” porque permite organizar los datos para que sea posible analizarlos, evaluarlos y tomar

decisiones. Es el medio para transformar los datos en información útil para la planificación y la administración de los recursos.

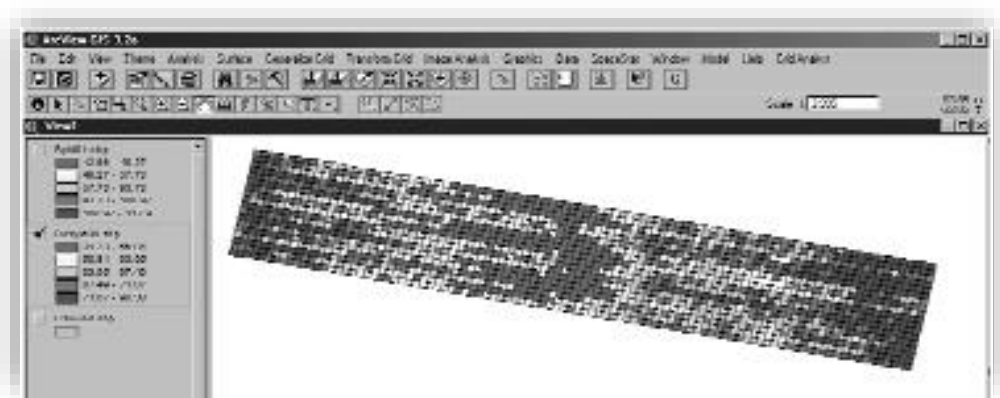


Figura. 2.3. Sistemas de información geográfica. **Fuente.** (Gómez López, s.f.)

2.5. CUADRO COMPARATIVO AGRICULTURA DE TEMPORAL/AGRICULTURA PRECISIÓN

Agricultura Tradicional	Agricultura de Precisión
<i>APLICACIÓN DE PESTICIDAS</i>	
<p>Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares.</p>	<p>Gracias al tratamiento de imágenes aéreas, junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, puede elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescribir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según</p>

<p>Empleo de banderas humanas para señalar a los aeroplanos donde aplicar los pesticidas.</p>	<p>sus necesidades.</p> <p>Empleo de GPS para indicar a los aeroplanos donde descargar los pesticidas, y en qué cantidad, gracias a los mapas previamente elaborados.</p>
---	---

APLICACIÓN DE ABONOS

<p>La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno: al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media).</p>	<p>Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Empleo de DGPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. · Empleo de fotografías aéreas. Estas se digitalizan, georeferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. DGPS se encargará posteriormente de dar cada coordenada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar.
---	--

<i>MAPAS DE RENDIMIENTO</i>	
<p>Solo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo.</p>	<p>Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.</p>
<p>Decidir si una zona del terreno produce por encima de los costos es una labor arriesgada.</p>	<p>Las técnicas de variabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costes variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de que zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos.</p>

2.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA CULTIVOS EN TIEMPO REAL

2.6.1. MÉTODOS PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Las nuevas tecnologías, ligadas con la agricultura de precisión, están diseñadas para comportarse como visión suplementaria (captadores instalados sobre los equipos o sobre los satélites), encargadas de observar los cultivos y generar información para la elaboración de las bases de datos, herramientas imprescindibles para ayudar en la toma de decisiones en el sistema productivo. Además, esta tecnología actúa como una memoria suplementaria para el almacenamiento y análisis (Sistemas de Información Geográfica) de la masa de información generada por los captadores.

La utilización de captadores, en su función principal de multiplicadores de los ojos del agricultor, debe suponer un sistema de adquisición de información intrapredial de forma exhaustiva, sin intervención humana y al menor costo. La información (cualitativa o cuantitativa) generada por los captadores puede hacer referencia a:

- Planta
- Suelo
- Enfermedades
- Clima

El principal objetivo de la actividad agrícola es la producción final, los primeros captadores que aparecieron en el mercado fueron sistemas capaces de determinar las variaciones de rendimiento en el interior de la parcela.

En este contexto, para enfrentar esos nuevos desafíos, se necesitan diversas tecnologías que entreguen información desde el suelo, la planta y el ambiente para detectar y cuantificar la variabilidad natural e inducida de los huertos, para así poder estabilizar y mejorar los rendimientos y la calidad de los cultivos.

Para ello se explicarán los diversos equipos integradores en la cadena de producción y su importancia de cada uno de ellos.

Medición de la conductividad eléctrica

La conductibilidad eléctrica (CE) de los suelos puede definirse como la aptitud de éstos para transmitir la corriente eléctrica. Múltiples factores contribuyen a la variabilidad de la CE, tales como: los que afectan la conectividad de agua en el suelo, la agregación del suelo (agentes cementantes como arcillas, materia

orgánica y estructura del suelo), electrolitos en la solución del agua (salinidad, iones, contenido de humedad del suelo, y temperatura del suelo), y la conductividad de la fase mineral (tipo y cantidad de minerales).

Las mediciones espaciales de la CE han sido reportadas como un potencial indicador de la variación de la producción de los cultivos, causada por diferencias en el agua del suelo. En algunos casos, la CE puede ser directamente correlacionada con la propiedad física y la química del suelo como la localización de un horizonte impermeable, la textura, la salinidad, el agua, la materia orgánica, los metales, entre otros. Por ejemplo, existen sensores que miden esta CE a través del contacto directo con el suelo como VERIS 3100, EM38, etc.

Este valor puede ser usado para inferir propiedades físicas como la textura, puesto que la CE aumenta con el aumento en el contenido de arcilla. Los resultados de esta medición no son absolutos ya que la CE varía, además, con el contenido de agua, las sales disueltas y la temperatura del suelo. Los datos obtenidos a partir de la medición de CE son útiles para el diseño de sistemas de riego y orientar el muestreo de suelos para análisis físico y químico.

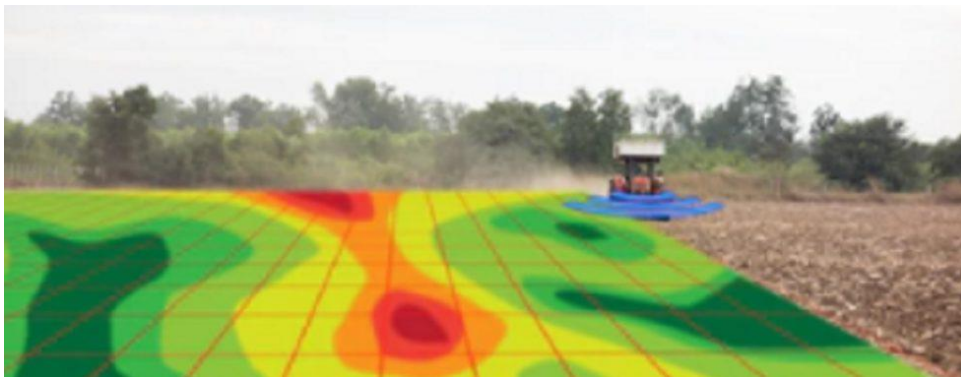


Figura 2.1. Medición de conductividad eléctrica. **Fuente.** (Cropaia, 2020)

Mediciones de compactación espacial de suelo

La compactación excesiva es probablemente más extensiva de lo que se piensa por el incremento en el uso de la labranza pesada y cosechadoras pesadas y también por el uso intensivo del suelo. Las áreas de suelos con capas cementadas (proceso natural) y bien desarrolladas se pueden delimitar utilizando los estudios de suelos de escala regional municipal, sin embargo, el estudio de la distribución de los suelos altamente susceptibles de compactación o al sellamiento (inducido por el hombre) con fines de manejo y recuperación, requiere de estudios detallados y ultra detallados y el empleo de otros métodos e índices para su evaluación ya que estos problemas no son predecibles a través de las Unidades Pedológicas de Suelos. Esto permitirá armonizar las cualidades del suelo (posibilidades de penetración y circulación de fluidos, retención de humedad, capacidad de enraizamiento, susceptibilidad a la degradación física y química, etc.) y prácticas agronómicas con los requerimientos del cultivo en función de su variación en el campo para maximizar el margen de ganancias evitando los daños excesivos. Para ello hay novedosos equipos que utilizan diversas técnicas de medición en las cuales se detallan a continuación.

Equipo de medición mediante resistencia mecánica

El sensor está conformado por un transductor octagonal de anillos extendidos (EORT), acoplado a un órgano de trabajo del tipo escarificador alado. La resistencia o impedancia mecánica del suelo es medida por el transductor, para posteriormente correlacionarla con su estado de densificación o compactación.

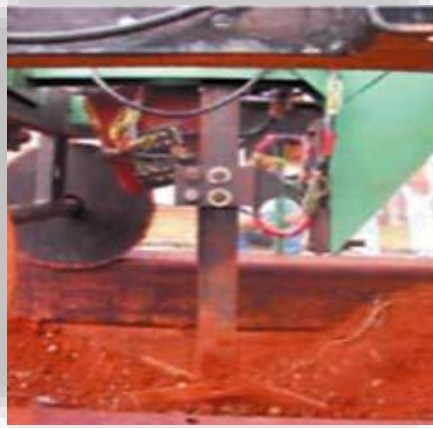


Figura 2.2.- Sensor de compactación. **Fuente.** Centro de Investigaciones Agropecuarias (CEMA), de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH).

Fundamentación del sensor

El principio de funcionamiento del sensor a desarrollar se basa en el sensoramiento de las tensiones del suelo, es decir se clasifica como un sensor de fuerzas verticales y horizontales. El sensor está conformado por un órgano de trabajo del tipo escarificador alado, y un transductor octagonal de anillos extendidos.

Al interactuar la reja y la parte frontal del brazo o soporte del sensor con el suelo, este último acciona el transductor octagonal deformándolo de forma tal que se puede determinar mediante la extensometría, las fuerzas o resistencia que opone el suelo al ser cortado, tanto en el eje vertical como horizontal, generando mapas de compactación que son muy útiles para mejorar la condición del desarrollo de los cultivos.

Medición espacial de materia orgánica de suelos

Actualmente la empresa Veris, generó equipos para determinar en forma no destructiva la Materia Orgánica (MO) del suelo, generando planos espaciales de esta información, el equipo es denominado OpticMapper, recoge datos de alta calidad, rápida y fácil de procesar.

El Veris OpticMapper tiene un sensor óptico de doble longitud de onda montada dentro de una fila plantadora, configurada especialmente-por debajo de los residuos de cultivos y la superficie del suelo seco.

Las mediciones del suelo se adquieren a través de una ventana de zafiro en la parte inferior del pie de equipo, en el surco. Las lecturas se recogen una vez por segundo y conectados a su ubicación geográfica por un GPS. La profundidad de medición es ajustada entre 1 a 3 pulgadas (2.5 a 7.6 cm).



Figura 2.4.- Sensor óptico OpticMapper. **Fuente.** (Peralta, 2013)

Mediciones nutricionales

La absorción de nutrientes de cada cultivo responde a una serie de factores dentro de los cuales se incluyen, la producción total de materia seca (crecimiento anual), fenología del crecimiento anual, disponibilidad de nutrientes en el suelo (fracción soluble del suelo), condiciones de manejo que favorecen la sincronía de crecimiento con la sincronía de absorción de los elementos necesarios en las cantidades adecuadas para evitar desequilibrios y problemas fisiológicos y/o de calidad del producto cosechado.

Los métodos tradicionales utilizan muestreos dirigidos, que son certeros, pero ocupan mucho tiempo y recursos para obtener la información, a veces esa información llega a destiempo para cumplir el objetivo que es entregar información oportuna.

El interés de evaluar la evolución de nutrientes en el suelo permite conocer por balance de masas la relación del agua en el suelo (acumulación máxima de agua en el suelo-acumulación parcial de agua en cada momento de evaluación) con la concentración de nutrientes (relación de masa de nutrientes en volumen de agua) en cada perfil, los cambios nutricionales generados por la extracción de la planta (extracción fenológica diferencial) y por los mecanismos de pérdida (principalmente de lixiviación determinadas con extractómetros de solución de suelo). Para ello se instalan extractómetros a diferentes profundidades según el patrón de localización de raíces en cada zona de evaluación. Así se puede determinar en forma más aproximada los momentos en los cuales es necesario aumentar o disminuir la cantidad de aplicación de nutrientes en función del objetivo de crecimiento que se busca en cada periodo fenológico, además se pueden analizar en forma espacial generándose mapas espaciales de deficiencia de cada elemento faltante.

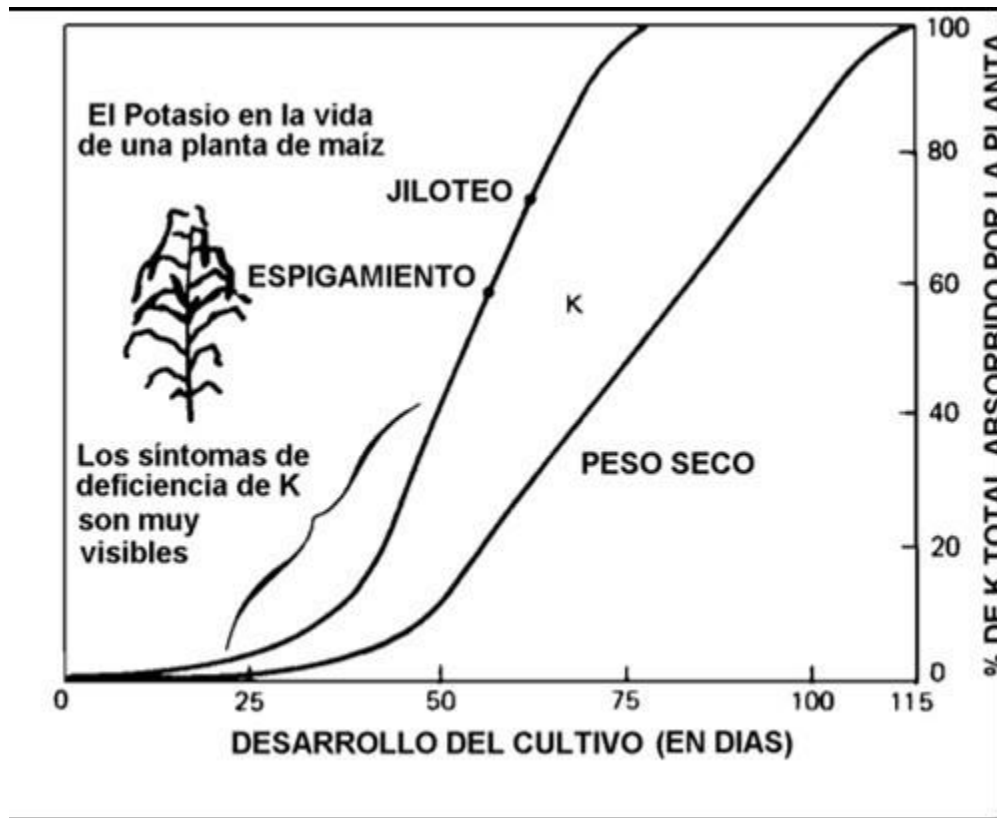


Figura 2.5.- Absorción de nutrientes. Fuente. (Fertilab, 2017)

A través de este sistema, se obtienen planos espaciales de elementos que puedan estar en déficit o en exceso, ejemplo de ello se demuestra en la figura anterior.

Sistema de medición para pH de Suelo

Para la determinación del pH se emplean sensores electroquímicos. Los sensores son pequeños dispositivos que como resultado de una interacción química, el sensor transforma dicha información química o bioquímica de tipo cuantitativo, entrega una señal medible y útil analíticamente.

La tecnología de sensores electroquímicos es especialmente apropiada para abordar de un modo económico, rápido y fiable su interpretación.

Ejemplo de ello es el equipo denominado MANAGER (MSP), de la empresa Veris.

Balance hídrico del suelo

La humedad del suelo se encuentra siempre en constantes cambios producidos por diversos factores. Por ejemplo, en un mismo campo con igual suelo e influencia de las condiciones atmosféricas, la humedad del suelo es desigual. Esta diferencia está determinada por el consumo de agua del suelo debido a la evapotranspiración de las plantas.

Existen distintos procedimientos para determinar el contenido de agua en el suelo y poder relacionarlo con las necesidades de agua de las plantas y el riego, que han ido evolucionando al compás del desarrollo científico y tecnológico. En tal sentido existen diversos equipos de determinación de humedad de suelo en tiempo real, en este caso se comentarán los sensores de tipo: Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia (FDR) y Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR).

2.6.2. SENSORES

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.

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 (*figura 2.6*).

(Kreimer, P. 2003.)

Los sensores necesarios para el monitor de rendimiento Instantáneo o de tiempo real. Estos monitores miden y graban los rendimientos sobre la marcha.

Los datos necesarios para que trabaje un monitor son los siguientes:

1. Flujo de grano por unidad de tiempo.
2. Humedad del grano por unidad de tiempo
3. Velocidad de avance de la cosechadora.
4. Ancho de corte del cabezal.
5. Sensores necesarios para el control del rendimiento:
6. Sensor de flujo de grano.
7. Sensor de humedad del grano.
8. Sensor de velocidad de avance.
9. Switch de posición del cabezal.
10. Consola del monitor.
11. Receptor DGPS.

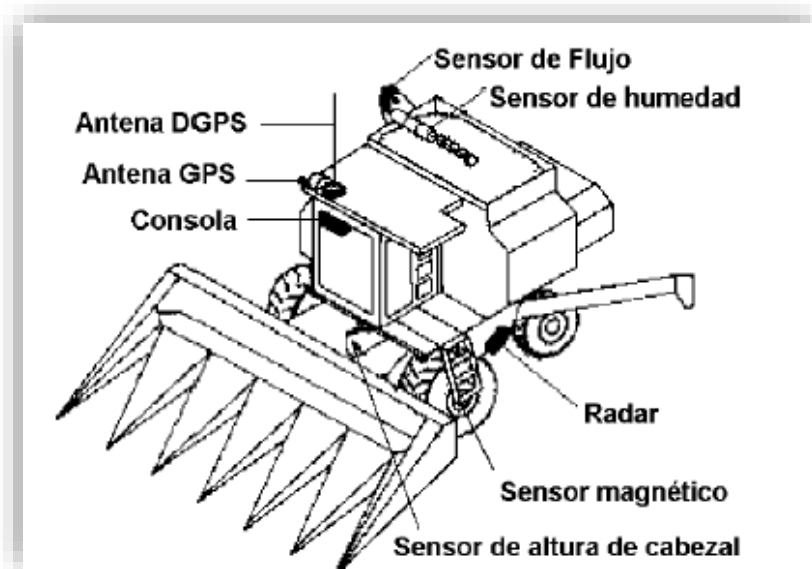
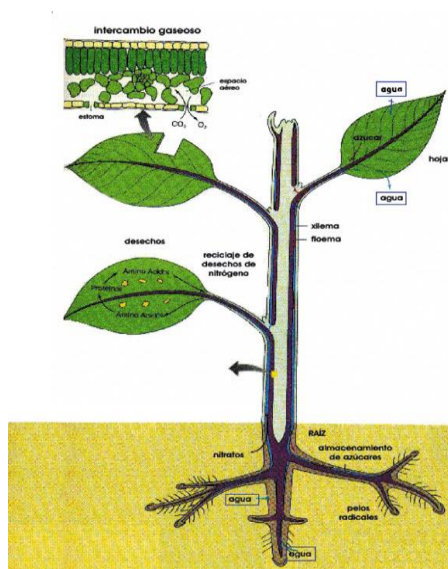


Figura 2.6.- Posición de sensores en cosechadora. **Fuente.** (INTA, 2008)

2.6.3. OTRAS TECNOLOGÍAS



Sistema de evaluación hídrica mediante termografía infrarroja

El potencial hídrico foliar es una variable comúnmente utilizada para evaluar el estado hídrico de las plantas. El método estándar para realizar esta medición es el de la cámara de presión o Scholander que brinda valores precisos del YL, pero tiene la desventaja de ser destructivo y lento. Por esto resulta poco práctico a la hora de medir grandes superficies como se requiere en la

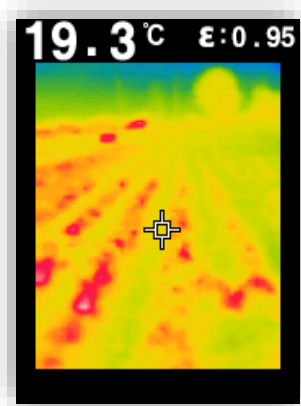
agricultura de precisión. **Fuente.** (Martín Ph. D, 2017).

Dada la variabilidad espacial que presentan los cultivos, la estimación remota del potencial hídrico se convierte en una herramienta fundamental para diseñar estrategias de riego sitios-específicos, importantes para optimizar el uso del agua de riego para la obtención de la producción y la calidad.

Fundamento teórico de la aplicación de esta tecnología

Como indicador del estatus hídrico derivado de la obtención de imágenes termográficas, se utiliza el “índice de estrés hídrico de cultivo” o CWSI, según la relación propuesta por Jones (1999), siendo expresado como:

$$CWSI = \frac{(T_{cr} - T_{cm})}{(T_{cx} - T_{cm})}$$



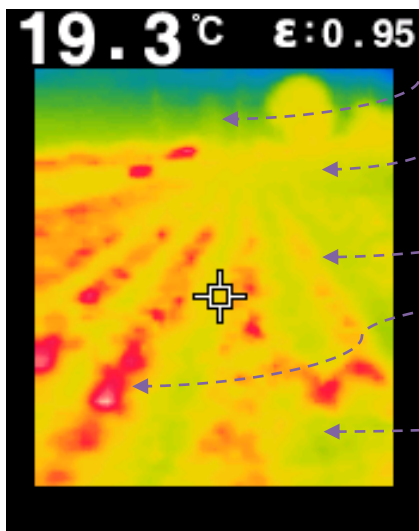
Donde, para una particular condición de déficit de presión de vapor,

Temperatura foliar o de canopia promedio.

Temperatura mínima de canopia para el cultivo (no estresado).

Temperatura máxima de canopia para el cultivo (estresado).

Un CWSI con un valor de 0 indica que el cultivo no presenta estrés hídrico, mientras que un CWSI de 1, significa un estrés hídrico máximo para cada cultivo.



Horizonte

Arboles

Canal (valle), energía media

Cresta o surco

Mayor concentración de energía

Gavilla

Elaboración propia (2019).



2.7. USO DE MAQUINARIA

Los agricultores y sus asesores ponen a punto el sistema de gestión de la producción de cultivos para mejorar rendimientos y ganancias, a menudo encuentran razones para cambiar la tasa de aplicación para insumos variados (semilla, fertilizante, químicos) con el fin de dar cuenta de la variabilidad del tipo de suelo y de otros factores.

La combinación de herramientas y servicios disponibles hacen posibles cambios tales como lo es la tasa variable de tecnología (VRT¹⁴), siendo ésta la parte más importante de la agricultura de precisión de sitio-específico. La aplicación VRT de algunos insumos ha sido practicada desde la década de 1920, pero la disponibilidad de GPS, GIS y el amplio rango de monitores y 14 Por sigla en inglés: variable-rate technology (VRT) controladores ha mejorado el uso de gestión en sitios-específicos.

Las tecnologías de la agricultura de precisión están ahora disponibles para agricultores y sus asesores y les brindan nuevas y excitantes posibilidades de mejorar los sistemas de gestión de producción agrícola. La gestión de nutrientes agrícolas puede usar tecnología de precisión en una variedad de maneras para medir las condiciones, las actividades de monitoreo y los resultados records de las prácticas de gestión e insumos. El uso de la tecnología se está convirtiendo en una parte importante de la agricultura y hace a los sistemas de producción agrícola más productivos, más rentables y más sostenibles.

Este capítulo resume como algunas de estas tecnologías son aplicadas en los modernos sistemas de gestión de nutrientes. De las muchas herramientas disponibles sólo una selección puede ser discutida, pero ésta sirve como ejemplo de los modos interesantes en que la tecnología está revolucionando los sistemas de producción agrícola alrededor del mundo.

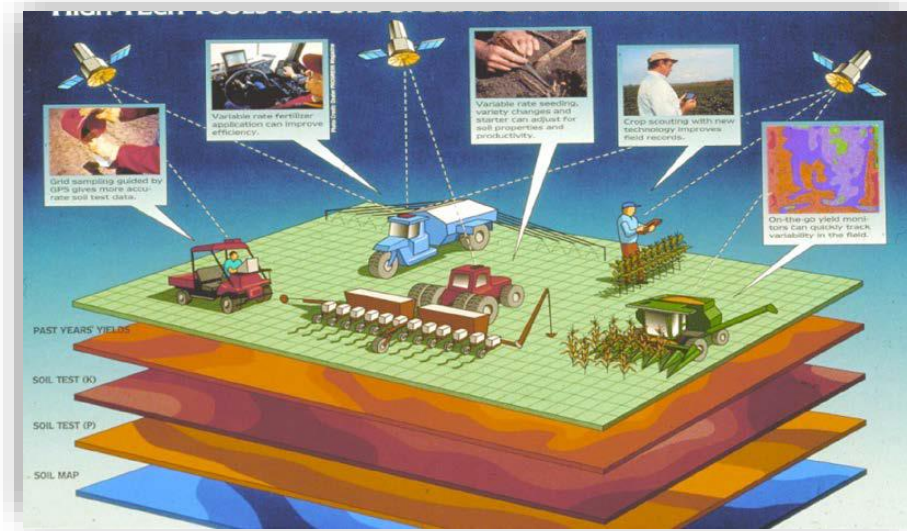


Figura 2.7.- Tecnología y maquinaria para la agricultura de precisión. Fuente. (Terry, 2020)

Sembradoras variables de alta precisión

Este tipo de sembradoras utilizan un sistema RTK de guía en la siembra y un sistema de alta precisión en la localización de la semilla, permitiendo lograr una siembra altamente precisa, útil para el uso de maquinaria de control de malezas mecanizadas que se expone más adelante en este capítulo.



Figura 2.8.- Tecnología y maquinaria para la agricultura de precisión. Fuente. (Agroptima, 2016)

Robocrop

Es un tractor robotizado con visión por computadora basado en un sistema de orientación del control de químicos en malezas, desarrollado por la empresa *Tillett and Hague Technology Ltd.*, Inglaterra. Este robot usa navegación por guiado a través de las líneas de cultivo y al detectar una mala hierba por medio de la visión artificial, éste la elimina a través de un corte realizado en forma mecánica. Este robot se comercializa como Robocrop.

Robot utilizado para la preparación del cultivo de viñedos: este robot podador desarrollado por la empresa *Vision Robotics Corporation (VRC)*, se especializa en el corte preciso y limpio de los viñedos. La clave de la robótica aplicada a viñedos, es el uso en el robot de cámaras estereoscópicas de exploración que realizan 15 fotogramas por segundo. El análisis de toda la vid y del trabajo a realizar se procesa antes de que las tijeras del robot comiencen a podar la vid. A bordo del robot, un equipo procesa y utiliza la superposición de múltiples fotos para crear un modelo 3D de la vid y, a continuación, se aplican normas de poda, que fueron programadas en el *software*, guiados por un experto. Estas normas son procesadas, para luego indicarle a los brazos robóticos hidráulicos con tijeras, la forma en que deben podar y dónde hacer los cortes.

CAPITULO III

“APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN CULTIVOS DE SAN MARTIN TEXMELUCAN, ESTADO DE PUEBLA”

3.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El predio se localiza en la localidad de Santa María Moyotzingo, Municipio de San Martín Texmelucan, Estado de Puebla, con una superficie de 2.872 h; al noreste y suroeste colinda con parcela con cultivo de alfalfa, mientras que al sureste y noroeste con una brecha que conecta los cultivos del acceso principal; es un terreno de cultivo de maíz y cuenta con riego tecnificado que es suministrado mediante un sistema de riego por toda la zona y que es distribuido de un pozo de riego que se encuentra dentro de la misma.

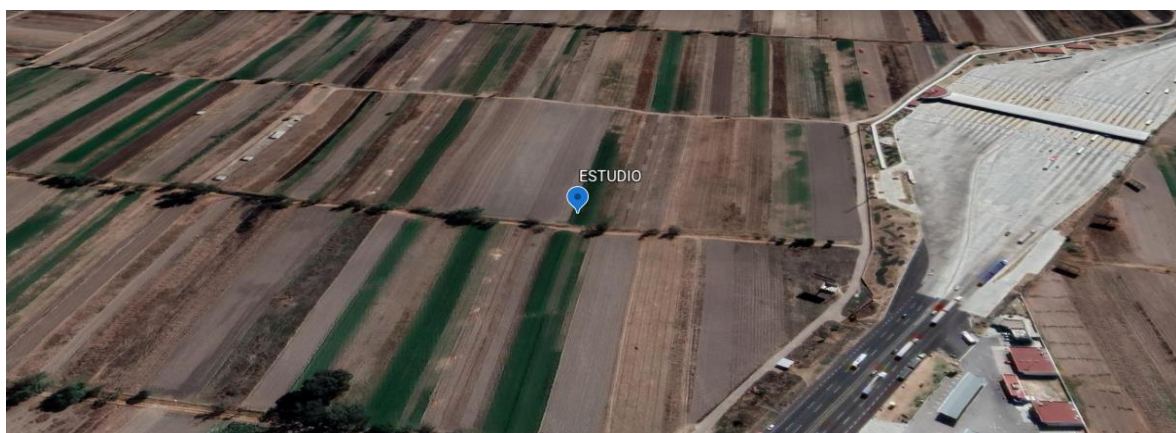


Figura 3.- Localización área de estudio. **Fuente.** Google Earth (2020).

3.2. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA ZONA

3.2.1. PRECIPITACIÓN

Precipitación es cualquier agua meteórica sobre la superficie terrestre, esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo.

En relación a su origen pueden distinguirse los siguientes tipos:

- Las ciclónicas son las aprovechadas por los frentes asociados a una borrasca y ciclón. La mayor parte del volumen de precipitación recogido en una cuenca se debe a este tipo de precipitaciones.
- La de convección se producen por el ascenso de las bolsas de aire caliente; son las tormentas de verano.
- Las precipitaciones orográficas se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa.

El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los resultados hídricos, puesto que constituyen la principal entrada de agua a una cuenca; también es fundamental en la previsión de avenidas, diseño de obras, estudios de erosión, agricultura, etc.

Intensidad de precipitación es igual a precipitación / tiempo.

Podemos cuantificar las precipitaciones caídas en un punto mediante cualquier recipiente de paredes rectas, midiendo después la lámina de agua recogida, siendo la unidad de medida el milímetro y suele expresarse en mm/hora.

Pluviómetros: un pluviómetro recoge el agua en una bureta de sección menor a la de la boca del pluviómetro, la lectura del agua recogida se efectúa una vez al día, además es importante mencionar que la altura desde el suelo debe ser a 1.5 metros de la altura sobre el suelo.

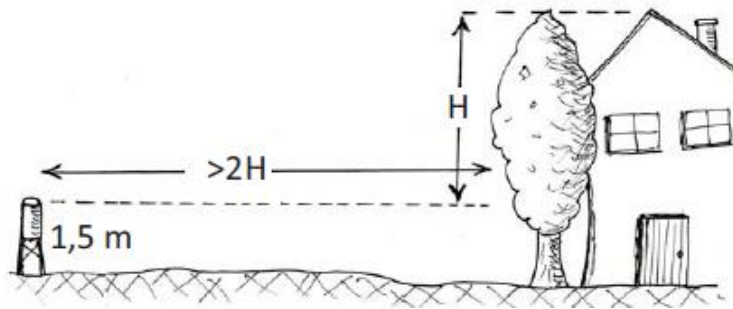


Figura 3.1.- Altura pluviómetro. **Fuente.** (Sánchez San Roman)

Pluviógrafos: Un pluviógrafo registra la evolución de la precipitación con el tiempo, bien con tinta y papel digitalmente, en algunos modelos el pluviógrafo está dotado de un flotador que hace subir una plumilla que registra gráficamente el llenado del recipiente a lo largo del tiempo.

El gráfico obtenido directamente por esta plumilla se denomina pluviograma y refleja la precipitación acumulada en función del tiempo, siendo la pendiente del gráfico la que nos permite calcular la intensidad de la precipitación en cada momento.

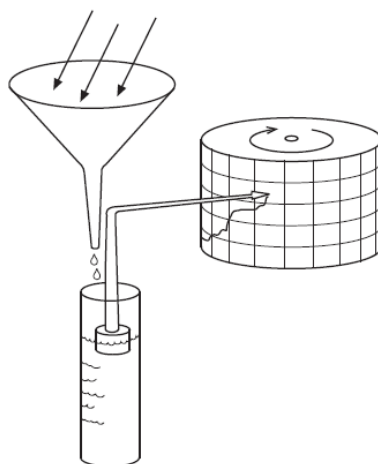


Figura 3.2.- Esquema de un pluviógrafo con flotador. **Fuente.** (Sánchez San Roman)

Redes pluviométricas: generalmente se utilizan los datos pluviométricos obtenidos por el organismo estatal o regional correspondiente al área de estudio. Una red pluviométrica debe estar diseñada adecuadamente dependiendo del relieve, densidad de la población, interés para obras hidráulicas, prevención de avenidas, así como para temas de agricultura.

Hietograma: Es un gráfico que expresa la precipitación recogida en intervalos regulares de tiempo y en ocasiones se le denomina yetograma.

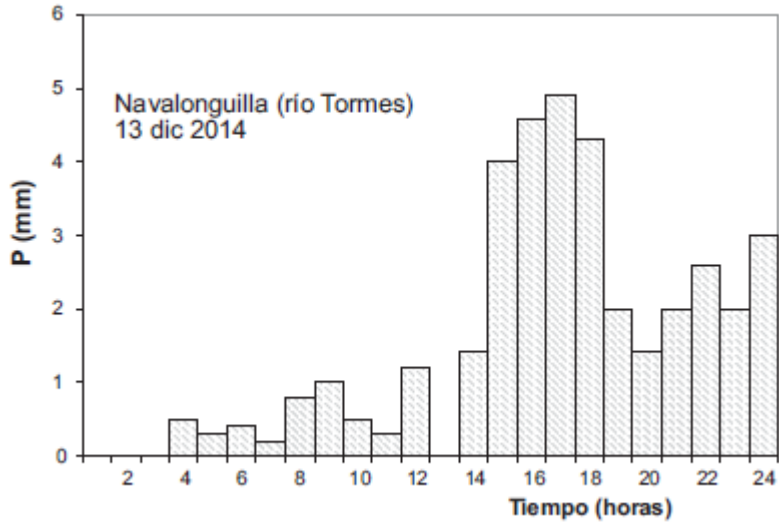


Figura 3.3.- Esquema de un hietograma. **Fuente.** (Sánchez San Roman)

CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN

Es una curva que expresa la máxima intensidad de precipitación registrada en intervalos de tiempo.

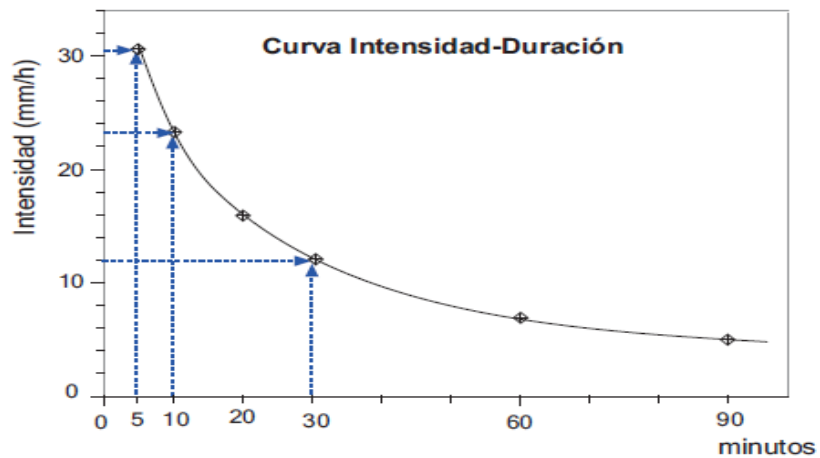


Figura 3.4. Curva intensidad - duración. **Fuente.** (Sánchez San Roman)

3.2.2. HUMEDAD

El agricultor generalmente se hace dos preguntas al desarrollar una estrategia para el manejo del riego: “¿Cuándo regar?” y “¿Cuánta agua aplicar?”. Este boletín responde a la pregunta ¿Cuándo?

Un método que se usa comúnmente para determinar cuándo regar es monitorear la disminución de agua en el suelo. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comienza a estresarse por falta de agua. Si no se aplica agua, la planta continuará haciendo uso de la poca humedad que queda hasta que finalmente utilice toda el agua disponible en el suelo y muera de sed.

Cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza lo que se llama capacidad de campo (CC), se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible o a aproximadamente 0.1 bares de tensión. La tensión es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua: a mayor retención de humedad, más alta es la tensión.

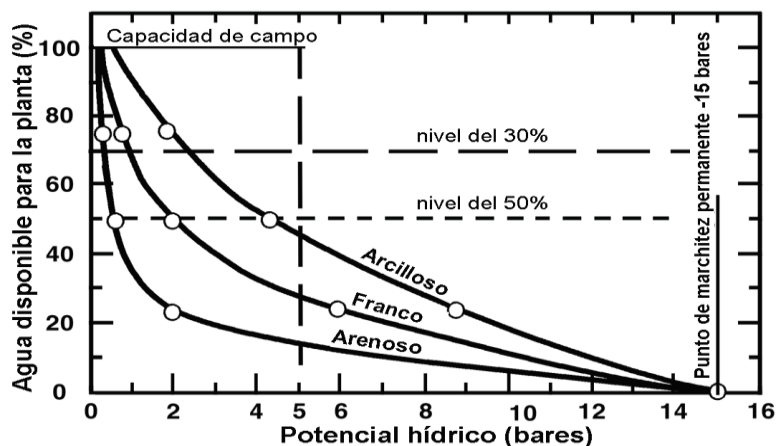


Figura 3.5. Humedad por textura. Fuente. (Martín Ph. D, 2017).

El agua disponible para la planta (ADP) es la diferencia en contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

EL MÉTODO DEL TACTO

La determinación de la humedad del suelo por medio del tacto ha sido utilizada por muchos años por investigadores y agricultores por igual. Al apretar la tierra entre el pulgar y el dedo índice o al exprimir la tierra en la palma de la mano, se puede obtener una estimación bastante aproximada de la humedad en el suelo. Toma un poco de tiempo y algo de experiencia lograr esto, pero es un método comprobado.

En el caso de suelos franco-arcillosos, a un déficit de 0.4 in./ ft, se puede hacer fácilmente una cinta de tierra al presionarla entre el dedo pulgar y el dedo índice. Puesto que el punto de marchitamiento se da a aproximadamente 1.8 in./ft., un déficit de 0.4 equivaldría a un déficit de 22%.

$$(0.4/1.8)*100=22\%$$

LA SONDA DE NEUTRONES

La sonda de neutrones se ha utilizado extensamente en trabajos de investigación para determinar la humedad del suelo. Una sonda de neutrones contiene una fuente radioactiva que envía una cierta cantidad de neutrones rápidos.

Estos neutrones rápidos son aproximadamente del tamaño de un átomo de hidrógeno, un componente esencial del agua. Cuando los neutrones rápidos

chocan contra los átomos de hidrógeno, se vuelven más lentos. Un detector dentro de la sonda mide la proporción de los neutrones rápidos que salen y de los neutrones lentos que regresan. Esta relación se usa entonces para estimar el contenido de la humedad en el suelo. Sin embargo, debido a que cada suelo tiene otras fuentes de hidrógeno que no están relacionadas con el agua, es importante calibrar la sonda para cada suelo. Para medir la humedad del suelo con una sonda de neutrones, se instala un tubo de acceso en el suelo. Entonces, la sonda (la cual contiene la fuente radioactiva y el detector) se baja hasta la profundidad deseada y, debido a que contienen material radioactivo, se necesita una licencia para operarlas.

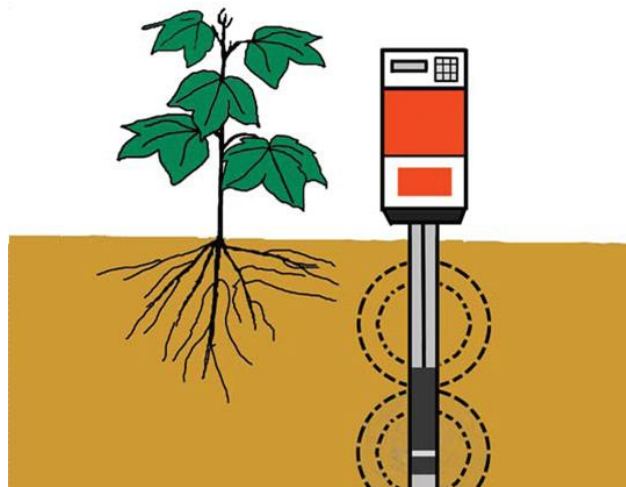


Figura 3.6. Sonda de neutrones. **Fuente.** (Martín Ph. D, 2017).

Clasificación de la Textura del Suelo

Deficiencia de humedad Pulgadas/Pie	Granular/Gruesa (arena francosa)	Moderadamente gruesa (franco arenosa)	Textura Media (franco)	Textura Fina (franco arcillosa)	Deficiencia de humedad Pulgadas/Pie
0.0D	(Capacidad de campo) eja un contorno de humedad en la mano cuando se le comprime	(Capacidad de campo) Deja un contorno de humedad en la mano. Forma una cinta corta	(Capacidad de campo) Deja un contorno de humedad en la mano. Forma una cinta de aprox. 1 pulgada	(Capacidad de campo) Deja un contorno de humedad en la mano. Forma una cinta de aprox. 2 pulgadas	0.0
0.2	Se ve húmeda	Forma una bola dura			0.2
0.4	Forma una bola débil		Forma una bola maleable. Deja manchas en los dedos cuando se le frota	Deja manchas en los dedos y forma una cinta fácilmente	0.4
0.6S	e pone ligeramente pegajosa	Forma una buena bola		Forma una cinta gruesa	0.6
0.8M	uy seca y suelta. Se desliza entre los dedos	Forma una bola débil	Forma una bola dura0	Deja manchas en los dedos	.8
1.0	Punto de Marchitamiento			Forma una buena bola	1.0
		Se pone pegajosa pero no forma una bola	Forma una buena bolaS	e puede hacer una bola pero no una cinta. Se forman terrones pequeños	
1.2			Forma una bola débil		1.2
1.4		Punto de Marchitamiento		Los terrones se desmoronan	1.4
1.6					1.6
1.8				Punto de Marchitamiento	1.8
2.0					2.0
2.2					2.2
			Punto de Marchitamiento		
2.4					2.4

Tabla. Texturas suelos. **Fuente.** (Martín Ph. D, 2017).

3.2.3. CLIMA

Puebla es una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana que se localiza en la región central de la nación, con una superficie de 34.306 Km^2 , representa el 1.7 % del territorio nacional y su capital es la ciudad de Puebla de Zaragoza y esta dividido en 217 municipios, entre ellos San Martín Texmelucan, donde se encuentra el área de interés.

La temperatura media anual en el Estado de Puebla es de 17.5° C y se presenta en los meses de abril a mayo; las temperaturas más altas se presentan en los extremos norte y sur de la entidad y las más bajas sobre las cumbres de las principales elevaciones.

Las zonas templadas oscilan entre los 12 y 18 °C ocupando el 47.47 % del territorio estatal, le siguen las zonas cálidas de 22 °C a más que ocupan el 27.92 %, las zonas semicálidas entre 18 y 22 °C que ocupan el 21.16 %, las zonas semifrías entre 5 y 12 °C que ocupan el 2.95% y finalmente las zonas frías entre los -2 y 5 °C que ocupan el 0.20 %.

La precipitación media del estado es de 1.270 mm anuales; las lluvias se presentan principalmente en verano en los meses de junio a octubre; la zona de mayor precipitación es la de Huauchinango y la de menos es ciudad Serdán.

El 60.83 % de la superficie del estado presenta clima subhúmedo, el 20.69 % clima húmedo, el 15.95 % clima semiseco y el 2.53 % presenta clima seco.

Es por ello que en términos generales los climas predominantes en el Estado de Puebla, por extensión territorial son lo que se muestran en la siguiente ilustración, en donde veremos la extensión dividida en colores que corresponden al tipo de suelo, según marca la simbología que se encuentra en la parte superior izquierda de la misma ilustración.

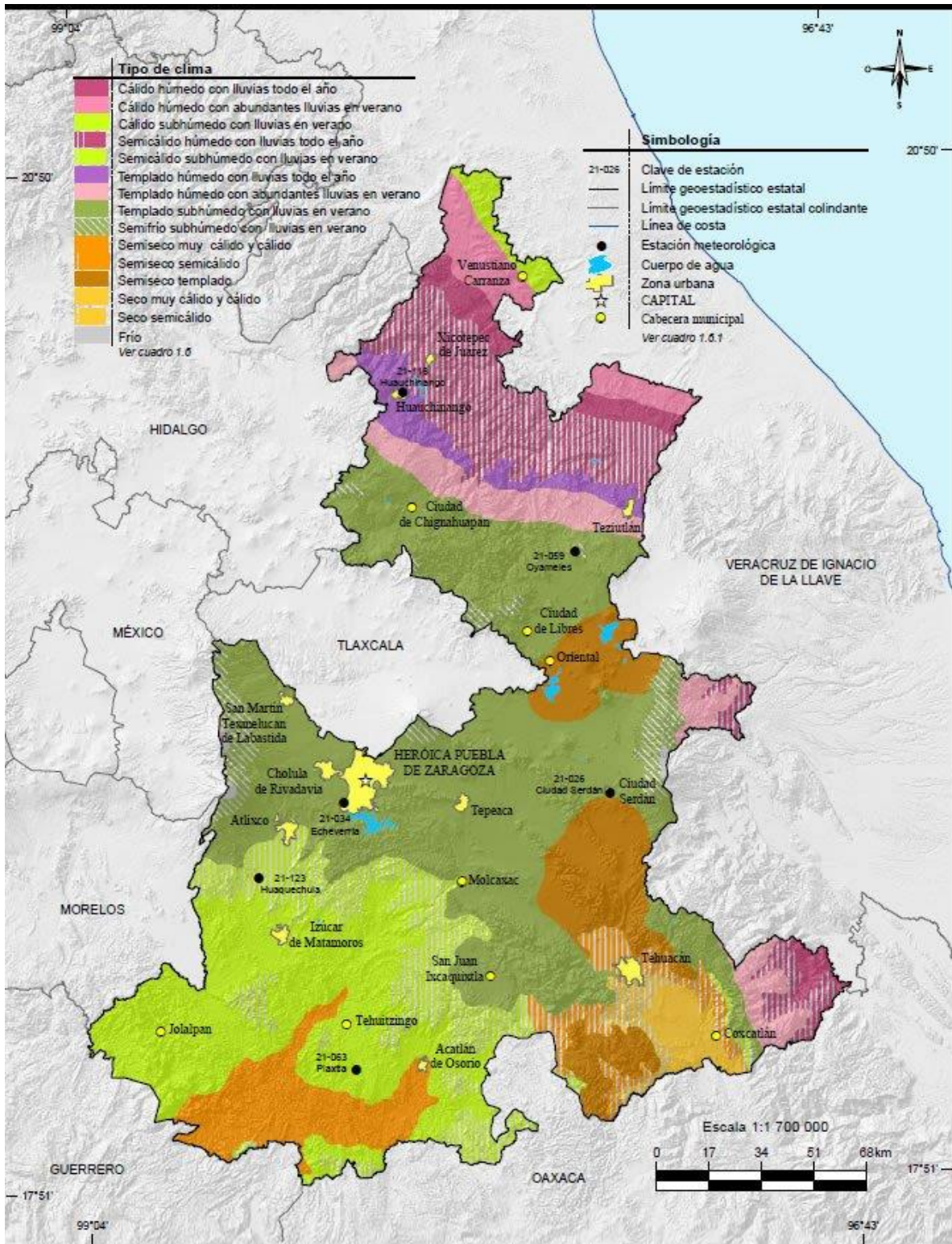


Figura 3.7.- Climas en el Estado de Puebla. Fuente. INEGI.

3.3. TOMA DE MUESTRAS DEL SUELO

El análisis de suelo es una actividad crítica si se desean obtener altos rendimientos en los cultivos. El suelo es la base para el establecimiento de cualquier proyecto agrícola. Antes de establecerse cualquier cultivo es necesario conocer sus características.

Recordemos que la planta requiere al menos de 12 nutrientes minerales que debe de obtener del suelo o de los fertilizantes.

El proceso previo al envío de muestras de suelo al laboratorio para su análisis implica los siguientes pasos:

- 1) Definir la época de muestreo,
- 2) Frecuencia de muestreo,
- 3) Separación de áreas homogéneas,
- 4) Definición de la profundidad de muestreo,
- 5) Definición del número de submuestras a tomar en cada área homogénea,
- 6) Manejo y preparación de la muestra,
- 7) Identificación de la muestra y
- 8) Elección del laboratorio y envío.

1) ÉPOCA DE MUESTREO

En general se recomienda realizar el muestreo con 1 o 2 meses de antelación al establecimiento del cultivo, o bien sea antes de la temporada de lluvias si el cultivo se va establecer en el ciclo primavera-verano o si se va a establecer en el ciclo otoño-invierno; esto da tiempo para obtener los resultados, interpretarlos,

establecer las recomendaciones y adquirir los fertilizantes y mejoradores de suelo, y así, poder implementar un programa óptimo de fertilización.

2) FRECUENCIA DE MUESTREO

La frecuencia del muestreo y de los análisis dependerá de las condiciones del suelo y de la presencia de problemas, tales como; suelos sódicos rehabilitados mediante adición de calcio, suelos ácidos a los que se ha aplicado cal y suelos salinos que se han sometido a un proceso de lavado. Debido a esta situación de uso de mejoradores, después de un tiempo se debe evaluar el efecto del tratamiento y para ello es necesario hacer otro muestreo al siguiente ciclo.

En general, se recomienda realizar análisis del suelo en el mismo terreno cada año.

3) SEPARACIÓN DE ÁREAS HOMOGÉNEAS O UNIDADES DE MUESTREO.

La separación de áreas homogéneas o unidades de muestreo es con el fin de manejar la fertilización y mejoramiento del suelo en forma independiente, hasta donde la geometría de estas unidades lo permita. En cualquier caso, es recomendable que las áreas homogéneas o lotes de muestreo no sean mayores de 20 ha para reducir la variabilidad natural del terreno.

Para definir las unidades de muestreo se toman en cuenta los siguientes factores:

1. Color del suelo.
2. Áreas con problemas de salinidad y/o sodicidad.
3. Textura
4. Pendiente del terreno

5. Condición general del cultivo anterior.
6. Historial de cultivos (cultivos anteriores y rendimientos durante varios años)
7. Uso de mejoradores tales como yeso, encalado o la adición de materia orgánica.

No es conveniente mezclar las muestras de dos lotes, aunque parezcan muy similares. Por ejemplo, en un terreno donde el cultivo anterior fue alfalfa y otro donde el cultivo anterior fue maíz, las muestras de suelo de estos lotes son diferentes, ya que sus niveles de extracción y/o aporte de nutrientes fueron distintos y por lo tanto no conviene mezclarlas.

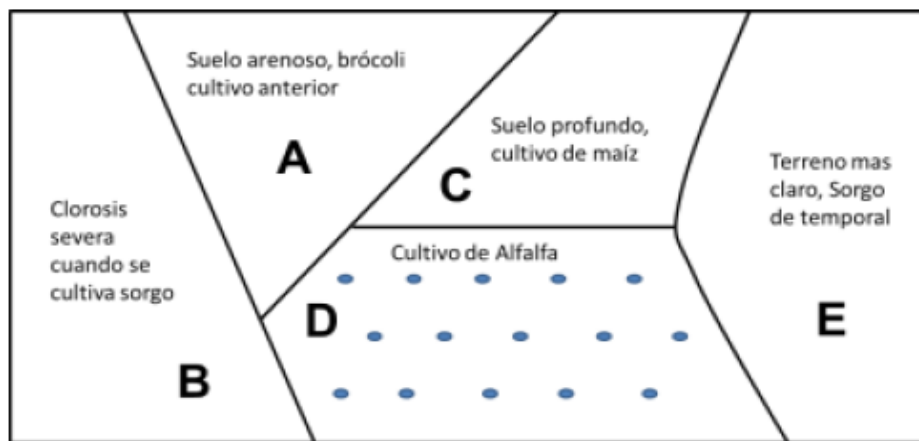


Figura 3.8. Separación de predios a muestrear por características propias del terreno. **Fuente.** (Fertilab)

4) PROFUNDIDAD DE MUESTREO

Por razones económicas, los usuarios por lo general deciden hacer un muestreo a una profundidad de 0-30 cm (capa arable). Sin embargo, para planear el mejoramiento del suelo en el largo plazo, es de suma importancia conocer las condiciones del subsuelo.

En la capa superficial el contenido de materia orgánica es mayor que en el subsuelo, y en este estrato, la extracción de nutrientes es mayor, por lo que es el que preferentemente se muestrea.

En la agricultura de riego, la mayor parte de la actividad radical ocurre en el estrato 0 a 30 cm, por lo que este estrato es el más importante, sobre todo en cultivos de raíz superficial, como la mayoría de las hortalizas. En terrenos establecidos con frutales se recolectan muestras cada 30 cm hasta llegar a la profundidad de 90 cm.

En suelos en los que se registran problemas recurrentes de bajos rendimientos, se recomienda muestrear también en el estrato de 30 a 60 cm, y cuando se trata de medir la salinidad se debe muestrear el estrato de 60 a 90 cm. En la muestra no se deben incluir residuos orgánicos que aun estén en proceso de mineralización.

5) INTENSIDAD DE MUESTREO

Para una determinada área de muestreo, no es recomendable establecer empíricamente un número de submuestras a retirar del suelo para conformar la muestra completa que será enviada al laboratorio.

Es importante mencionar que el análisis en una muestra representada por una sola submuestra no permite diagnosticar la fertilidad del suelo, sino por el contrario, genera una confusión mayor al momento de interpretar y emitir recomendaciones. Experimentalmente se ha determinado que 40 submuestras proporcionan la máxima precisión práctica.

Para fines de diagnóstico se puede reducir el número de submuestras por muestra compuesta entre 15 a 25. Tampoco tome muestras de un solo sitio del terreno.

6) RECOLECCIÓN DE LAS SUBMUESTRAS

La recolección de las submuestras se recomienda realizarla con una barrena, de preferencia de acero inoxidable, con la cual se extraen pequeñas cantidades de suelo (misma profundidad y espesor) para facilitar la formación de la muestra compuesta.

Si no se cuenta con la barrena de muestreo, se puede realizar con pala recta, como se indica en la *Figura 3.9*, siguiendo las recomendaciones mencionadas. Cuando se toman las submuestras con pala, no se pueden conservar algunos agregados (terrones) útiles para algunas determinaciones físicas, como densidad aparente y estructura.

La barrena permite un muestreo más rápido, económico, sistemático y en ocasiones más homogéneo. Además, la extracción de muestras del estrato de 30 a 60 cm es más fácil. En cualquier caso, deberán tomarse precauciones de no contaminar el estrato de 30 a 60 cm con suelo proveniente del estrato de 0 a 30 cm, cuando se decide muestrear el subsuelo.

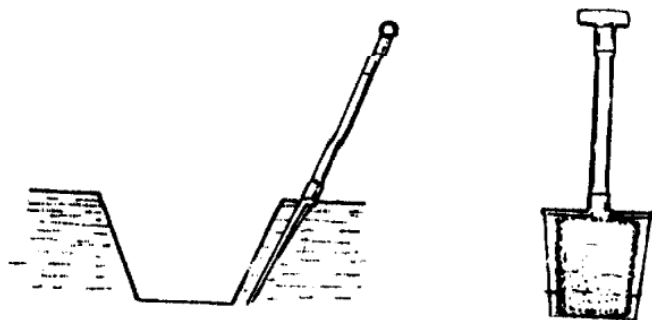


Figura 3.9.- Procedimiento de toma de muestras con pala recta. **Fuente.** (Fertilab)

Se recomienda no tomar muestras en sitios cercanos a las orillas del predio, donde es común que se acumulen cantidades excesivas de fertilizante debido a las vueltas del tractor. Las muestras se deben tomar en sitios alejados al menos 20 m de las orillas, de hileras de árboles, o de cercas. Las submuestras normalmente se depositan en una cubeta de plástico en la que se marca la profundidad de muestreo cuando se toman muestras en más de un estrato, la toma de las submuestras es recomendable realizarlas como en la *Figura 3.10*.

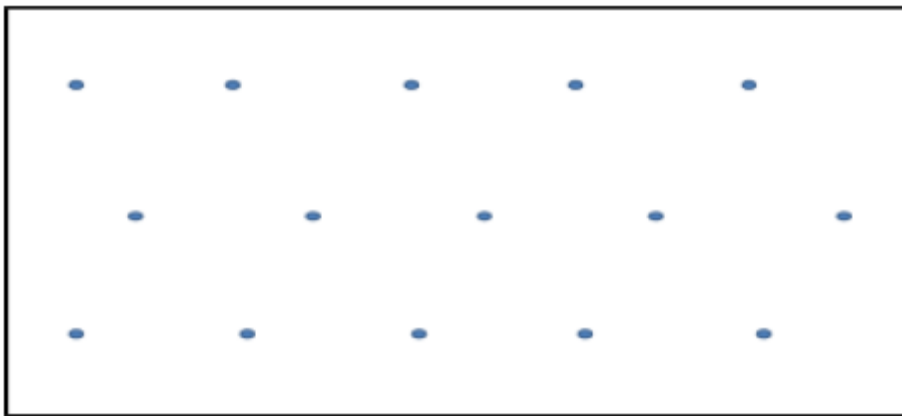


Figura 3.10.- Toma de las muestras. **Fuente.** (Fertilab)

3.4. USO Y PROCESAMIENTO PARA CÁLCULO DE ÍNDICE DE VEGETACIÓN (NDVI)

Para generar índices de vegetación tales como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), que es un indicador de biomasa fotosintéticamente activa o, un cálculo de la salud de la vegetación y que sirve para medir la calidad, cantidad y desarrollo de los cultivos así también se generan otros índices para calculo porcentual de agua en plantas y suelos, detección de plagas y deficiencias nutricionales se utiliza la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Los resultados del cálculo varían de -1 a 1.

Donde:

NIR: Reflectancia del cultivo en el infrarrojo cercano

Red: Reflectancia del cultivo en el rojo.

Este cálculo nos muestra zonas donde existe un estrés en el cultivo, sea por falta de insumos, por agua o por enfermedad localizado el problema se puede actuar.

Las plantas sanas y vigorosas absorben la luz roja y reflejan la luz del infrarrojo cercano, y el valor de NDVI se acercará a 1. Contrariamente, un cultivo con bajo status de nitrógeno o enfermo, presentará un valor de NDVI más cercano a 0. En condiciones de campo el rango real observado se encuentra típicamente entre 0,7 y 0,8 para un cultivo sano y con suficiente N, y en el rango entre 0,25 y 0,3 para un cultivo que presenta una deficiencia extrema de N. Cabe mencionar que otros colores tales como verde o ámbar también se han utilizado en lugar del rojo al calcular el NDVI. En la sección 3 del presente capítulo se mostrará con mayor detalle distintos sensores con los que es posible calcular estos índices vegetativos en tiempo real como información base para la realización de las prescripciones.

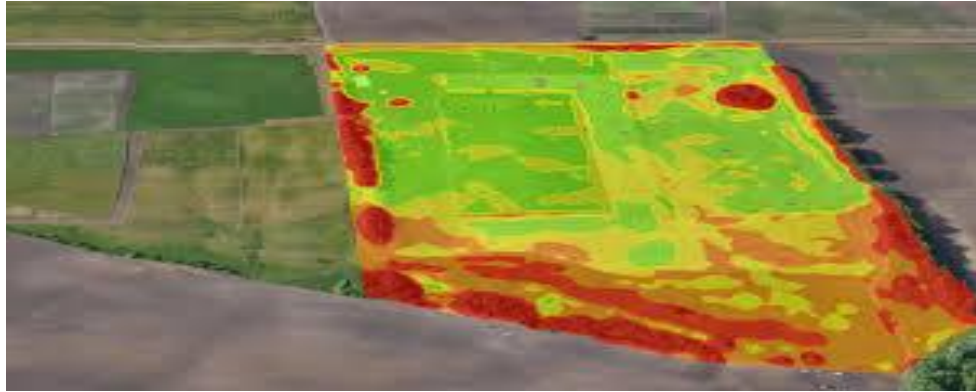


Figura 3.11.- Apariencia de cultivo por estrés. **Fuente.** (SACH, 2018)

Para el cálculo de los índices de vegetación es necesaria la información que se encuentra en las bandas rojas e infrarrojas de este espectro electromagnético.

CropSpec™

El CropSpec™ es un sensor activo de canopia fabricado por Topcon. Como fuente de luz utiliza pulsos de diodos láser, lo cual supone una diferencia sustancial en el tipo de fuente de luz activa en relación a los sensores antes presentados. Este sensor, al igual que el N sensor de Yara, está diseñado para observar el cultivo en una vista oblicua desde una altura de hasta 4 metros, lo que permite una gran huella de medición y el aumento del grado de precisión en el sensoramiento de diversos cultivos. CropSpec™ ha sido desarrollado en colaboración con Yara Internacional. Este fue diseñado para su uso con las consolas X20 o X30 de Topcon, CropSpec funciona con el programa VRC (Map LINK) o cualquiera de las aplicaciones de controlador de X20 o X30. Permite al usuario controlar la variabilidad en el campo y solucionarla sobre la marcha, o guardar los datos para su análisis futuro o para la aplicación de la prescripción.

Este sistema cuenta con dos sensores ligeros y fáciles de instalar. Los sensores se montan en el techo de la cabina, para evitar daños al cultivo. Con una tecnología basada en la competencia óptica de Topcon, CropSpec utiliza diodos láser para su detección. El sensor mide la reflectancia de las plantas para determinar el contenido de clorofila.

Los usuarios pueden leer y grabar los datos para analizarlos y crear reglas. La exploración de la cosecha crea un mapa que indica los niveles de nitrógeno, incluyendo tanto las áreas ricas como aquellas deficientes en nitrógeno. Esta información puede ser utilizada para llevar a cabo una prescripción de flujo variable para ser utilizada inmediatamente o en una fecha posterior. Con una simple calibración de dos puntos, el usuario puede definir puntos altos y bajos, y luego efectuar la aplicación real utilizando el promedio del campo. El flujo deseado puede ser determinado por el usuario.

Para la recopilación de información en condiciones de campo, este sensor de cultivos se puede montar en distintos tipos de maquinaria agrícola.

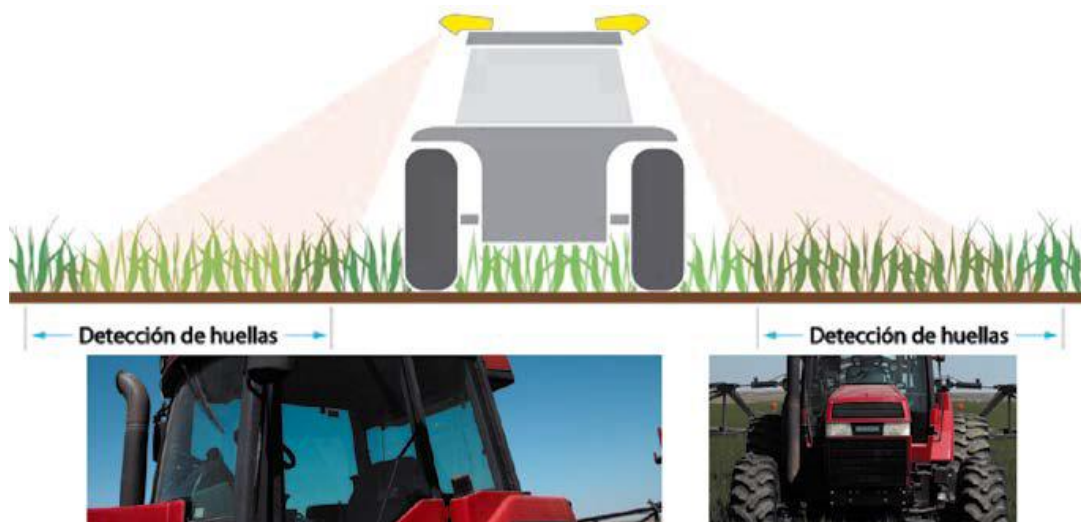


Figura 3.12.- CropSpecTM de Topcon (a) el sensor va montado en el techo del tractor para el sensoramiento de los índices vegetacionales. **Fuente.** Topcon.

3.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE DRONE PARA LEVANTAMIENTOS

En la agricultura, así como en otras áreas el uso de la topografía mediante el uso de drones que nos permiten obtener información de primera mano sobre el área en estudio, se ha convertido en una herramienta al alcance de todos, sin embargo, es importante mencionar que aun cuando se puede realizar con facilidad esta actividad, es necesario que se sepan interpretar y procesar los resultados, esto con la finalidad de obtener los mejores resultados.

Es por que para este estudio se utilizó el siguiente equipo:

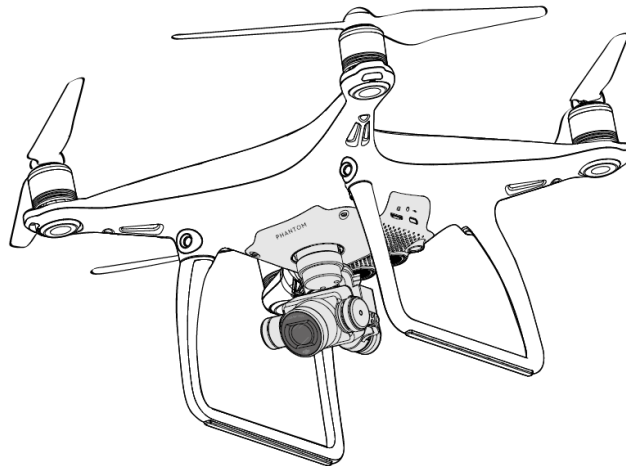


Figura 3.13. Grabación de vídeo es 4K o 12 megapíxeles. **Fuente.** (DJI, 2015)

Cámara y gimbal: DRONE DJI Phantom 3

- El DJI Phantom 3 es un quadricoptero extremadamente inteligente capaz de rastrear objetos de forma inteligente y sin ningún otro dispositivo por

separado, puede **gimbal:** con el Phantom 3 puede grabar vídeo 4K a un máximo de 30 fotogramas por segundo y tomar fotografías de 12 megapíxeles con una claridad sin precedentes. Su sensor mejorado proporciona más nitidez, menos ruido y mejores imágenes que ninguna otra cámara voladora anterior.

- **Transmisión de vídeo HD:** transmisión HD de baja latencia, (5 km) gracias a una versión mejorada del sistema DJI Lightbridge.
- **Batería de vuelo inteligente DJI:** la batería de vuelo inteligente de 5350 mAh incorpora nuevas celdas de batería y un nuevo sistema de gestión de las baterías.
- **Control de vuelo:** el controlador de vuelo de nueva generación se ha actualizado para ofrecer una experiencia de vuelo más segura y fiable. Un nuevo registrador de vuelo almacena datos cruciales de cada vuelo y el sistema de posicionamiento visual mejora la precisión del vuelo estacionario en interiores o en entornos sin señal GPS.
- **Colocación de las hélices:** Montar las hélices con anillos negros en los motores con puntos negros. Montar las hélices con los anillos grises en los motores sin puntos negros. Pulsar la hélice hacia abajo sobre la placa de montaje y girar en la dirección de bloqueo hasta que se asegura en su posición.



Figura 3.14. Colocación de hélices. **Fuente.** (DJI, 2015).

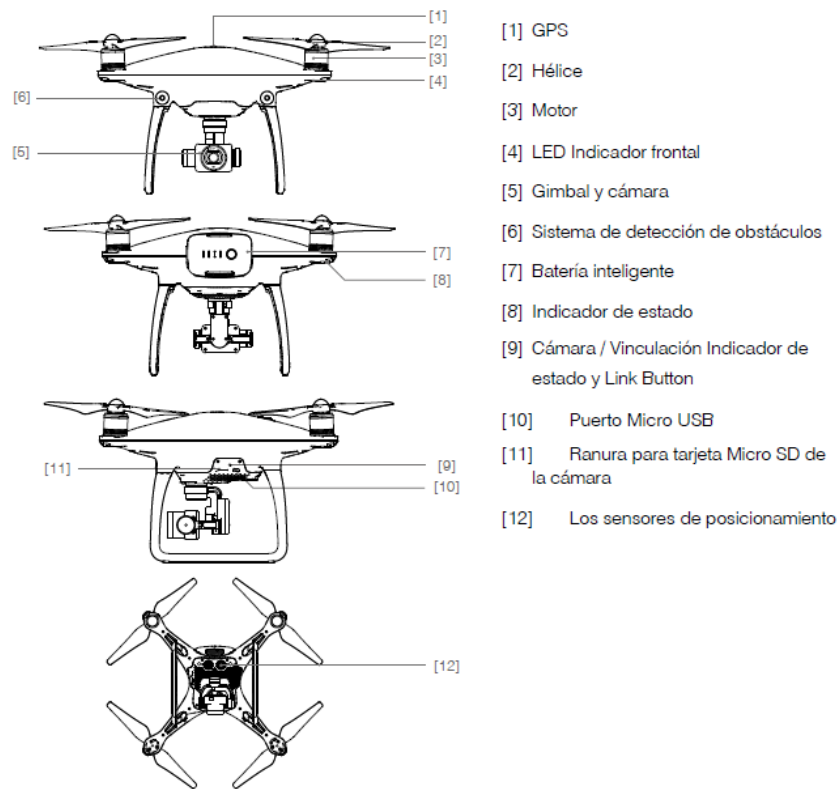


Figura 3.15. Diagrama de la aeronave. **Fuente.** (DJI, 2015).

3.4.2. TÉCNICAS PLAN DE VUELO

Un factor muy importante a la hora de preparar un vuelo de reconstrucción 3D es el path planning o planificación de la trayectoria. Debido a que se ha definido ya una altura de vuelo fija para cumplir una determinada GSD, diseñar un plan de vuelo pasa de ser un problema en 3D a un problema 2D. En base a esto y de acuerdo con el diseño de una ruta óptima se puede dividir en dos fases:

1. En primera instancia, se calcula el denominado Ground Imaging

Área (GIA) o superficie total que abarca una imagen:

$$(GIA_x, GIA_y) = (g_x \cdot r_x, g_y \cdot r_y)(m,m)$$

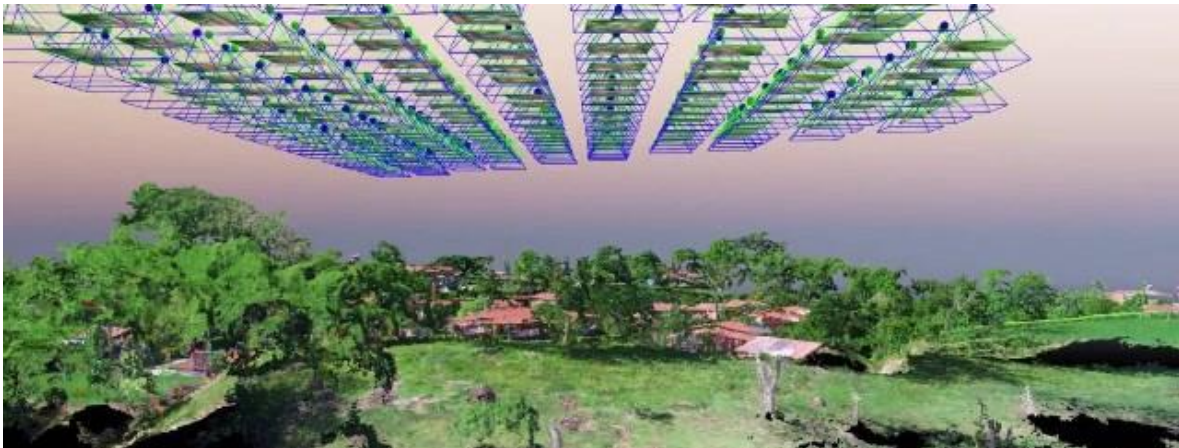


Figura 3.16. Solapamiento en vuelos de mapeado. **Fuente.** (Grúas y aparejos, s.f.)

donde:

- r_x, r_y = resolución horizontal y vertical de la cámara (pixels)
- g_x, g_y = GSD horizontal y vertical deseada (m/píxel)

A continuación, se divide el área a mapear en una cantidad finita de rectángulos del mismo tamaño, normalmente en forma de malla. Se utiliza este tipo de división

ya que se asume que a una altura de vuelo constante y con un giro pitch and roll mínimo, la GIA de cada una de las imágenes será muy similar.

La elección del tamaño de mallado se elige en función al solapamiento requerido. Para un solapamiento entre un 60% y un 80 %, se recomienda utilizar un mallado 3 o 4 veces más pequeño que la GIA anteriormente calculada.

2. Una vez establecido la malla sobre la superficie a mapear, se debe tomar una fotografía en el centro de cada rectángulo. Diseñar una ruta que minimice la distancia recorrida es una versión del problema del viajero o TSP. Este problema es ampliamente conocido y estudiado en la literatura, por lo que no se tendrá en cuenta en este estudio. Sin embargo, en se propone una versión del algoritmo adaptado al problema que nos ocupa.



Figura 3.17. Solapamiento en vuelos de mapeado. **Fuente.** (Grúas y aparejos, s.f.)

En la *figura 3.17*, se presenta un ejemplo de flight planning en forma de malla, donde se ha optado por un recorrido en zigzag para cumplir con las especificaciones de solapamiento.

3.4.3. EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE MAPEO

Los errores acumulados en la generación de mapas 3D pueden deberse a diversas fuentes, debido a la gran cantidad de algoritmos que integra. Sin embargo, observando el esquema entrada-salida y conociendo cómo funcionan dichos algoritmos, las fuentes de errores pueden clasificarse esencialmente en tres grupos:

- **Adquisición de imágenes:** Dentro de este grupo entran los parámetros relativos a calidad de imagen y solapamiento. Como ya se mencionó en el correspondiente capítulo, las imágenes deben estar bien definidas y contener las texturas suficientes para que los detectores de características puedan generar un modelo 3D disperso adecuado. Por tanto, se deben controlar factores tales como la exposición de la cámara o el solapamiento existente entre las imágenes.
- **Altura de vuelo:** La altura de vuelo o AGL está directamente relacionada con la resolución por píxel o GSD de las imágenes captadas. Cuanta más resolución contenga las imágenes captadas (lo que es equivalente a una AGL baja) más precisión tendremos a la hora de reconstruir los diferentes puntos 3D.
- **Sistema de posicionamiento:** Aparte de las propias imágenes, es necesario aportar información sobre el posicionamiento de éstas en algún sistema de coordenadas con vistas a generar mapas 3D georreferenciados. Para ello se hace uso de los sensores inerciales a bordo del UAV, los cuales suelen ser equipos de bajo coste y por tanto presentan errores que hay que considerar. Además, es necesario una buena sincronización durante la asignación de una medida de posicionamiento a una imagen, sobre todo en plataformas aéreas que viajen a gran velocidad.

3.4.4. MÉTODOS Y ESTUDIO DE ÁREA DE INTERES

PREPARACIÓN Y CALIBRADO DE LA AERONAVE

Las aeronaves no tripuladas necesitan ser calibradas e identificar un plan de vuelo para poder ir al campo con todas las herramientas necesarias. El modelo Phantom 3 advance de la marca DJI es un drone profesional que es muy fácil de manejar. Antes de empezar a tomar las muestras en el campo es necesario calibrar este drone con el control y ajustarlo con la cámara. Para ello se hace lo siguiente:

1. Calibrado del Drone Phantom 3

Se instalan los propellers en el drone, dos de movimiento horario y dos de movimiento anti-horario. Estos son fáciles de identificar gracias a los colores que tienen. Luego, verificar que la batería del drone y del control remoto estén bien cargadas. Esto es necesario para poder iniciar el vuelo (DJI, 2016). Con la Aplicación DJI go para Phantom 3 o Matrice, descargada de la Apple store o google play, se inicia el calibrado; dando vueltas al drone vertical y horizontalmente, el control remoto reconoce las hélices y con esto se calibra el drone. La interacción entre el control y el drone debe ser precisa ya que de esta depende la seguridad del vuelo.

2. Plan de ejecución en el campo

Es necesario efectuar un plan para poder ir a recoger los datos al campo. Estos pueden ser: buena conexión de internet, equipos auxiliares de campo (estacas, sogas, etc), cálculo de altura de vuelo y direcciones de vuelo.

En campo es necesario ver que el drone pueda volar, luego de ello necesitamos abrir la aplicación de AgVault de Sentera. Esta aplicación está diseñada para tomar las fotos de ambas cámaras instantáneamente. Para ello solo se requiere establecer el área que necesitamos observar. Para personas con experiencia la altura de vuelo y vibración puede ser modificable. Entonces el drone empezará a dar su vuelo y aterrizará después de tomar todas las fotos. El tiempo de vuelo depende del área de observación. Las condiciones ideales de vuelo son: soleado, con vientos menos de 10 m/s y establecer el área de despegue y aterrizaje mayor a 1,2 metros de diámetro.

3.4.5. USO DE QGIS PARA EL CÁLCULO DEL NDVI

Hoy en día es tal la utilidad de estos pequeños vehículos aéreos, que nos han llevado a hablar sobre las ventajas de realizar topografía con drones.

Cada vez más el uso de las nuevas tecnologías se va implementando en los sectores de los nuevos campos de trabajo.

Los drones son mucho más que objetos voladores de uso recreativo, hasta tal punto que podrían llegar a dominarse herramientas de trabajo gracias a la gran labor que realizan; además de ser una excelente salida para levantamientos masivos, los drones en la topografía son de magnífica ayuda, eso sí, se recalca ayuda porque no son un sustituto o reemplazo más bien un complemento para sumar a la ya metodología establecida con el fin de realizar mejor y de manera más eficiente las labores de este sector tan importante.

De los drones más utilizados para realizar estos trabajos de topografía o fotogrametría se encuentran los de la marca DJI.

Los drones tienen mucho que sumar al sector de la topografía, es por esto que veremos un listado de 7 ventajas en el uso de esta herramienta tecnológica:

- Aumento de la productividad.
- Reducción de tiempo.
- Reducción de costos.
- Reducción de riesgos laborales.
- Aumento de datos adquiridos.
- Precisión.
- Inmediatez.

AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Gracias a la velocidad y capacidad de tomar las imágenes del drone también se reducen los costos al abarcar más distancia en menor cantidad de tiempo.

REDUCCIÓN DE TIEMPO.

Los drones dependiendo el modelo tienen la capacidad de llegar a velocidades considerables. Gracias a esas velocidades pueden desplazarse a más lugares por lo que nos ahorra tiempo y recursos.

REDUCCIÓN DE COSTOS.

Al realizar de manera más eficiente las labores de topografía los costos también se ven reducidos ya que tenemos que destinar menos inversión para realizar las tareas.

REDUCCIÓN DE RIESGOS LABORALES.

Inducir un dron en la ecuación nos da como resultado que los seres humanos no nos tenemos que exponer tanto y eso evidentemente, reduce la posibilidad de sufrir algún percance o tener un accidente.

AUMENTO DE DATOS ADQUIRIDOS.

De acuerdo a la gran precisión que aportan algunas cámaras de los drones se puede obtener una mejor definición. También juega un papel fundamental la visibilidad y el tamaño del mismo pues no aporta la capacidad de colocarlo en espacios de difícil acceso como pueden ser barrancos o pendientes.

PRECISIÓN.

La precisión con la que se obtienen los datos, tanto por los cálculos como por las coordenadas aporta un valor más que considerable a la funcionabilidad del dron.

INMEDIATEZ.

Otras de las ventajas que aporta es su inmediatez donde los plazos de tiempo se ven notoriamente reducidos, pues cuando no se disponía de un dron para realizar labores topográficas los resultados podrían tardar semanas, ahora gracias a la tecnología podemos disponer de los resultados en cuestión de horas.

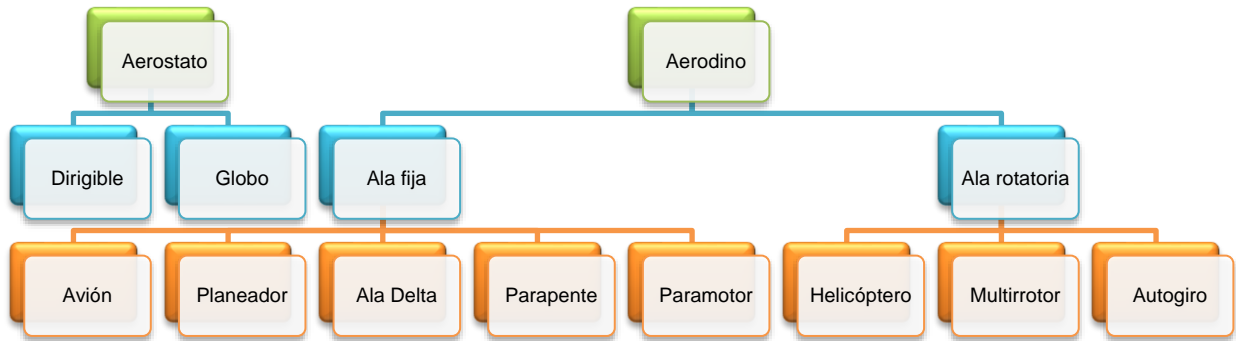
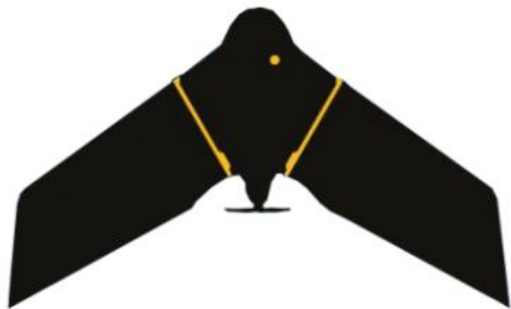
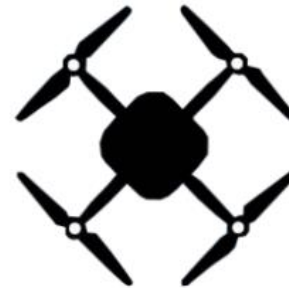


Figura.3.18. Principales tipos de aeronaves. *Elaboración propia (2020).*



Ala fija



Ala rotatoria

Figura 3.19. Comparativa drones. **Fuente.** (tecniTop, s.f.)

3.4.6. PASOS EN UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO POR DRONE

- Planificación del vuelo, estableciendo puntos de control, inspección previa del terreno, sitio de despliegue y aterrizaje.
- Vuelo en el terreno tomando las imágenes.
- Descarga y post proceso de las imágenes.
- Obtención de la nube de puntos del terreno.
- Generación de curvas de nivel y modelo 3D.
- Creación de productos secundarios; perfiles longitudinales transversales, cortes de terreno, mapas y ortofotos.

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS

A continuación, se narrará el procedimiento que se siguió para la obtención de la información.

Trasladarse al lugar de estudio que como ya se mencionó al inicio de esta investigación se encuentra en la Localidad de Santa María Moyotzingo, Municipio de San Martín Texmelucan, Estado de Puebla.

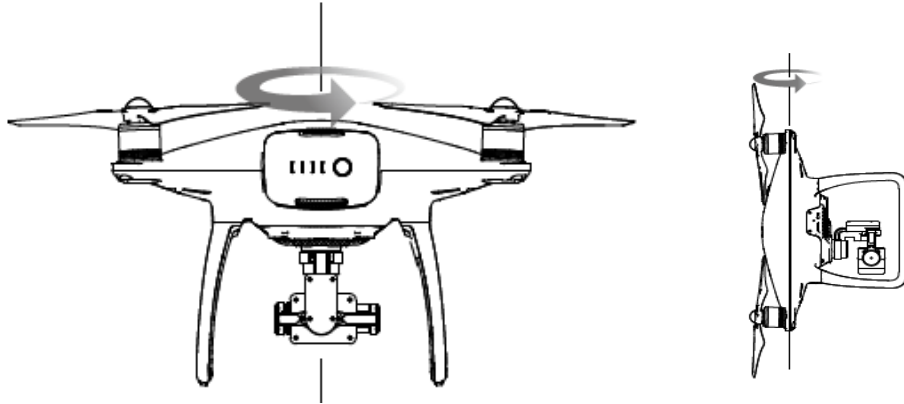


Figura 3.20. Calibración de drone. **Fuente.** (DJI, 2015).

Se procedió a la calibración del drone el cual por ser la primera ocasión en este punto tenía que ser necesario mantenga y gire la aeronave horizontalmente 360 grados. El indicador de estado de la aeronave se quedará fijo en verde.

Se buscó el área de interés con el fin de tener una buena cobertura, para después ajustar el sistema de imágenes.

Estableciendo los puntos de control terrestre o GCPs se podrá mejorar notablemente la exactitud horizontal.

Se dio inicio al plan de vuelo, el cual comenzó con el ascenso del drone a una altura programada de 60 m con el objetivo de librar cualquier obstáculo que impida realizar el levantamiento; es importante mencionar que entre cada línea de vuelo hay una apertura de 20 m esto para generar en traslape de cada imagen dando un total de 118 imágenes que fueron tomadas con la cámara de 12 megapíxeles con la que cuenta el drone.

Al finalizar el vuelo el dron regreso a la posición de donde despegó para realizar el descenso y así poder realizar la descarga de las imágenes e iniciar el proceso de información.

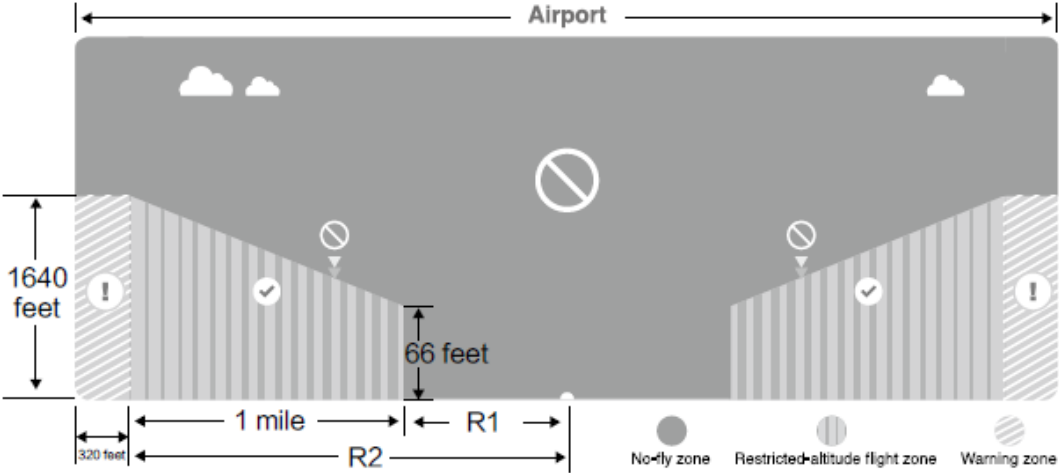


Figura 3.21. Radios de vuelos. Fuente. (DJI, 2015).

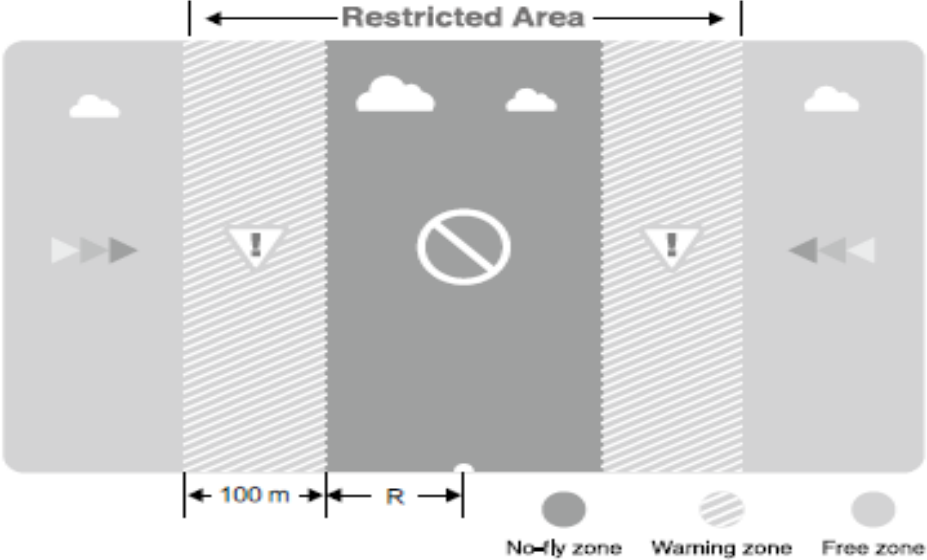


Figura 3.22. Áreas de restricción para vuelo. Fuente. (DJI, 2015).







GPS Signal Strong  Blinking Green			
Zona	Restricción	Mensaje de la aplicación DJI GO	Indicador de estado de la aeronave
Zona de exclusión aérea 	Los motores no arrancan.	Advertencia: Se encuentra en una zona No-vuelo. Despegue prohibido	 Parpadeo en rojo
	Si el avión entra en la zona de acceso restringido en el modo A, pero se cambia al modo P, el avión descenderá de forma automática, la tierra, y detener sus motores.	Advertencia: Se encuentra en una zona de exclusión aérea. aterrizaje automático ha comenzado.	
Zona de vuelo de altitud restringida 	Si la aeronave entra en la zona restringida en modo A, pero cambia a modo P, descenderá a una altitud adecuada y volará en modo estacionario a 5 m (15 pies) por debajo del límite de altitud.	R1: Advertencia: Se encuentra en una zona restringida. Descendiendo a altitud de seguridad. R2: Advertencia: Se encuentra en una zona restringida. altitud máxima de vuelo está restringida a entre 20m y 500m. Volar con cautela.	
Zona de advertencia 	No se aplican restricciones de vuelo, pero se indicará una advertencia.	Warning: You are approaching a restricted zone, Fly cautiously.	
Free zone 	Sin restricciones.	Ninguno.	Ninguno.

Figura 3.23. Tabla de restricciones. **Fuente.** (DJI, 2015).

Aplicación DJI GO La aplicación DJI Go es una aplicación móvil diseñada específicamente para productos DJI. La aplicación para controlar el gimbal, la cámara y otras funciones de la aeronave también cuenta con mapa, academia y centro de usuarios, que se utilizan para configurar la aeronave y compartir sus fotos y vídeos con otras personas por lo que se recomienda utilizar una tableta.

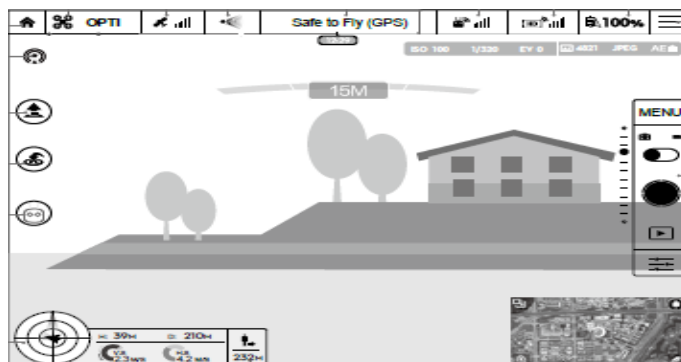
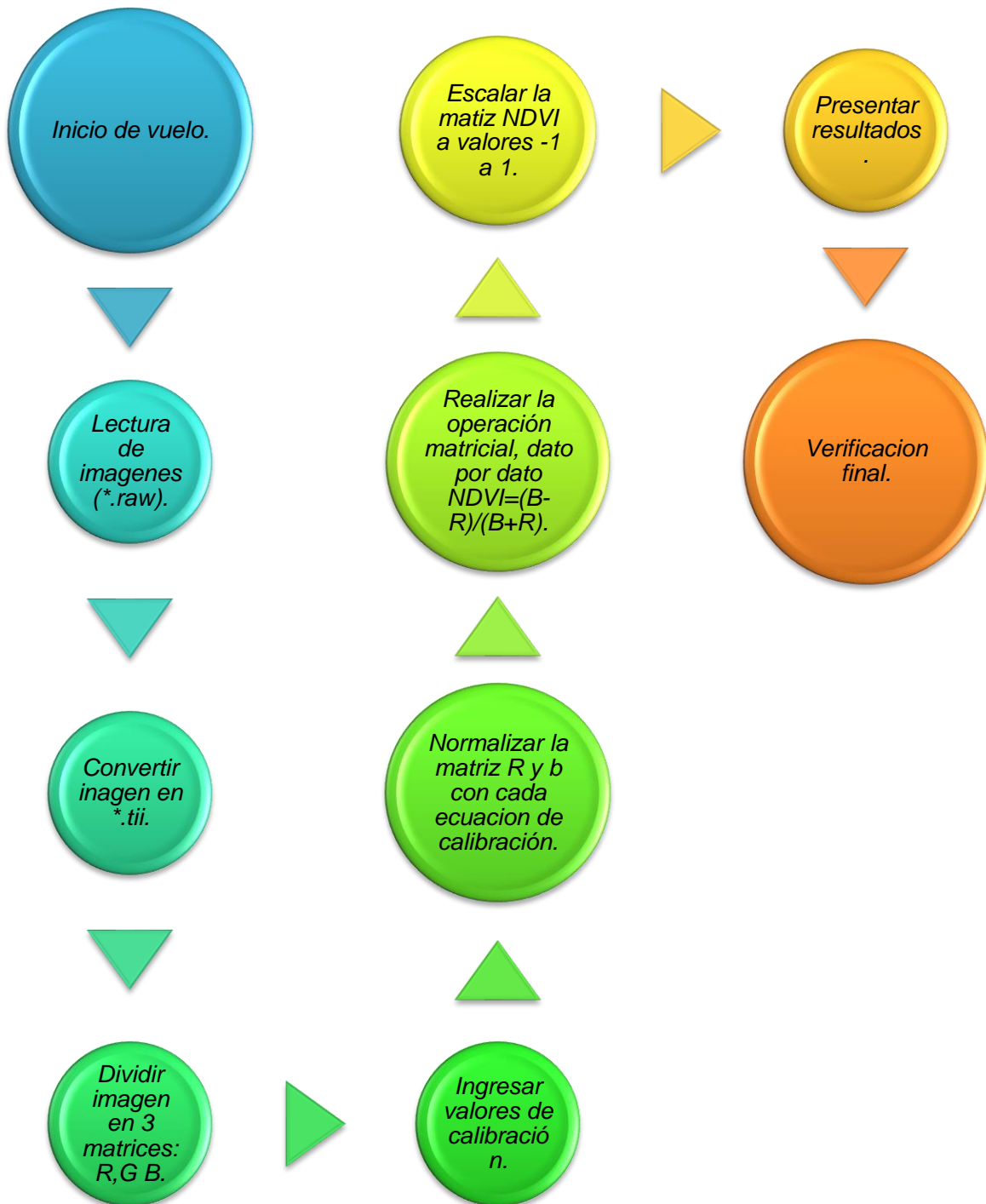


Figura 3.24. Pantalla de aplicación en vuelo. **Fuente.** (DJI, 2015).

3.4.7. DIAGRAMA PARA OBTENER EL NDVI



CAPITULO IV

“REVISIÓN DE RESULTADOS EN ÁREA DE ESTUDIO”

4.1. USO DE DRONE EN ÁREA DE ESTUDIO

La Topografía engloba las Geociencias con la integración y aplicación de las tecnologías de información la comunicación.

Esta suma de Geociencias + TIC hace posible la captura, procesamiento, análisis, interpretación, almacenamiento, modelización, aplicación y difusión de la información digital geoespacial o localizada, aplicable en los ámbitos de la ingeniería, el territorio y la sociedad.

Actualmente el Ingeniero Topógrafo recoge, gestiona, analiza y trata la información espacial, operando en campos tan variados como la Cartografía, la Geoinformación, los sistemas de Información Geográfica, la Geodesia, la Teledetección, el Catastro, la Topografía o la Fotogrametría, entre muchos otros.

Se realizó una identificación de la zona a estudiar en aplicaciones como Google Earth para identificar los factores que debían ser tomados en cuenta antes de realizar el vuelo con el UAV como a continuación se enlistan:

- Vías de acceso al área de interés.
- Verificar líneas de transmisión y cables de alta tensión que pudieran interferir durante el vuelo.
- Estimar el área a ser levantada.
- Tipos de superficie a levantar.

El identificar la zona de estudios en la aplicación antes mencionada nos permitió identificar el área de estudio en la zona que se encontraba para poder saber el área de vuelo que cubriría el dron.



Figura 4. Vista campos de cultivo en estudio. Elaboración propia vuelo dron PHANTOM 3 (2020).

Para la delimitación del vuelo se consideró abarcar la mayor parte de la extensión con un margen adicional que permita tener resultados concretos en el perímetro, cuidando que no existieran cables de alta tensión ni arboles con altura considerable que pudiera afectar el vuelo.

POSICIONAMIENTO DE DRONE EN EL AIRE

Para el desarrollo de la fase de campo en el del proyecto el desarrollo de obtención de resultados, se utilizó equipo como el PHANTOM 3, con cámara de 12 pixeles, como se verá más adelante.

Posteriormente se dio marcha a poner en el aire el dron para después dar inicio al plan de vuelo que se programó, como se muestra a continuación.

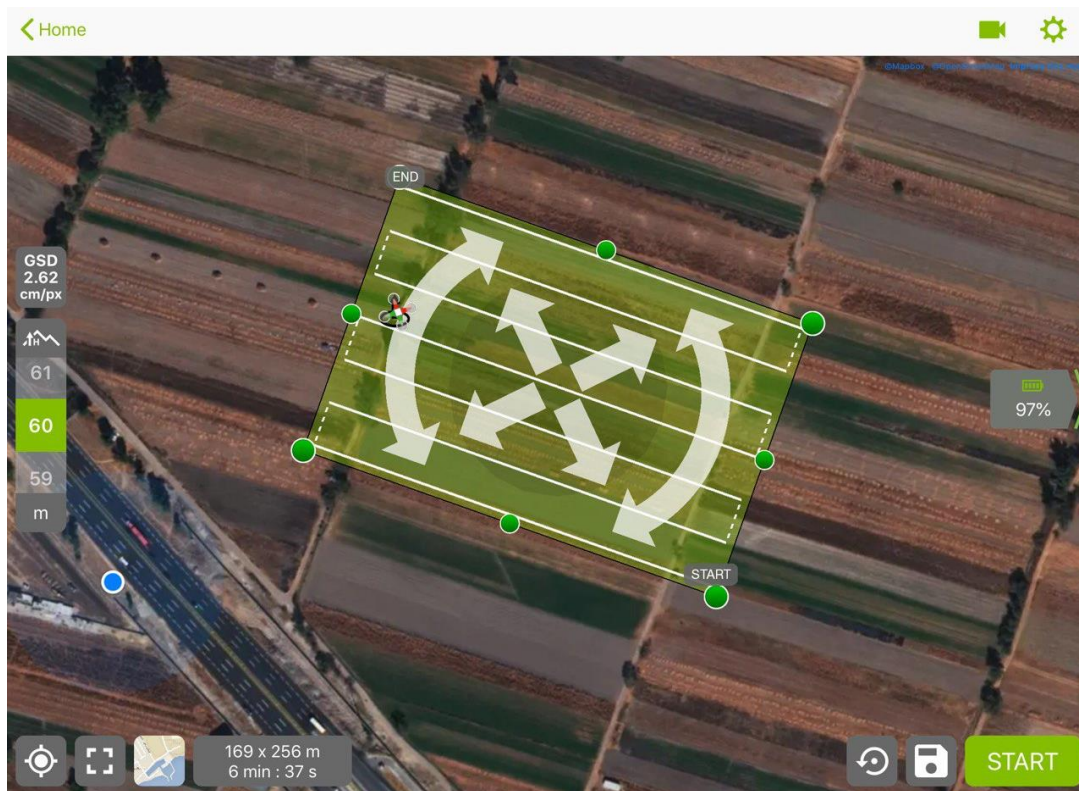


Figura 4.1. Trazo de vuelo drone. Elaboración propia vuelo drone PHANTOM 3 (2020).

Como se muestra en la *figura 4.1* ya en el área de interés se trazó el área a levantar; es importante mencionar que si vemos detalladamente podremos notar que el drone después de calibrarlo como se mencionó en capítulos anteriores, se procedió a referenciarlo dando la ubicación exacta del lugar, como se puede mostrar en la imagen.

Posterior de realizar esto se inició el proceso, dando un trazo previo de cuantas imágenes se generarían, así como ver donde iniciaría el vuelo y donde concluiría como se muestra a continuación.

Después de un vuelo de aproximadamente 25 min se concluyó el proceso con un total de 118 imágenes divididas en 7 líneas paralelas.

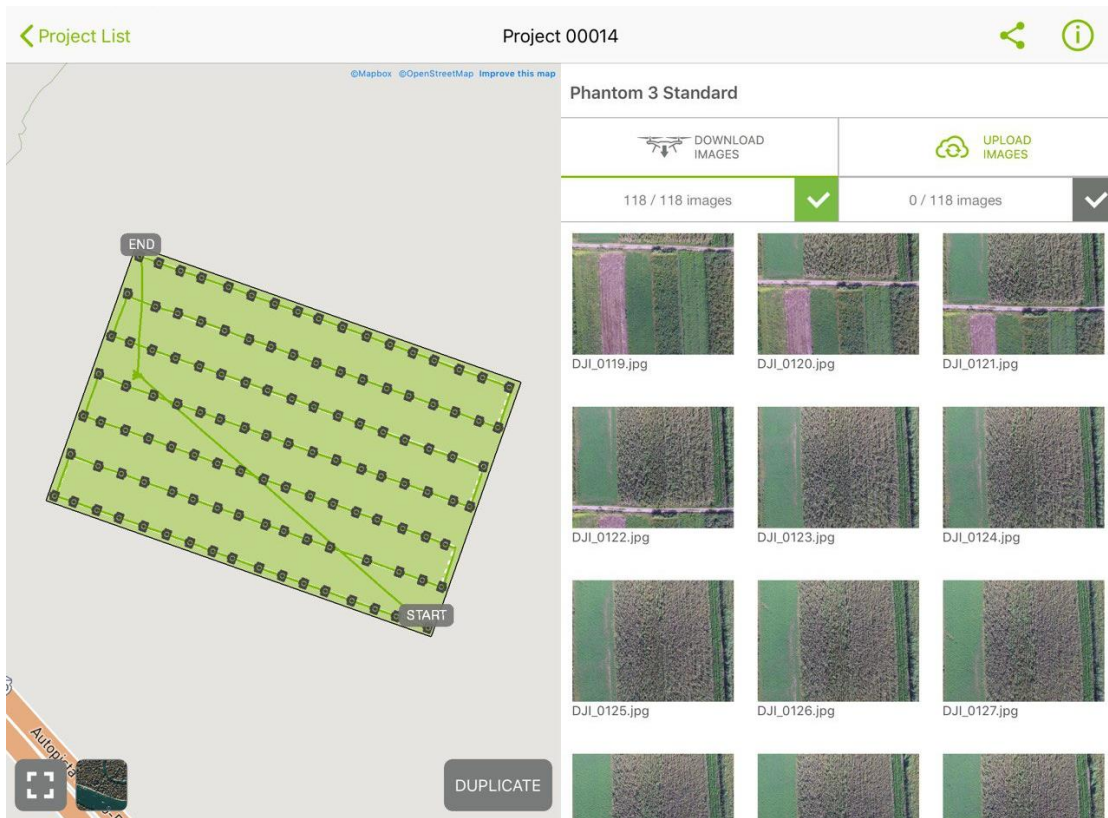


Figura 4.2. Conclusión de vuelo del área de estudio. Elaboración propia vuelo drone PHANTOM 3 (2020).

Una vez que se generaron y descargaron las imágenes, se inició el proceso de gabinete en donde se hicieron las correcciones a las imágenes, así como la obtención de los modelos del plano.

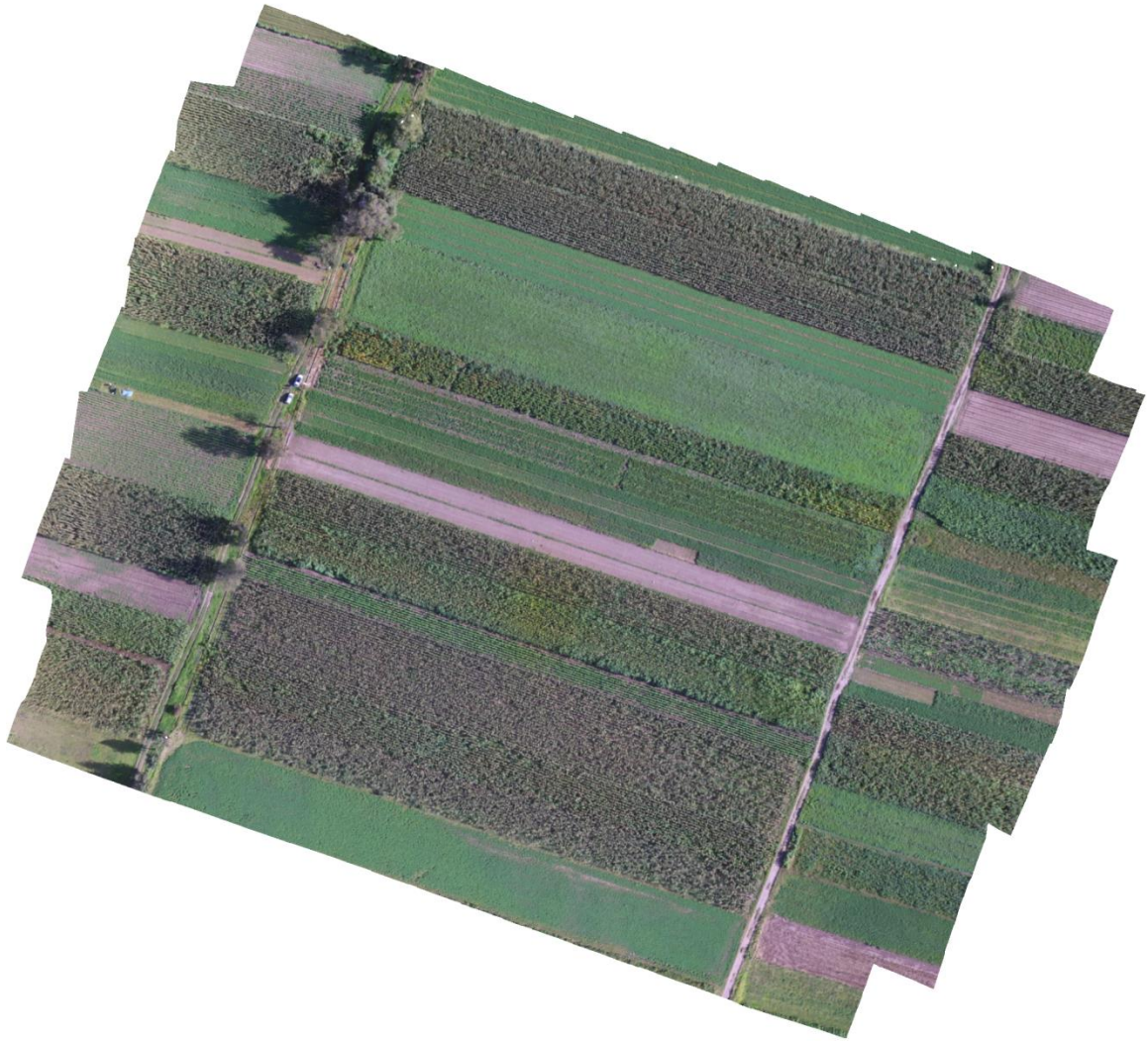


Figura 4.3. Fotografía área del área de estudio. Elaboración propia vuelo drone PHANTOM 3 (2020).

En la *figura 4.3.* se muestra la imagen total que consta del traslape de 118 imágenes tomadas con el drone *PHANTOM 3 DJI*, es importante mencionar que como se mencionó en líneas anteriores, se tomó más área de vuelo que la del predio, esto con el fin de tener mayor área de análisis.

Así mismo es importante hacer notar que el área de estudio se delimita por otras parcelas de cultivo y por brechas, por lo que es fácilmente distinguirlo.

DATOS DE LA CÁMARA

No. de imágenes	118	Estación de cámara	118
Altura de vuelo	68 m	Puntos de amarre	122,315
Resolución pixel	2.21 cm/pix	Proyecciones	392,334
Cobertura de área	7.91e+04 sq m	Compensación error	0.61 pix

Modelo cámara	Resolución	Lente focal	Tamaño de pixel	Precalibración
FC300C (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 um	No

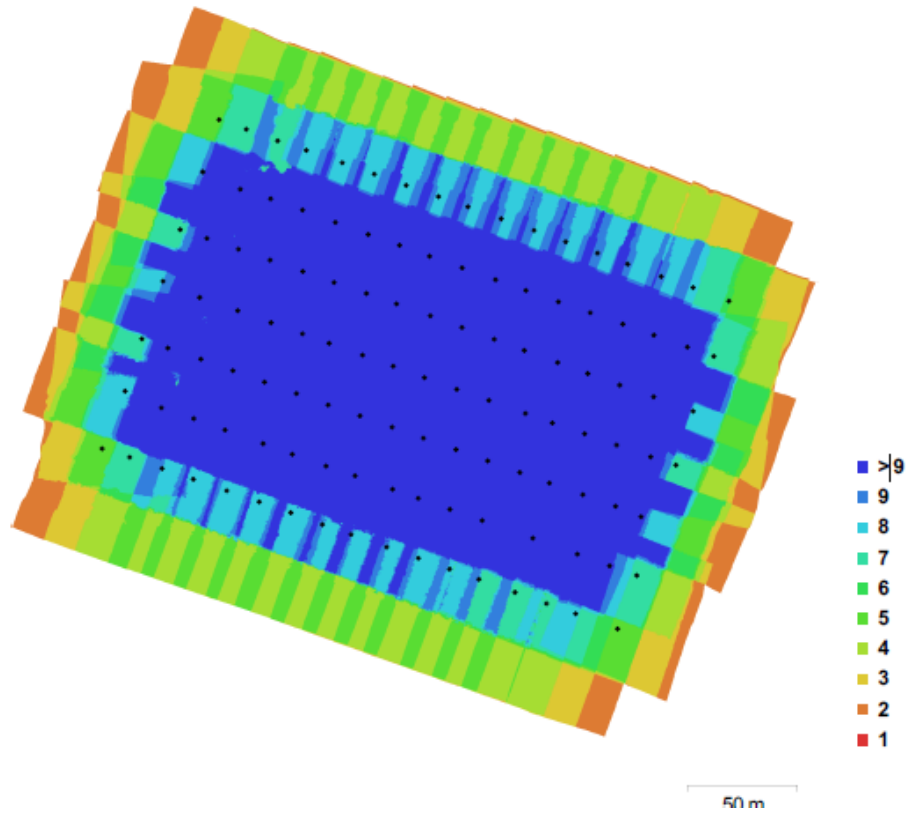


Figura 4.4. Localización de cámara y superposición de imagen. Elaboración propia vuelo drone PHANTOM 3 (2020).

LOCALIZACIÓN DE CÁMARA EN FOTOGRAFÍA AÉREA

Para tener una idea más clara en el levantamiento se muestra las posiciones donde la cámara tomó la fotografía, así como los errores y correcciones que se generan.

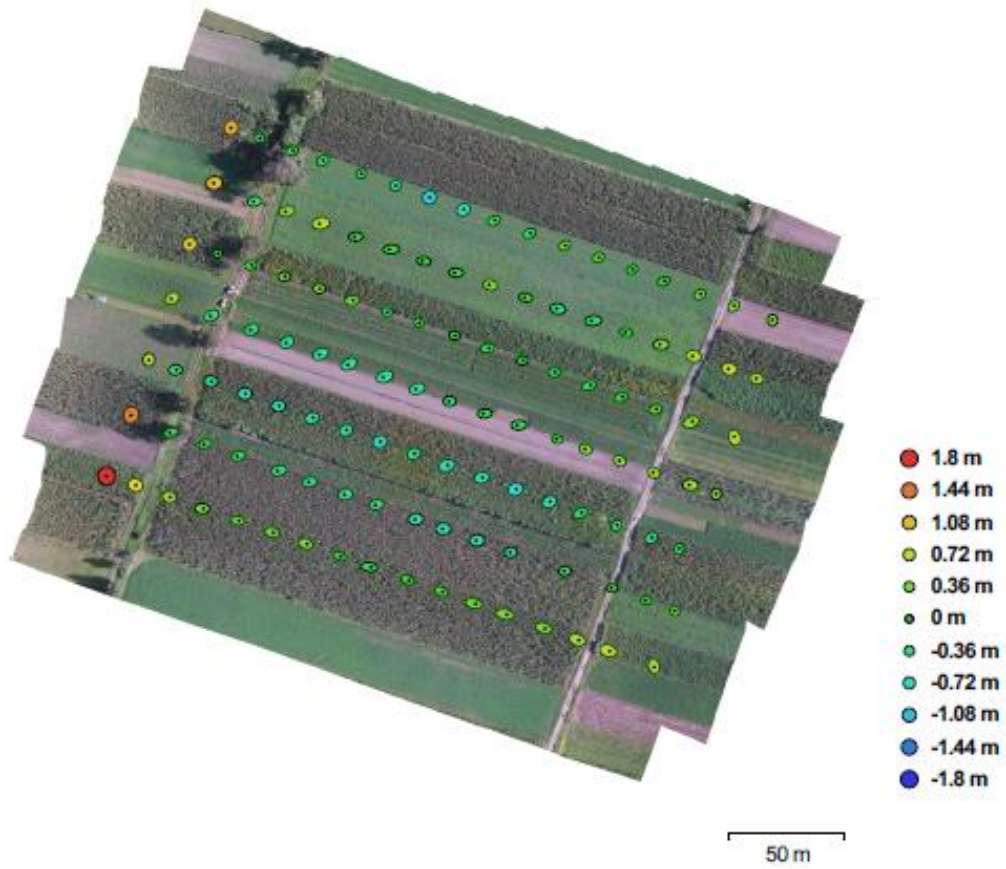


Figura 4.5. Localización de cámara y estimación de errores. Elaboración propia vuelo drone PHANTOM 3 (2020).

El error Z es representado por una elipse.

<i>x error (m)</i>	<i>y error (m)</i>	<i>xy error (m)</i>	<i>z error (m)</i>	<i>total error (m)</i>
0.845232	0.276849	0.889418	0.488754	1.01486

4.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Como parte de los resultados que se obtuvieron en el vuelo con el drone encontramos el modelo digital de elevación, que como su nombre lo dice, nos dará la altura a la que se encuentra cada lugar estudiado, esto mediante una paleta de colores que nos indican la altura sobre el nivel medio del mar.

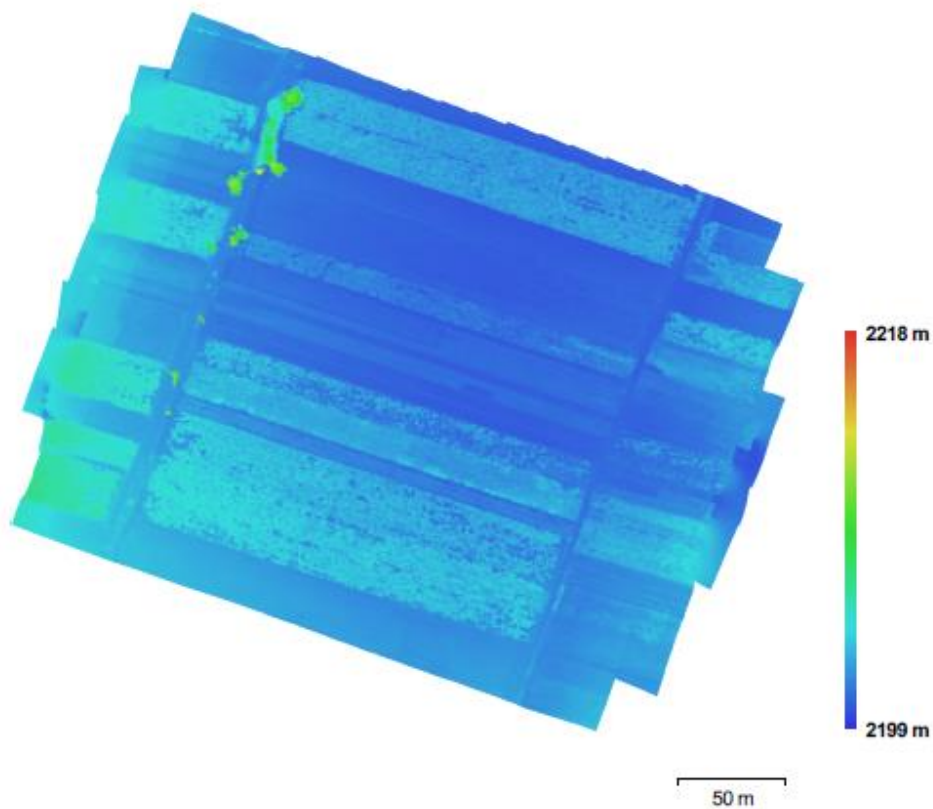


Figura 4.6. Modelo digital de elevación. Elaboración propia vuelo drone PHANTOM 3 (2020).

Resolución: 4.42 cm / pix.

Densidad de puntos: 512.326 puntos per sq m.

4.3. CÁLCULO DEL NDVI

Un índice de vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal, de acuerdo a Gilabert et al (1997).

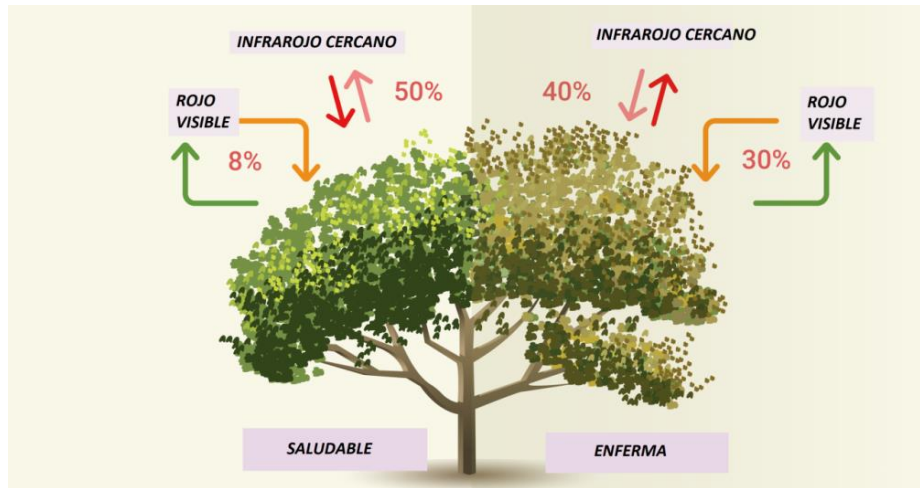


Figura 4.7. Reflectancia que proyectan las imágenes satélites. Recuperado de <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>.

El utilizar estos índices tiene su fundamento en el particular comportamiento radiométrico de la vegetación. Una cubierta vegetal en buen estado de salud, tiene una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo (entre 0,6 y 0,7 μm .), la cual es absorbida en gran parte por las hojas, y el infrarrojo cercano (entre 0,7 y 1,1 μm .), que es reflectada en su mayoría. Esta cualidad de la vegetación permite la realización de su valoración cualitativa.

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado se calculó mediante la siguiente expresión, como ya se había mencionado anteriormente.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Dónde: *NIR* es la reflectividad en el infrarrojo cercano y *Red* es la reflectividad en el rojo.

El rango de valores de las reflexiones espectrales se encuentra entre el 0 y el 1; ya que, tanto la reflectividad del infrarrojo cercano como la del rojo, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. Por consecuencia de estos rangos de valores, el NDVI varía su valor entre -1 y 1.

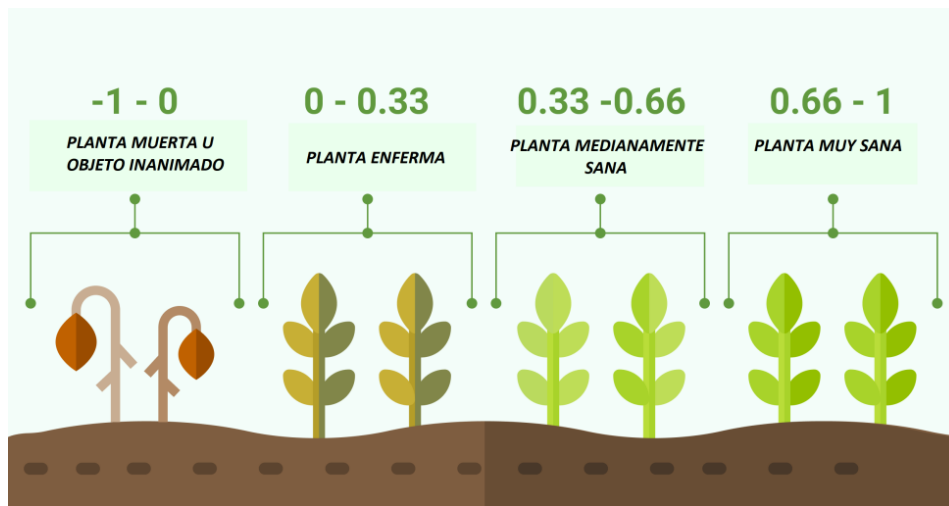


Figura 4.8. Estado de la planta según NDVI. Recuperado de <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>.

El NDVI posee un gran valor en términos ecológicos, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (fPAR) según Monteith (1981).

En las imágenes Landsat 8, la banda 4 (0.630 – 0.680 μm) corresponde al rojo (*Red*) y la banda 5 (0.845 – 0.885 μm) al infrarrojo (*NIR*), por lo tanto, para el

cálculo NDVI se requiere contar con ambas bandas (Descargar imágenes Landsat 8 o sentinel 2 con diferentes bandas).

4.1. CÁLCULO NDVI CON QGIS EN ÁREA DE INTERÉS

Para calcular el NDVI simplemente se requiere aplicar su respectiva ecuación, cabe mencionar que dicho proceso se lo puede realizar en diferentes aplicaciones que cuenten con una calculadora de imágenes ráster (ArcGIS, Erdas, QGIS, gvSIG, Surfer, Idrisi, ENVI, etc.).

El primer paso es descargar las bandas sentinel 2, para después ingresar al programa QGIS en donde abriremos la aplicación Raster para cargar las bandas 8 y 4 con la herramienta como se mostrará en la siguiente imagen.

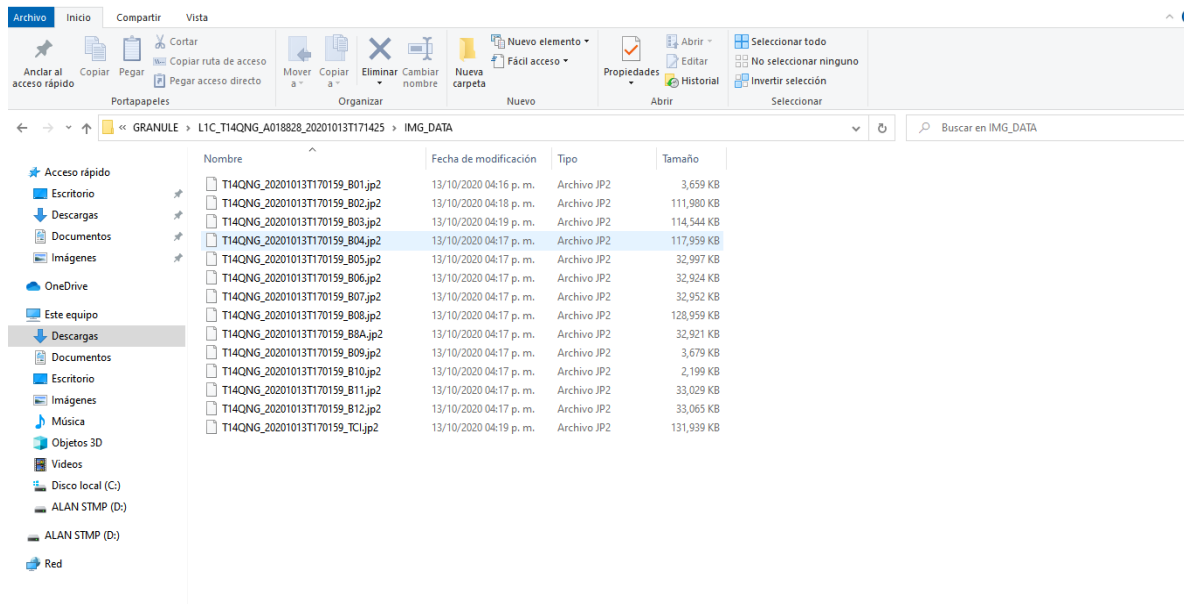


Figura 4.9. Imagen de archivos descargados. Elaboración QGIS (2020).

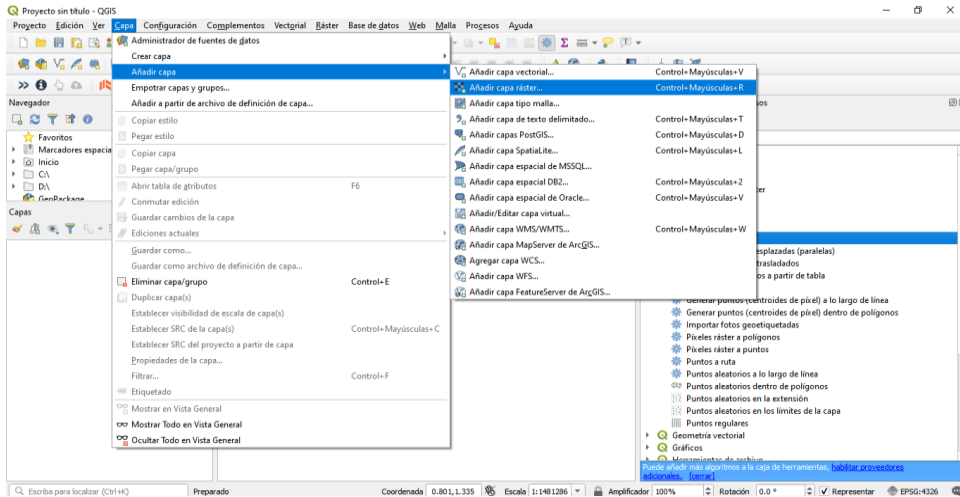


Figura 4.10. Carga de bandas sentinel 2. Elaboración propia (2020).

Una vez cargadas las bandas, desde capa, abrir la siguiente herramienta:

- *Raster > Calculadora raster > Ingresar formula > Aceptar*

Para obtener los valores NDVI en imágenes Sentinel 2 usando QGIS se aplica la siguiente ecuación:

- $NDVI = (banda\ 8 - banda\ 4) / (banda\ 8 + banda\ 4)$

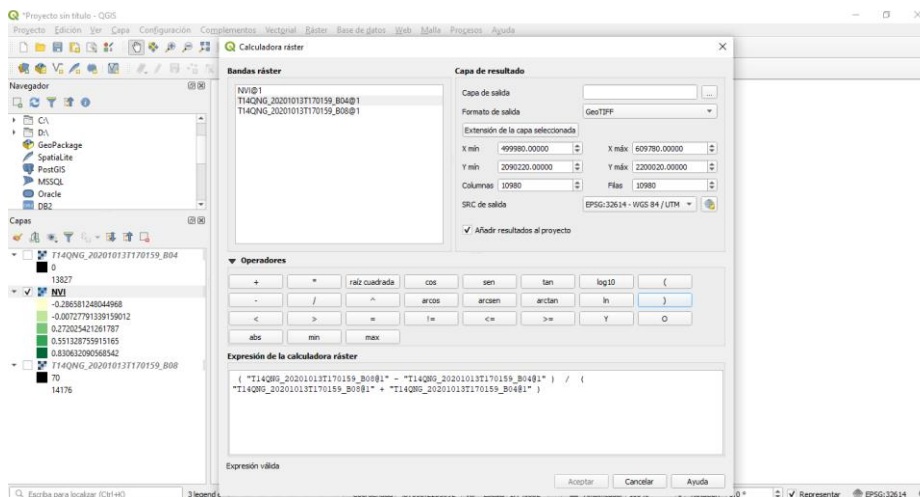


Figura 4.11. Formula NDV en QGIS. Elaboración propia (2020).

El resultado es una imagen ráster que contiene valores que van desde -1 a 1 (siendo los valores más cercanos a 1 la vegetación más vigorosa).

Generalmente la imagen del NDVI se muestra en una escala de grises, por lo que para dar un aspecto más agradable y de fácil interpretación, dirigirse a las propiedades del ráster y seleccionar una paleta de colores en la pestaña de simbología (clic derecho > propiedades > simbología) e invertir si ser necesario la clasificación.

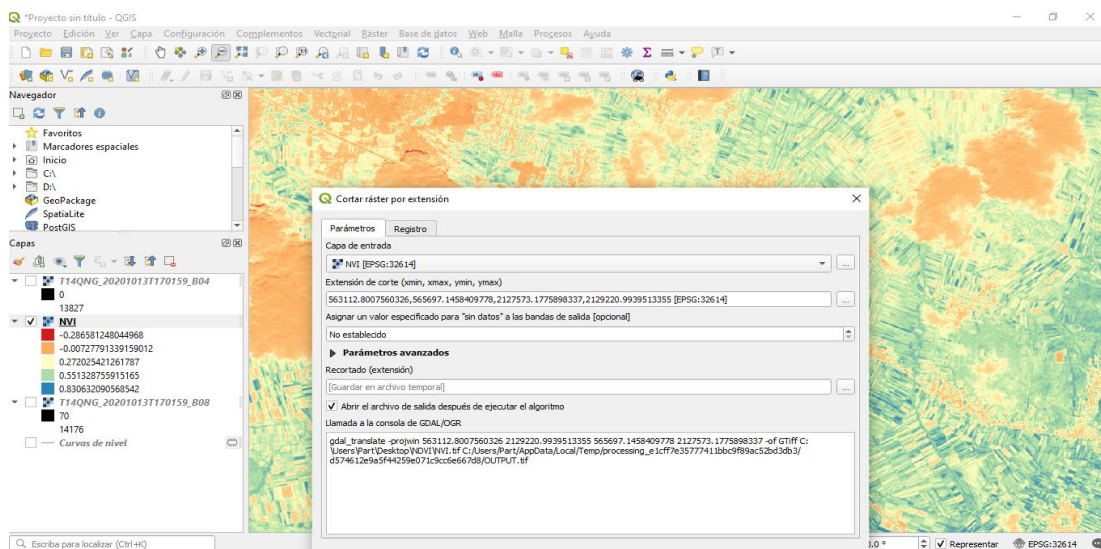


Figura 4.12. NDV en QGIS. Elaboración propia (2020).

Para conocer más del área en estudio se hará un corte en lo que se pretende estudiar, como se muestra a continuación.

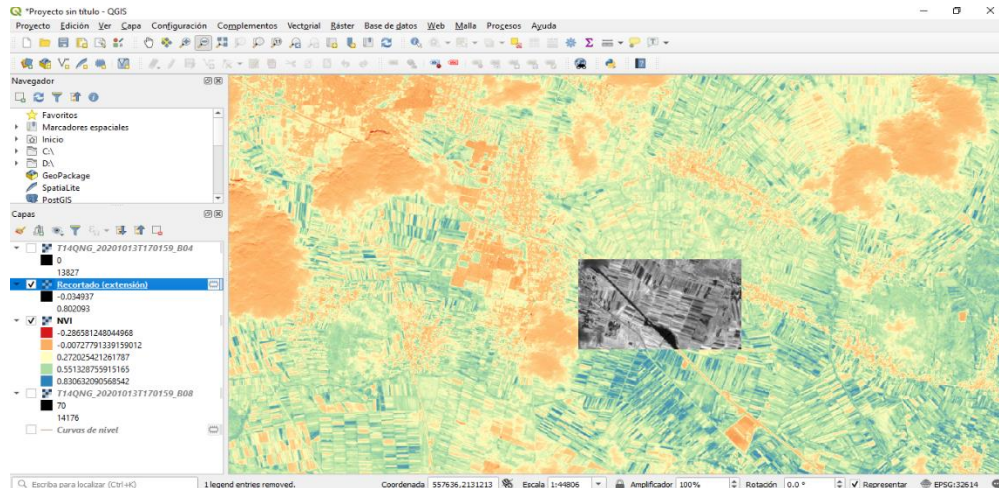


Figura 4.13. Corte del área de interés. Elaboración propia (2020).

Es importante mencionar que como medidas de apoyo para poder interpretar de mejor manera los resultados de la zona de estudio según su color, estableceré curvas con los niveles de NDVI que corresponda, para después poner etiquetas con cada valor, como se muestra a continuación.

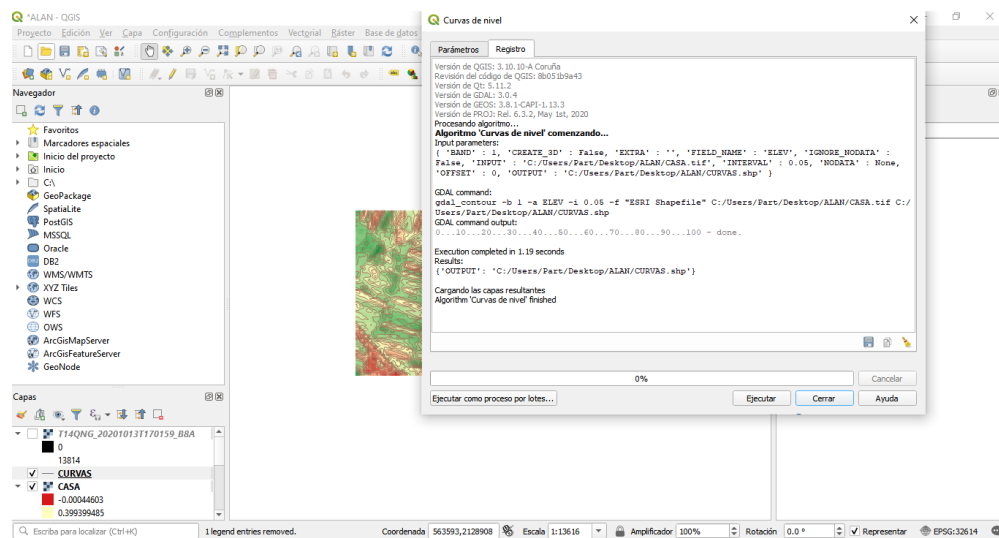


Figura 4.14. Curvas con valores de NDVI según color. Elaboración propia QGIS (2020).

Para mayor interpretación solo se establecen tres tonos en la paleta de colores como se puede observar en la siguiente imagen.

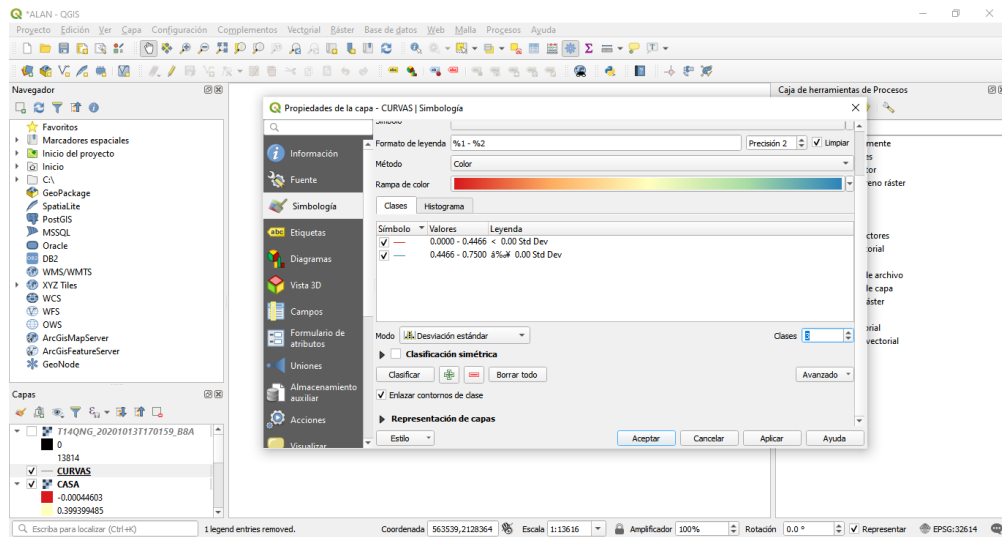


Figura 4.15. Paleta de color según resultados. Elaboración propia QGIS (2020).

Dentro de los resultados finales vemos la siguiente imagen con cada resultado.

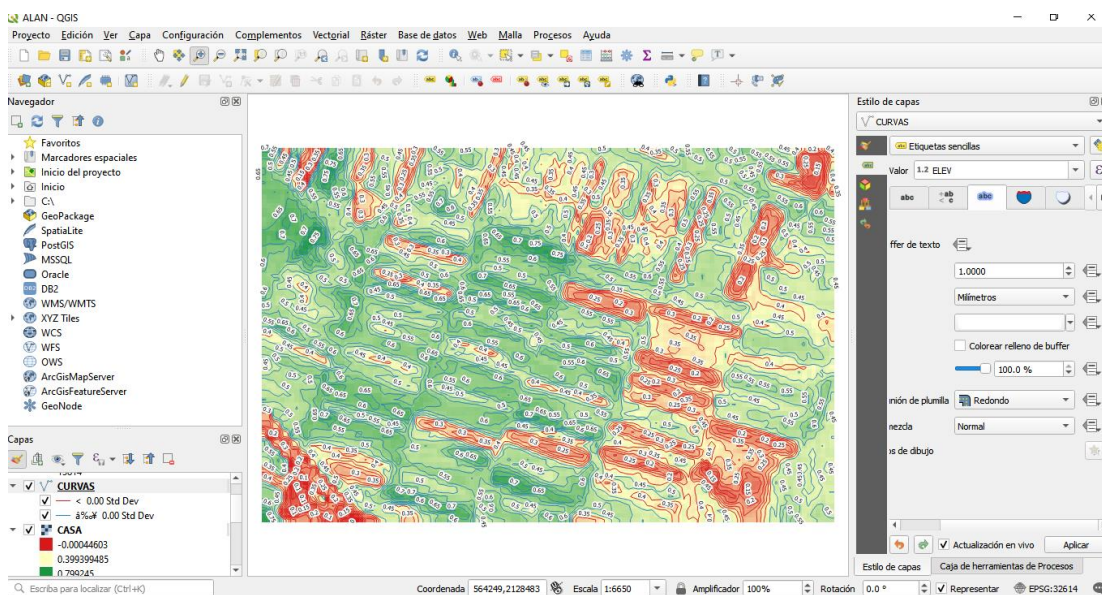


Figura 4.16. Resultados finales de NDVI en el área de interés. Elaboración propia QGIS (2020).

Así mismo además de observar los colores que se asignaron, también se podrá notar que el valor del NDVI que debe oscilar entre -1. +1; de no ser así no se realizó el procedimiento correctamente, por lo que se tendría que repetir nuevamente, hasta obtener el resultado que este dentro del rango ya antes mencionado.

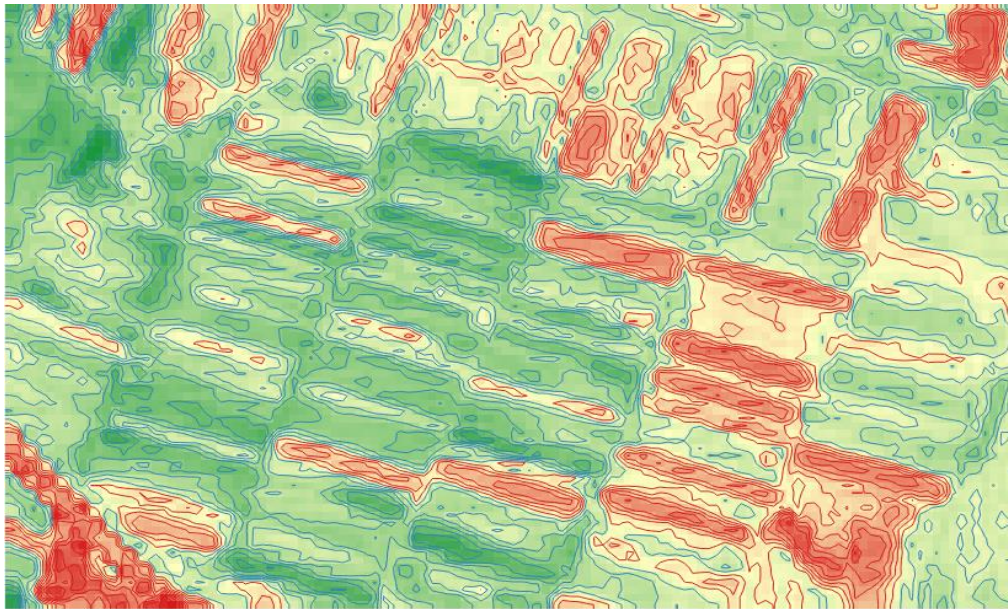


Figura 4.17. Resultado final del NDVI. Elaboración propia QGIS (2020)

Finalmente se obtiene el índice de vegetación NDVI, que nos permite ver el estado en que se encuentra el área de estudio, esto con el fin de poder aplicar los nutrientes necesarios y elevar considerablemente la producción del lugar.

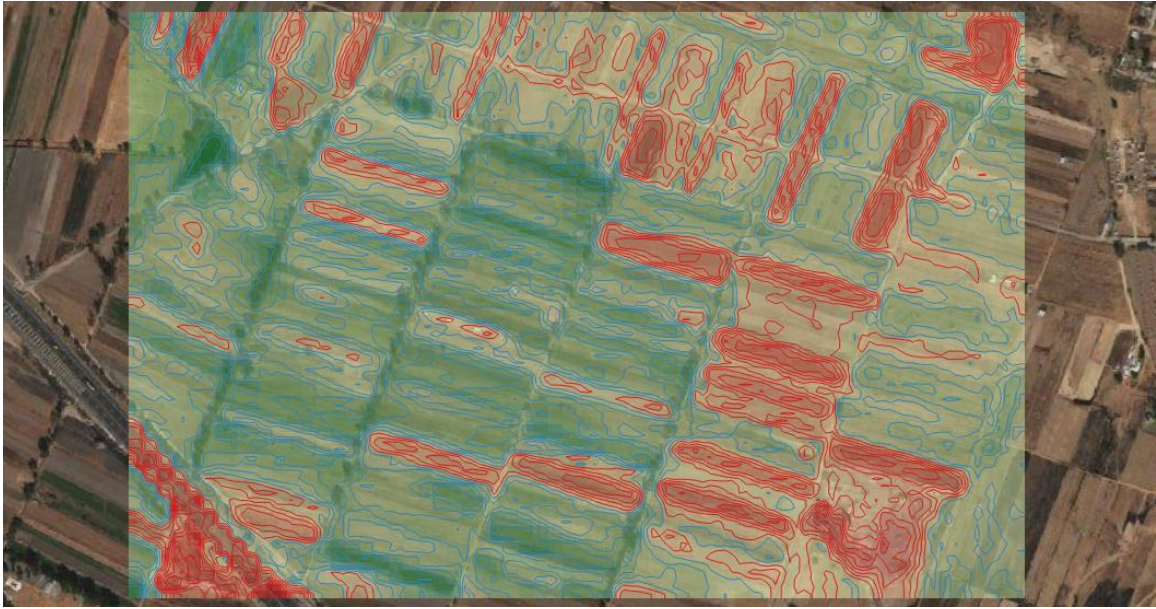


Figura 4.18. Resultado final del NDVI con imagen satelital. Elaboración propia QGIS (2020).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación fueron realizados en el objetivo de identificar las deficiencias con las que cuenta el campo de la región; es importante mencionar que si bien es una zona rica en propiedades, no se ha sabido explotar de manera correcta, por lo que con el fin de obtener una mejor producción se seleccionó la zona en cuestión, observando desde el inicio la fatiga en la que se encuentra la zona, por lo que después de realizar el análisis correspondiente podemos concluir lo siguiente:

- ✓ El campo de esta zona si bien no está en malas condiciones nutritivas, si se encuentra en una deficiente distribución de minerales que permiten el desarrollo de la planta.
- ✓ Las zonas de estudio pueden elevar su producción siempre y cuando se cambie el esquema de cultivo actual a uno de mayor resultado.
- ✓ Aun cuando se cuenta con sistemas de riego, este no cierra el ciclo completo toda vez que no se cuenta con la instalación necesaria que permee en todas las zonas de manera uniforme sin erosionar el suelo.

Por todo lo anterior se plantearán los resultados a los productores indicados con el fin de que tomen en cuenta las observaciones y en su defecto las recomendaciones para elevar su producción.

CONCLUSIONES

Con el análisis que se realizó en dicho trabajo de tesis se plantea dar a conocer que la topografía es parte fundamental en cualquier área, por lo que es importante iniciar resaltando que con el uso de las tecnologías NO se sustituye al Ingeniero Topógrafo; pues para este tema es de suma importancia que después de obtener la información mediante drones o imágenes satelitales, se procesen los datos generados para tener un producto.

Es importante hacer hincapié que la agricultura de precisión es un área de oportunidad en donde la Topografía podría ir incursionando cada día más, pues para el manejo de los Sistemas de Información Geográfica necesitaremos los conocimientos para saber tomar y sobre todo interpretar la información generada, pues al final del mismo se tendrá que emitir un diagnóstico, así como una solución a la deficiencia que se presente, por lo que el productor esperara se vea reflejado en sus cultivos.

Por último, quiero decir que muchos productores en nuestro país no conocen esta tecnología que les permite eficientizar sus cultivos, por lo que es necesario saber la situación en que se encuentra nuestro campo nacional y por ende nuestro campo poblano, para poder desarrollar políticas públicas enfocadas a dar apoyos que garanticen los resultados y que a su vez nos permitan tener mejores cosechas durante todo el año, y no por temporadas cómo se maneja actualmente en muchos lugares del territorio nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Pérez de Ciriza Gainza, J.J., 2001. Agricultura de precisión, ITGA. Navarra Agraria. Pág. 9-13.
- Kreimer, P. 2003. Las TICs en la agricultura de precisión, ceditec (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM).
- Ing. Agr. Andrés Méndez, Ing. Agr. MSc Mario Bragachini, Ing. Agr. Fernando Scaramuzza. 2004. Banderillero Satelital. Proyecto Agricultura de Precisión - INTA Manfredi.
- Ing. Agr. M.Sc. Mario Bragachini, Ings. Agrs. Axel von Martini, Mario Tula y Andrés Méndez. Comparación entre GPS autónomo y con corrección diferencial. Proyecto Agricultura de Precisión- INTA Manfredi.
- Ing Agr Mario Bragachini; Ing Agr Axel von Martini; Ing Agr Andrés Méndez; Componentes de Agricultura de Precisión. Proyecto Agricultura de Precisión-INTA Manfredi.
- De Solan, Benoit. Noviembre 2007. Les réseaux de capteurs sans fil. Perspectives Agricoles. N° 339. Pág.32-33.
- Sistemas de Posicionamiento Ing. Agr. Axel von Martini, Ing. Agr. Mario Bragachini, Ing. Agr. Agustín Bianchini. Sistemas de Posicionamiento. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi
- Luis Manuel Navas Gracia, Fernando González Herrero, Jaime Gómez Gil, Gonzalo Ruiz Ruiz, Pilar Barreiro Elorza, Dionisio Andujar Sánchez, Belén Diezma Iglesias, Eva Baguena Isiegas y Miguel Garrido Izard, coordinados por Constantino Valero Ubierna. Junio 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". N° 16.

- Redes integradas de datos en la agricultura de precisión, Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi 2002.

- Carlos Lago González; Juan Carlos Sepúlveda Peña; Rogelio Barroso Abreu; Félix Óscar Fernández Peña; Francisco Maciá Pérez; Javier Lorenzo; Enero-Abril, 2011. Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. IDESIA (Chile). Volumen 29, Nº 1. Pág. 59-69.

- Emilio Gil (Profesor de la escuela superior de agricultura de Barcelona), 15 de septiembre de 1997. Situación actual y posibilidades de la agricultura de precisión. Vida rural, Nº51.

www.fao.org

www.agriculturadeprecision.org

Tecnología agropecuaria, UNIVERSIDAD DE PALERMO

Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA)

<https://www.fertilab.com.mx/analisis-de-suelos>