



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Trabajo fin de grado en ingeniería
geomática y topografía.

Aplicaciones geomáticas en agricultura



Autor: Mireya Torres García

Tutora: Ana Belen Anquela Julián

Co-tutor: Jorge Abel Recio Recio

Septiembre, 2017.

AGRADECIMIENTOS

A todo el profesorado de la Ingeniería en Geomática y Topografía de la Universidad Politécnica de Valencia por la enseñanza impartida, en especial a mi tutora Ana Belén Anquela y a mi co-tutor Jorge Abel Recio por el asesoramiento recibido durante el trabajo final de grado.

A todos los agricultores, técnicos de cooperativas y pilotos de avión que me han ayudado en la recogida de datos e información en Isla Mayor, provincia de Sevilla, en especial a mi tío Rafael García Bonache que sin él no hubiese podido realizar el caso práctico en el cultivo del arroz.

A todos mis familiares, amigos y compañeros por el apoyo recibido durante todos los años de carrera.

RESUMEN

En las últimas décadas, la agricultura ha evolucionado a tal punto en el que, con la ayuda de nuevas tecnologías, aumenta el volumen de la producción bajando costos, además de mantener la sostenibilidad del medio ambiente. Ésta recibe el nombre de agricultura de precisión.

A lo largo de éste trabajo, se van a desarrollar las herramientas y tecnologías existentes en la agricultura de precisión, como los sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección.

También, se expondrá un caso práctico del cultivo del arroz con las tecnologías utilizadas en cada una de sus etapas, se realizará un pequeño estudio entre los diferentes tipos de arroz cultivados en las parcelas de estudio y la evolución de crecimiento del cultivo.

ABSTRACT

In the last decades, agriculture has evolved to such an extent that, with the help of new technologies, the volume of production increases lowering costs, as well as maintaining the sustainability of the environment. This is called precision agriculture.

Throughout this work, is going to develop the tools and technologies in precision agriculture, such as global positioning systems (GPS), geographic information systems (GIS) and remote sensing.

Althought, will be presented a case study of rice cultivation with the technologies used in each of its stages, a small study will be permormed between the different types of rice in the study plots and the evolution of the upgrowth of the crop.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. AGRICULTURA DE PRECISIÓN	2
2.1. ¿Qué es la agricultura de precisión?	3
2.2. Evolución histórica.	5
3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GNSS)	6
3.1. Antecedentes.....	7
3.2. Sistemas de Posicionamiento Global (GNSS).....	8
3.3. Principios de funcionamiento.....	9
3.4. Corrección diferencial (DGPS).....	14
3.5. Posicionamiento de Punto Preciso (PPP).	15
4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	16
4.1. Introducción.....	17
4.2. ¿Sistemas de Información Geográfica.....	17
4.3. Agricultura de precisión y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).	19
5. TELEDETECCIÓN APLICADA A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	20
5.1. Introducción a la teledetección.	21
5.2. ¿Qué es la teledetección agrícola?.....	26
5.3. Aplicaciones en la agricultura.	28
6. MONITOR DE RENDIMIENTO	30
6.1. Introducción.....	31
6.2. Mapa de rendimiento.....	31
6.3. Errores en los mapas de rendimiento.	32
7. MUESTREO DEL SUELO	34
7.1. Objetivo del muestreo del suelo.....	35
7.2. Tipos de muestras y elaboración.	35
7.3. Toma de muestras.....	36
7.4. Técnicas avanzadas de muestreo.....	37
8. TECNOLOGÍA DE DOSIS VARIABLE	39
8.1. Introducción a la tecnología de dosis variable.	40
8.2. Aplicación de fertilizante con dosis variable.	40
8.3. Control de malezas, plagas y enfermedades con dosis variable.....	40
9. CASO PRÁCTICO: PROCESO DEL ARROZ	41
9.1. Diferenciación de los tipos de arroz y su desarrollo mediante teledetección..	48
10. CONCLUSIÓN	61
11. BIBLIOGRAFÍA	62
12. ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Etapas de la agricultura de precisión.....	3
Ilustración 2: Variabilidad espacial.....	4
Ilustración 3: Variabilidad temporal.....	4
Ilustración 4: Esquemas de constelaciones NAVSTAR y GLONASS respectivamente.....	7
Ilustración 5: Satélite GPS.	8
Ilustración 6: Posición de las estaciones de control.....	9
Ilustración 7: Trilateración satelital.....	9
Ilustración 8: Medición con cuatro satélites.	10
Ilustración 9: Desfase entre satélite y receptor.	10
Ilustración 10: Disponibilidad selectiva.....	13
<i>Ilustración 11: Multipath</i>	13
Ilustración 12: Elementos de un sistema de información geográfica.	18
Ilustración 13: Mapa rendimiento.....	19
Ilustración 14: Teledetección.	21
Ilustración 15: Espectro electromagnético.....	22
Ilustración 16: Respuestas espectrales.	23
Ilustración 17: Tipos de superficie según la reflexión.	23
Ilustración 18: Respuesta espectral del agua.	24
Ilustración 19: Respuesta espectral diferentes tipos de suelos.	25
Ilustración 20: Respuesta espectral de algunos tipos de vegetación.....	26
Ilustración 21: Potencialidad de una zona de cultivo.....	27
Ilustración 22: Imagen mediante dron.....	27
Ilustración 23: Cosechadora equipada con un monitor de rendimiento.	32
Ilustración 24: Muestreo al azar.....	36
Ilustración 25: Muestreo sistemático.....	37
Ilustración 26: Muestreo sistemático estratificado desalineado.	37
Ilustración 27: GPS auto-guiado.....	42
Ilustración 28: Emisor láser.	42

Ilustración 29: Receptor láser.	43
Ilustración 30: Panel de control manual/automático.....	43
Ilustración 31: Abonadora y desterronador.	44
Ilustración 32: Cosechadora.	47
Ilustración 33: Trimble EZ-500.	47
Ilustración 34: Starfire 3000.	47
Ilustración 35: Gráfica del mes de junio de los valores medios espectrales.	48
Ilustración 36: Gráfica del mes de julio de los valores medios espectrales.	49
Ilustración 37: Gráfica del mes de agosto de los valores medios espectrales.	50
Ilustración 38: Gráfica del mes de septiembre de los valores medios espectrales.	50
Ilustración 39: Gráfica del mes de octubre de los valores medios espectrales.....	51
Ilustración 40: Gráfica del NDVI medio de la parcela 44.	52
Ilustración 41: Gráfica del NDVI medio de la parcela 21.	53
Ilustración 43: Gráfica del NDVI medio de la parcela 50.	53
Ilustración 44: Gráfica del NDVI medio de la parcela 22.	54
Ilustración 45: Gráfica del NDVI medio de la parcela 11.	55
Ilustración 46: Gráfica NDVI medio de todas las parcelas.....	55
Ilustración 47: Fases del cultivo en la parcela 11.	56
Ilustración 48: Fases del cultivo en la parcela 21.	57
Ilustración 49: Fases del cultivo en la parcela 50.	58
Ilustración 50: Fases del arroz en la parcela 22.....	58
Ilustración 51: Fases del cultivo en la parcela 26.	59
Ilustración 52: Fases del cultivo en la parcela 44.	60
Ilustración 53: Programa TRIANA.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores medios espectrales de cada una de las parcelas para el mes de junio.....	48
Tabla 2: Valores medios espectrales de cada una de las parcelas para el mes de julio.....	49
Tabla 3: Valores medios espectrales para cada una de las parcelas en el mes de agosto.	49
Tabla 4: Valores medios espectrales para cada una de las parcelas en el mes de septiembre. 50	
Tabla 5: Valores medios espectrales para cada una de las parcelas en el mes de octubre.	51
Tabla 6: NDVI para la parcela 44 del polígono 10.	52
Tabla 7: NDVI para la parcela 21 del polígono 3.	52
Tabla 8: NDVI de la parcela 50 del polígono 10.....	53
Tabla 9: NDVI de la parcela 22 del polígono 3.....	54
Tabla 10: NDVI de la parcela 11 del polígono 3.....	54
Tabla 11: NDVI medio de todas las parcelas.	55

1. Introducción.

La agricultura mundial se debate entre la necesidad de aumentar la producción agrícola y la creciente preocupación medioambiental; de manera global el incremento en la producción de alimentos se viene enfrentando a la demanda de una agricultura de calidad, sostenible y respetuosa con el entorno. Hay que tener en cuenta, a su vez, que el aumento en la producción agrícola se ha producido de dos formas paralelas: por un lado, con la expansión de nuevas áreas agrícolas y, en segundo lugar, dentro de cada área, con el aumento de los rendimientos.

Este aumento de los rendimientos se obtuvo mediante la generación de material genético y el uso de altas dosis de materia prima para crear las condiciones apropiadas, orientadas a eliminar la competencia de los agentes bióticos, suplir los altos requerimientos de alimentos y de agua. Esto, junto al manejo adecuado de nuevas maquinarias y equipos agrícolas para preparar, sembrar, cultivar, cosechar y procesar los productos agrícolas, permitió avances significativos en el área de la producción de alimentos.

Sin embargo, con la modernización de las prácticas agrícolas, surgen nuevos desafíos relacionados a la sustentabilidad ambiental y al concepto económico del proceso de producción dando lugar a la respuesta de investigación de la extensión e innovación relacionados al área agrícola. Para poder enfrentar esos nuevos desafíos, la generación tecnológica permite desarrollar técnicas que cuantifiquen y manejen la variabilidad natural del área productora.

Para ello, con los estudios de automatización de máquinas agrícolas se comenzó a delinear un nuevo concepto de agricultura; de forma complementaria, con los sistemas de posicionamiento global por satélite (GNSS), por lo que fue posible desarrollar equipos inteligentes que permitieron una mayor eficiencia de aplicación de materia prima, reduciendo los costos de la producción alimentaria y disminuyendo el impacto sobre el medio ambiente. A ese conjunto de procesos y sistemas aplicados se les denomina agricultura de precisión.

En este proyecto se van a desarrollar los conceptos básicos de la agricultura de precisión, así como las tecnologías a utilizar dentro del campo de la geomática, como son los sistemas de posicionamiento global (GNSS), los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección. También veremos conceptos claves para poder conocer el funcionamiento necesario de algunas partes de la agricultura de precisión como son los sensores remotos, la tecnología de dosis variable utilizada para el control de malezas, plagas y enfermedades, monitoreo de suelos y factores limitantes del rendimiento y elaboración de mapas. Para aplicar todos los conceptos mencionados se relacionará con un caso práctico del cultivo del arroz en Isla Mayor, población situada en la provincia de Sevilla en España. Además, con la ayuda de documentación recabada en páginas webs, libros, artículos, etc., de programas para la realización de planos, como ArcGis, y con la de agricultores y personal cualificado para el proceso del cultivo del arroz, podremos desarrollar este trabajo de la forma deseada.

El objetivo del presente trabajo es la recaudación de información referente a la agricultura de precisión, para en un posible futuro realizar un estudio más elaborado con sus respectivas comparativas dependiendo de las tecnologías actualmente vigentes en nuestro país y las nuevas tecnologías que están en funcionamiento en América Latina.

CAPÍTULO 2

AGRICULTURA DE PRECISIÓN



2.1. ¿Qué es la agricultura de precisión?

A la combinación de las tecnologías basadas en el sistema de posicionamiento global (GNSS) y en sistemas de información geográfica (SIG) se le llama agricultura de precisión (AP), y engloba el paradigma de la agricultura sitio-específica que consiste en observar las distintas zonas del terreno de nuestro campo y aplicarles diferentes insumos según su problemática específica o diferenciando su potencial de producción.

Así mismo, podemos definir la agricultura de precisión como un conjunto de técnicas dirigido a la optimización de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad temporal y espacial de la producción agrícola.

Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir el conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes según se define en AGCO, 2005 como se representa en la ilustración 1:

1. Recolección de datos.
2. Procesamiento e interpretación de la información.
3. Aplicación de insumos.

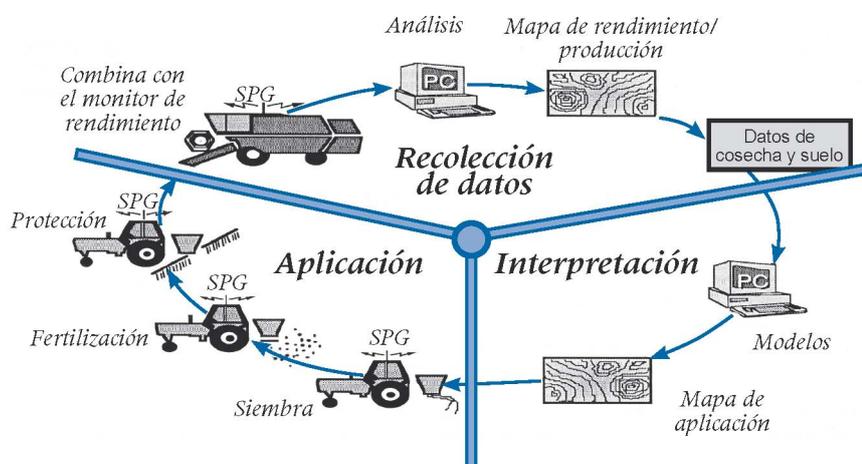


Ilustración 1: Etapas de la agricultura de precisión (kriego.net).

Las tecnologías de la agricultura de precisión permiten satisfacer el manejo óptimo de grandes extensiones, presentando como principal ventaja el análisis de resultados obtenidos a través de ensayos realizados en diferentes sectores dentro de un mismo campo, y de esta manera ajustar el manejo diferencial dependiendo de los requisitos de cada uno de los sectores, sin necesidad de aplicar mayor o menor cantidad de insumos. Este dato sólo podrá obtenerse mediante la realización de un mapa de rendimiento, del mismo modo, podrán analizarse el tipo y la dosis de fertilizante a aplicar, la cantidad de semilla que cada punto soporta, los nutrientes requeridos y, además, el control de malezas, plagas y enfermedades en los puntos que demanden tal control, pudiendo georreferenciar¹ y aplicar los insumos con dosis variables en puntos de áreas de coordenadas geográficas conocidas.

¹ Localizar geográficamente una zona.

Para conseguir la optimización de los insumos es necesario realizar un estudio de la variabilidad del suelo y cultivo, con el fin de establecer patrones de rendimiento dentro de una misma zona con modificaciones de suelo y variaciones climáticas.

Para entender y aplicar la agricultura de precisión es necesario definir tres conceptos básicos:

1. Variabilidad espacial: expresa los distintos cambios sufridos en un terreno, con un mismo cultivo (ilustración 2).



Ilustración 2: Variabilidad espacial (tracasa.es).

2. Variabilidad temporal: expresa los cambios producidos en un mismo campo en distintas cosechas (ilustración 3).

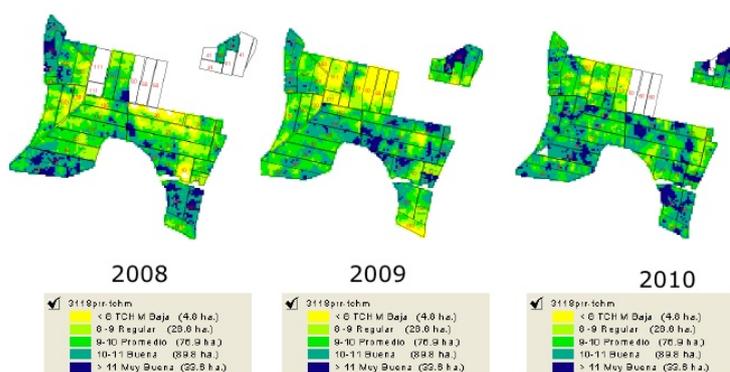


Ilustración 3: Variabilidad temporal (es.slideshare.net).

3. Variabilidad predictiva: está relacionada con los errores de administración.

Las prácticas de manejo localizado se basan en mapas de productividad o fertilidad del suelo y en la toma de decisiones que pueden efectuarse a partir de información proporcionada por la base de datos del mapa o la obtenida por sensores, en tiempo real, en el mismo instante en que se está llevando a cabo una determinada acción.

Las principales herramientas de agricultura de precisión que la hacen posible y se expondrán en los siguientes capítulos son:

- 1) El sistema de posicionamiento global (GNSS).
- 2) Sistemas de información geográfica (SIG).
- 3) Teledetección.
- 4) Monitoreo de rendimiento.
- 5) Muestreo del suelo.
- 6) Tecnologías de dosis variable.

2.2. Evolución histórica

Desde que el hombre comenzó con la agricultura en la época del Neolítico, está ha tenido distintas fases en su evolución. Se inició con la utilización de herramientas agrícolas realizadas con madera tales como la azada o la hoz.

Una alternativa eficaz para la preparación de tierras, transporte y otras labores agrícolas fue el uso de animales (caballos, mulas y bueyes) que empezó a introducirse entre los pueblos de Mesopotamia y Egipto a finales del medioevo.

En 1860 empezaron los primeros ensayos con trilladoras a vapor, pero, en España, hasta los años 50 no podemos decir que se produjo el cambio entre la agricultura tradicional y la contemporánea.

En la década de los 80 se desarrolló el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) por los EEUU, el cual, después de que fuera liberado para uso civil, se implantó en los tractores dando lugar a una nueva forma de agricultura. En España no se vio esta nueva tecnología hasta el año 2000.

Al igual que el Sistema de Posicionamiento Global (GNSS), la teledetección también fue desarrollada con el objetivo de uso militar, pero con el paso de los años ha llegado a utilizarse en la agricultura de precisión, con el fin de abaratar costos y aumentar la producción de los alimentos.

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).



3.1. Antecedentes.

Como se ha mencionado con anterioridad, el departamento de Defensa de los Estados Unidos diseñó un sistema de localización (latitud y longitud) denominado Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Dicho sistema se encuentra en la constelación NAVSTAR (Navigation System with Timing and Ranging) formada por 24 satélites, ubicados en 6 planos orbitales con una inclinación de 55° respecto al ecuador, a 20.200 km de altitud y con un periodo de 12h (ilustración 4).

Un sistema de navegación similar es el desarrollado por la antigua Unión Soviética (Rusia) llamado GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITES SYSTEM) con un sistema de referencia terrestre propio (PZ-90²). Está compuesto por 24 satélites distribuidos en 3 planos orbitales, con 8 satélites cada uno, inclinados 64.8° respecto al ecuador, a 19.100 km de altitud y con un periodo de 11h 15 minutos (ilustración 4).

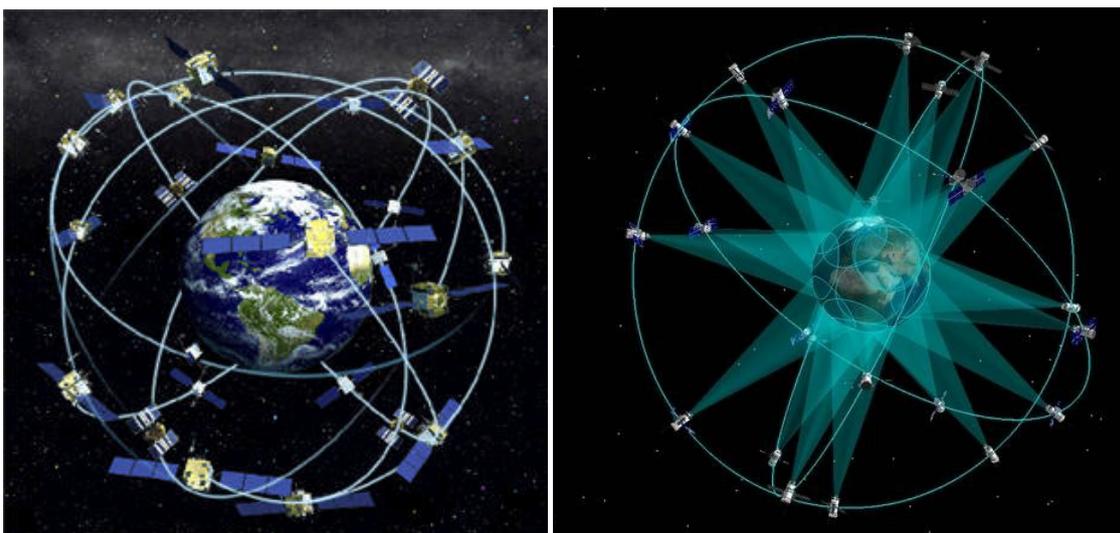


Ilustración 4: Esquemas de constelaciones NAVSTAR y GLONASS respectivamente (xatakaciencia.com, noticiasdelaciencia.com).

Por otra parte, el sistema GALILEO es una constelación europea que estará formada por 30 satélites de los cuales 3 serán geoestacionarios³ y 27 de órbita terrestre media, distribuidos en 3 planos inclinados 56° y a 23.222 km de altitud.

Por último, podemos encontrar el sistema de navegación chino llamado COMPASS o BEIDOU que constará de 35 satélites de los cuales 27 serán de órbita terrestre media, 5 en órbitas geoestacionarias y 5 en órbitas no geoestacionarias inclinadas, distribuidos en 3 planos.

También cabe destacar los sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS), que son correcciones de las señales que los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) transmiten al receptor GPS. Estos sistemas mejoran el posicionamiento horizontal y vertical del receptor dando información sobre la calidad de las señales. Podemos encontrar diferentes SBAS dependiendo de la región. Por ejemplo, para Europa encontraremos EGNOS, en Estados Unidos WAAS, en India GAGAN, etc.

² Marco de referencia Parametría Zemli 1990 (parámetros de la tierra).

³ Permanece estático para un observador situado sobre la superficie terrestre.

3.2. Sistema de Posicionamiento Global (GNSS).

El sistema de posicionamiento global es un sistema de radionavegación satelital diseñado para calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas conocidas, bien sean coordenadas geográficas (latitud y longitud) o coordenadas cartesianas (X, Y, Z).

El sistema está integrado por tres segmentos o componentes de un sistema, según indica el Instituto Nacional de Estadística y Geografía⁴:

1. El segmento espacial está compuesto por la constelación NAVSTAR, cuyos satélites GPS transmiten dos señales de radio de baja potencia, llamadas "L1" y "L2". Cada señal GPS contiene tres componentes de información: un código pseudoaleatorio, los datos de efemérides de satélite y datos de almanaque. El código pseudoaleatorio identifica al satélite que transmite su señal. Los datos de efemérides de satélite proporcionan información sobre la ubicación del satélite en cualquier momento. El almanaque contiene información sobre el estado del satélite y la fecha y hora actuales. Para cada satélite, el tiempo es controlado por los relojes atómicos de a bordo que son cruciales para conocer su posición exacta (ilustración 5).



Ilustración 5: Satélite GPS (mundogeo.com).

2. El segmento de control está compuesto por una serie de estaciones de rastreo, distribuidas en la superficie terrestre que continuamente monitoriza a cada satélite analizando las señales emitidas por estos y a su vez, actualiza los datos de los elementos y mensajes de navegación, así como las correcciones de reloj de los satélites. Las estaciones se ubican estratégicamente cercanas al plano ecuatorial y en todas se cuenta con receptores con relojes de muy alta precisión (ilustración 6).

⁴ Información obtenida de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/gps.aspx?dv=c1>



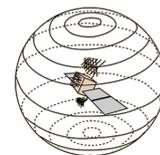
Ilustración 6: Posición de las estaciones de control (visibleearth.nasa.gov).

3. El segmento de usuarios lo integran los receptores GPS que registran la señal emitida por los satélites para el cálculo de su posición tomando como base la velocidad de la luz y el tiempo de viaje de la señal, así se obtienen las pseudodistancias entre cada satélite y el receptor en un tiempo determinado, observando al menos cuatro satélites en tiempo común; el receptor calcula las coordenadas X, Y, Z y el tiempo.

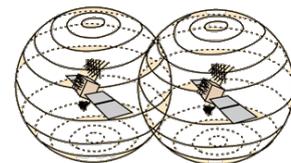
3.3. Principios de funcionamiento.

3.3.1. Trilateración de los satélites.

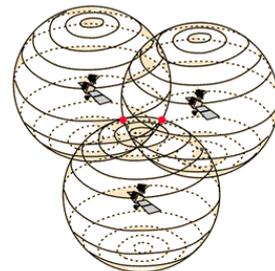
Para determinar la ubicación exacta de un punto sobre la superficie terrestre se utiliza el método de triangulación. Para ello, supongamos que medimos la distancia de un punto de la Tierra a un satélite y resulta ser de 20.000 km, por lo que la ubicación está limitada a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y un radio de 20.000 km.



A continuación, medimos la distancia a otro satélite y observamos que estamos a 21.000 km, con lo que podemos saber que no sólo estamos en la esfera de radio 20.000 km sino, también, sobre otra esfera de radio 21.000 km, por lo que estamos en una circunferencia intersección de ambas esferas.



Si ahora medimos la distancia a un tercer satélite y resulta ser de 23.000 km, limita nuestra posición a dos puntos en los cuales la esfera de 23.000 km interseca con las dos primeras esferas.



Es decir, que tomando las medidas a tres satélites limitamos nuestra posición a dos puntos, de los cuales, uno de ellos sería descartado por la ubicación lejana a la superficie terrestre (ilustración 7).

También podemos medir a un cuarto satélite para saber la ubicación exacta sobre la superficie terrestre, es decir, conocer las coordenadas de latitud, longitud y altitud. Los motivos para el uso de este cuarto satélite se expondrán debidamente, más adelante (ilustración 8).

Ilustración 7: Trilateración satelital(hyperphysicscs.phy-astr.gsu.edu).

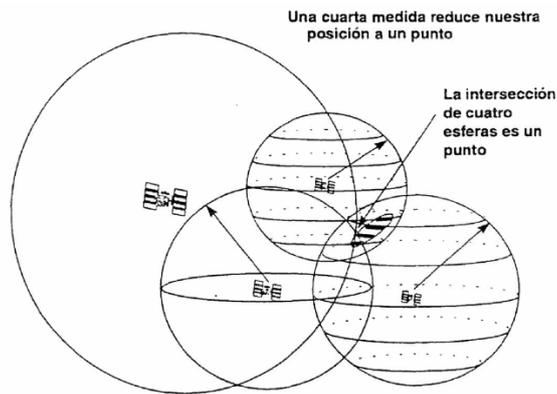


Ilustración 8: Medición con cuatro satélites (ocw.upm.es).

3.3.2. Medición de las distancias.

La determinación de la distancia de los receptores GPS a los satélites se realiza midiendo cuánto tardan en llegar las señales de radio emitidas por cada uno de los satélites. Sabemos que, en el caso del GPS, estamos midiendo una señal de radio que viaja a la velocidad de la luz (300.000 km/s).

Los satélites emiten un código denominado C/A diferente, lo que genera un ruido pseudoaleatorio y, de este modo, el receptor identifica cada uno de ellos. Una vez, el receptor identifique al satélite, genera una réplica del código recibido, para así, correlar los códigos generado y recibido y determinar el tiempo que tarda en llegar la señal; siendo ésta multiplicada por la velocidad de la luz, obtendríamos la distancia.

El código pseudoaleatorio trata de una secuencia complicada de pulsos. La complejidad del código evita que otra señal pueda ser sintonizada con el receptor, además, de ser confundida con otro satélite. De esa manera los satélites pueden transmitir en la misma frecuencia sin interferirse (ilustración 9).

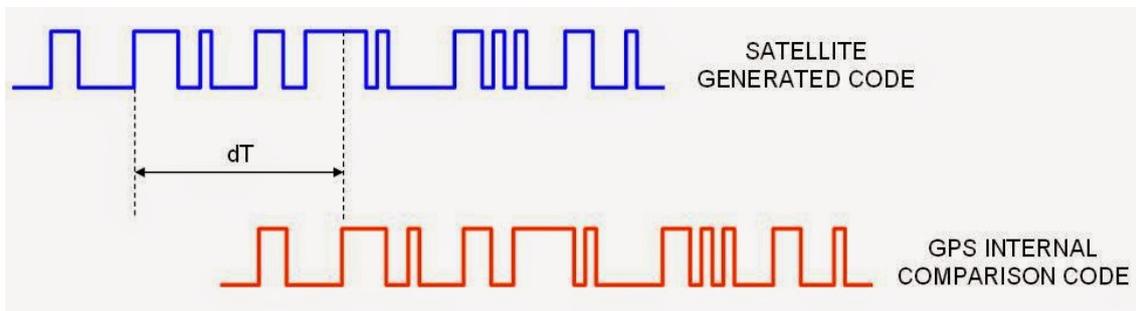


Ilustración 9: Desfase entre satélite y receptor (greatbustardsflight.blogspot.com).

3.3.3. Control del tiempo.

Como se ha evidenciado en el apartado anterior, la distancia se calcula con el tiempo que tarda en llegar la señal de radio al receptor, pero si se produce un desvío de una milésima de segundo en la medición, a la velocidad de la luz, se estaría produciendo un error de 300 km aproximadamente.

Los satélites cuentan con relojes atómicos que mantienen una escala de tiempo continua y estable. Puesto que son muy costosos, los receptores utilizan relojes de cuarzo con una alta estabilidad.

Sabemos que se puede calcular la posición de un punto con tan sólo tres satélites, pero para obtener un timing⁵ tan perfecto se debe efectuar una medición adicional, de ese modo se corregirá el error de sincronización producido por los relojes de cuarzo.

Con los relojes perfectos, la intersección de las distancias a todos los satélites sería un punto único que indicaría nuestra posición. Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, realizada como control cruzado, no intersectará en el punto calculado con los tres satélites. Cuando esto ocurre la capturadora del GPS atribuirá la diferencia a una desincronización con la hora universal utilizada por el sistema, por lo que el reloj interno será automáticamente adelantado o atrasado hasta que permita que las mediciones de las distancias coincidan en un solo punto (Bongiovanni, Chartuni Mantovani, Best, et al., 2006).

3.3.4. Determinación de la posición de los satélites.

Para determinar la ubicación de un punto, utilizamos como referencia los satélites, pero, para ello, debemos de saber dónde están en el momento en que se produce la medición. Recordemos que esta posición será el centro de una esfera de radio igual a la distancia al receptor que, intersectada con otras esferas, nos dará nuestra posición.

Cada satélite puede ser localizado, en un momento determinado, a través de un almanaque que tienen los receptores GPS en su memoria. Este almanaque es actualizado semanalmente con las efemérides⁶ que corresponden a los datos que el segmento de control transmite a cada satélite, con la información sobre las correcciones en los cálculos de las órbitas, obtenidas mediante radares muy precisos que les permiten determinar la exacta altura, posición y velocidad del satélite.

3.3.5. Corrección de errores.

Hasta ahora, hemos valorado que todos los cálculos del proceso en el sistema GPS se han realizado en el vacío, pero en realidad la señal se ve afectada por distintos factores y por ello, el receptor GPS debe de tener en cuenta toda la variedad de errores posibles. Estos errores pueden ser sistemáticos o aleatorios y pueden clasificarse según su procedencia en errores asociados al satélite, errores intencionados, y errores que afectan a la posición del receptor.

⁵ Coordinación del tiempo.

⁶ Posición de los satélites.

Los errores sistemáticos serán: errores orbitales, errores en los relojes de los receptores, errores atmosféricos y errores del reloj del satélite. Y los errores accidentales: las pérdidas de ciclo, la variación del centro de fase de la antena, multitrayectoria y errores de observación.

En primer lugar, afirmamos que la distancia de satélite se obtenía multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz, pero ésta última sólo es constante en el vacío.

Una señal GPS en su recorrido hasta llegar al receptor, tiene un error de propagación al pasar por tres zonas: el vacío, la ionosfera y la troposfera.

Como ya sabemos, en el vacío el retardo es inexistente y esta zona ocupa la distancia entre los 1.000 km de altitud y la posición de la órbita.

La ionosfera está comprendida entre los 100 y 1.000 km de altitud. Está considerada un medio dispersivo⁷ por lo que su índice de refracción depende de la frecuencia, dando como resultado el retardo o adelanto de la señal GPS. Este efecto puede ser eliminado por la combinación lineal de dos frecuencias.

La troposfera es la capa más cercana a la Tierra, ocupa los 100 primeros kilómetros, de los cuales, los 40 primeros son los que más afectan a la señal. El retardo troposférico puede modelarse en dos componentes, una seca que contribuye a un 90% de error y otra húmeda que representa el otro 10%. Para minimizar el error, los modelos troposféricos más utilizados son los que predicen cuál sería el error tipo de un día promedio o en comparar la velocidad relativa de dos señales diferente, para lo que se debe recurrir a receptores de doble frecuencia bastante sofisticados.

Los errores orbitales se producen a causa de la diferencia entre la posición deducida de las efemérides transmitidas en el mensaje de navegación y la posición de dicho satélite. Estos errores pueden ser provocados por distintas causas, aunque gran parte son modelados y los valores para corregir estos errores vienen en el mensaje de navegación, existen ligeros errores puesto que es imposible predecir exactamente las posiciones de los satélites.

Los errores que se producen en los relojes de los satélites son debido a la falta de sincronización respecto al patrón de tiempo atómico y a un error relativista. El primero, corresponde a los problemas de deriva producidos en el oscilador y puede calcularse a partir de los valores enviados en el mensaje de navegación o corregirse a partir de los datos que envían las instituciones para trabajar en Posicionamiento de Punto Preciso (PPP). Este error se elimina mediante simples diferencias.

Sabiendo que la posición del receptor se considera un sistema de referencia terrestre fijo y el del satélite un sistema de referencia acelerado, debemos tener en cuenta el distinto comportamiento de los osciladores. Además, los relojes del satélite y del receptor están a una distancia de 21.200 km por lo que se produce una deriva entre ellos debido al potencial gravitatorio terrestre y la velocidad relativa entre ambos.

Se trata de un error pequeño (pocas partes por billón) que se puede descomponer en dos partes: la primera, debido a la diferencia de potencial gravitatorio (relatividad general) se disminuirá la frecuencia fundamental del oscilador en el reloj del satélite, puesto que a menor gravedad el reloj se adelanta. Y la segunda corrección, es debida a los efectos de la relatividad espacial,

⁷ Medio en el cual la velocidad de propagación de la onda depende de la frecuencia.

causada por la excentricidad de las órbitas, originada por la velocidad relativa entre satélite y receptor.

El error de la Disponibilidad Selectiva (SA) supone la degradación intencionada de la señal GPS causada por el departamento de defensa estadounidense, que provocaba un error en el estado del reloj y en los parámetros orbitales entorno a los 100 m. Fue abolido en el 2000, aunque trabajando con posicionamiento relativo o diferencial podía eliminarse este error (ilustración 10).

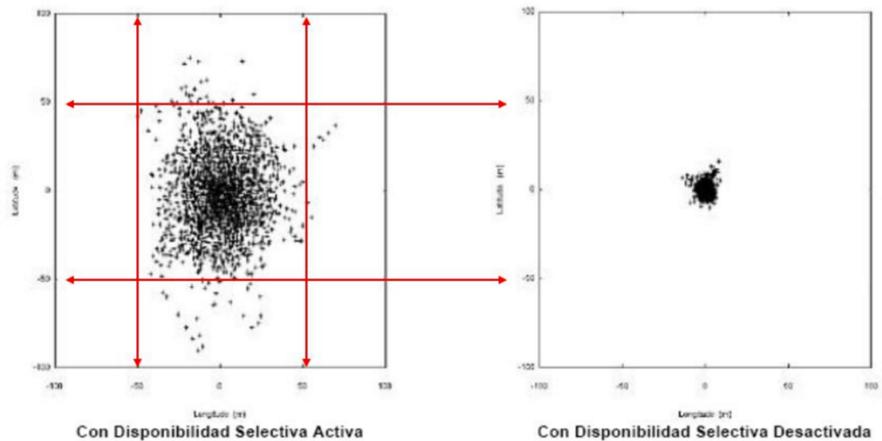


Ilustración 10: Disponibilidad selectiva (slideplayer.es).

La pérdida de ciclo es causada por la interrupción de la señal enviada por el satélite, posiblemente por un fallo en el software del receptor o un mal funcionamiento del oscilador del satélite.

El efecto multitrayectoria (Multipath) es producido por la reflexión de las ondas que rebotan contra el suelo y objetos cercanos. Se puede minimizar con la utilización de máscaras de elevación o la utilización de planos de tierra y materiales que absorban la señal entre otros (ilustración 11).

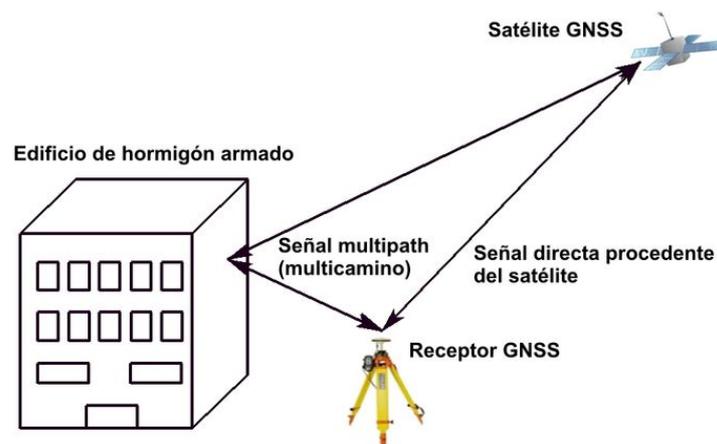


Ilustración 11: Multipath (printerest.es).

El error en el reloj del receptor es causado por la poca precisión de éste, ya que suele ser de cuarzo, produciendo un error en la distancia satélite-receptor de 1 m. Este reloj se utiliza para generar la réplica de la señal, teniendo un desfase respecto a la escala de tiempo produciendo el error en el momento de recibir la señal. Puesto que el error afecta a todos los satélites por igual, el error se puede determinar conociendo la posición de cuatro satélites.

Por último, la variación del centro de fase de la antena se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico⁸ y el centro mecánico o físico. Esta falta de coincidencia se debe a la variación del centro radioeléctrico en función del azimut, elevación e intensidad y frecuencia de la señal recibida. Para evitar este error se recomienda una orientación aproximada común para todas las antenas.

3.4. Corrección diferencial (DGPS).

Los errores mencionados en el apartado anterior reducen la precisión de posición dando lugar a errores entre 5 y 20 metros. En algunos casos es factible trabajar con estos errores, pero en múltiples ocasiones son necesarias la mejora de la precisión y para ello se utiliza un método llamado corrección diferencial (DGPS).

Este sistema funciona usando dos receptores simultáneamente, de los cuales, un receptor, el de referencia, está ubicado en una posición exacta. Gracias al conocimiento de sus coordenadas es posible calcular el error que transmite cada satélite, conocido como distancia de corrección diferencial y, siendo, la diferencia entre la distancia real desde el receptor de referencia y cada satélite. Y un segundo receptor, el itinerante, aplica las correcciones a sus mediciones que son transmitidas por el receptor de referencia mediante un código predefinido RTCM (Radio Technical Commission Maritime).

3.4.1. DGPS y agricultura de precisión.

En la agricultura, una precisión aceptable en un equipo de posicionamiento ha de ser de 3 metros como mínimo. La situación resulta más compleja cuando se asocia un equipo DGPS a una maquinaria en continuo movimiento, dado que situar un objeto en esas circunstancias varía entre 1 y 10 metros en función del número de satélites encontrados y del equipo empleado.

En un estudio realizado por el Instituto de Ingeniería Agronómica de Bornim (Alemania), se detectaron dos problemas fundamentales asociados al trabajo de maquina en campo abierto. El primero, la recepción insuficiente de señales desde los satélites durante un tiempo determinado a causa de la presencia de accidentes orográficos produciendo sombras. Y el segundo, errores graves de localización por la pérdida de la señal con el receptor encargado de transmitir las correcciones, posiblemente, a causa de edificaciones o áreas arboladas.

La solución propuesta para cuando se produzcan perdidas temporales de señal consiste en la introducción de sistemas de navegación inerciales (giróscopos) para complementar los datos obtenidos por el DGPS.

⁸ Punto donde se posiciona, ya que a él llega la señal.

3.5. Posicionamiento de Punto Preciso (PPP).

Posicionamiento de Punto Preciso (PPP) es un satélite basado en una técnica de posicionamiento con altas precisiones en tiempo real. Cuando trabajamos con PPP, los errores cometidos son mitigados por la combinación de orbitas precisas y datos de corrección en el reloj, junto a un esquema de modelamiento adicional de errores en el receptor, dando como resultado precisiones sub-decimétricas. Aunque PPP es un único receptor, requiere los datos de las precisiones de las coordenadas y los estados de los relojes de los satélites GPS en tiempo real, siendo proporcionados por una red global de estaciones GNSS y de instituciones.

3.5.1. Errores en PPP.

En referencia al esquema de modelamiento adicional, comentado con anterioridad, nos referíamos a los errores que se pueden encontrar como: la rotación de fase de los satélites, correcciones de las mareas terrestres, cargas oceánicas, el movimiento del polo y el movimiento de las placas tectónicas, entre otros parámetros geofísicos y que son corregidos por este método.

3.5.2. Ventajas y desventajas del PPP.

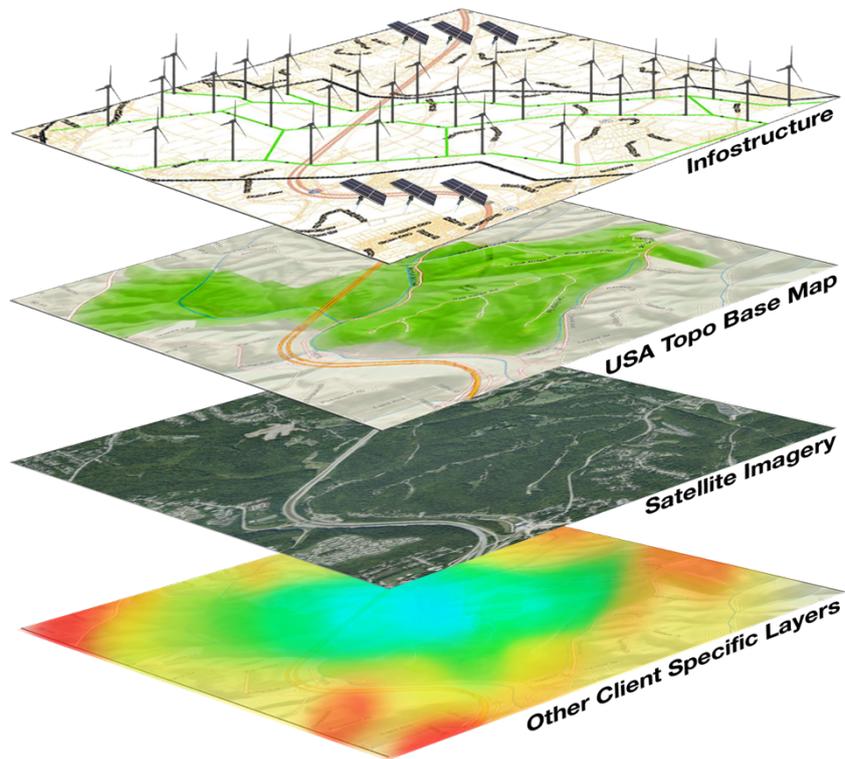
Las ventajas más importantes del PPP son:

1. Los usuarios no tienen que vincularse a un marco de referencia utilizando una estación base con coordenadas conocidas.
2. Desaparecen las limitaciones referidas a la base o longitud del vector.
3. Simplifica el procesamiento de las observaciones GNSS y el trabajo de campo.
4. Puede aplicarse tanto a levantamientos estáticos como cinemáticos.
5. Permite el acceso directo al marco de referencia ITRF (Marco Internacional de Referencia Terrestre).

La principal desventaja del PPP es que requiere de tiempos de convergencia largos, necesarios para que las soluciones de las ambigüedades de fase converjan para garantizar un posicionamiento centimétrico. En los levantamientos cinemáticos, el problema del tiempo de convergencia puede solucionarse realizando una observación estática lo suficientemente larga antes de comenzar.

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).



4.1. Introducción.

Todo punto situado en el espacio puede ser localizado por medio de unas coordenadas, característica principal de la información georreferenciada. Para poder realizar una localización adecuada, es necesario establecer un sistema de referencia, el cual, requiere de conceptos y desarrollos complejos de distintas ciencias como matemáticas, física y geometría.

Sin lugar a dudas, la Tierra no es una superficie plana, sino que se podría decir que se asemeja a un elipsoide, y puesto que los mapas y sistemas de información geográfica (SIG) pueden contener grandes extensiones de territorio y, en esos casos, no se puede excluir la curvatura terrestre, es necesario el estudio geodésico, ya que todas las ramas de la geodesia dan forma a una serie de métodos y conceptos que van a permitir la utilización de coordenadas para localizar puntos sobre la superficie terrestre.

Otro concepto que debe tenerse en cuenta cuando se trabaja con un sistema de información geográfico son las proyecciones cartográficas, siendo métodos que permiten la transformación de coordenadas de una superficie curva terrestre en coordenadas sobre superficies planas. Aunque tampoco debemos olvidar la escala, relación existente entre el tamaño de representación de un objeto y su tamaño real.

4.2. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un Sistema de información geográfica es un conjunto de métodos, herramientas y datos diseñados para capturar, almacenar, manipular, desplegar y analizar los datos u objetos referenciados geográficamente con el propósito de resolver problemas de gestión y planificación, además de una base de datos.

Un sistema de información geográfica (SIG) está compuesto por los siguientes elementos (ilustración 12):

- Hardware: se compone de equipos electrónicos.
- Software: es el encargado de realizar las operaciones y manipulación de los datos (programas). Sus componentes principales son:
 - Sistema para el manejo de base de datos.
 - Interfaz gráfica de usuarios para el fácil acceso a las herramientas.
 - Herramientas para la captura y el manejo de la información geográfica.
 - Herramientas que permitan la búsqueda y consultas de análisis y visualización de los datos geográficos.
- Datos espaciales: es la información georreferenciada utilizada en los sistemas de información geográfica que pueden ser adquiridas por quien utiliza el programa, así como por terceros que dispongan de los datos necesarios.
- Equipo humano: personas que realizan los análisis siguiendo sus propios criterios.
- Procedimientos: métodos basados en un buen diseño y reglas de actividad definidas, siendo éstas, los modelos y prácticas operativas características de cada organización.



Ilustración 12: Elementos de un sistema de información geográfica (<http://sig-sosw2012-2.blogspot.com.es>).

4.2.1. Funcionamiento de los sistemas de información geográfica (SIG).

Un sistema de información geográfica (SIG), básicamente, trabaja como una base de datos que almacena datos alfanuméricos (información geográfica) asociados por un identificador común a los objetos existente en un mapa digital. De esta forma, es posible conocer los atributos de un objeto que está siendo señalado, al igual, qué si realizamos una pregunta en la base de datos a cerca de un registro, se puede saber su localización en el mapa.

Una de las funciones más importantes de los sistemas de información geográfica (SIG), y que nos ayudan a gestionar la información espacial, es la permisividad que tiene el sistema para separar la información en diferentes capas temáticas y almacenarlas de forma independiente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, además de facilitar al profesional la posibilidad de relacionar la información existente en diversas capas a través de la topología de objetos, con el fin de generar otra capa nueva obteniendo los resultados deseados.

El funcionamiento de un sistema de información geográfica (SIG) consta de las siguientes fases:

- Entrada de la información en el sistema, ya sea digital o pendiente de digitalización.
- Almacenamiento y actualización de las bases de datos georreferenciando la información mediante coordenadas geográficas de latitud y longitud.
- Análisis e interpretación de los datos georreferenciados.
- Salida de la información en forma de diferentes productos, dependiendo de las necesidades del usuario.

4.3. Agricultura de precisión y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas claves dentro de la agricultura de precisión ya que permiten la recolección, almacenamiento, análisis y procesamiento de información georreferenciada de un campo o cultivo definido, dando lugar a un mapa digital en el cual, es posible interactuar con él.

Gracias a los sistemas de información geográfica combinados con sistemas de posicionamiento global (GNSS) es posible determinar los puntos exactos para la realización de las extracciones de muestras del suelo para un posterior análisis, un mejor uso de fertilizantes y otros correctivos para los suelos, determinando el umbral económico para el tratamiento de plagas y malezas, y así, proteger los recursos naturales.

Hoy en día, la maquinaria agrícola está equipada con tecnología que permite la recopilación de gran cantidad de capas de información sobre un sector o lote de un campo. Una de estas capas son los llamados mapas de rendimiento que son modelos digitales formado por un conjunto de puntos de mapeo registrados durante la cosecha de un lote (ilustración 13).

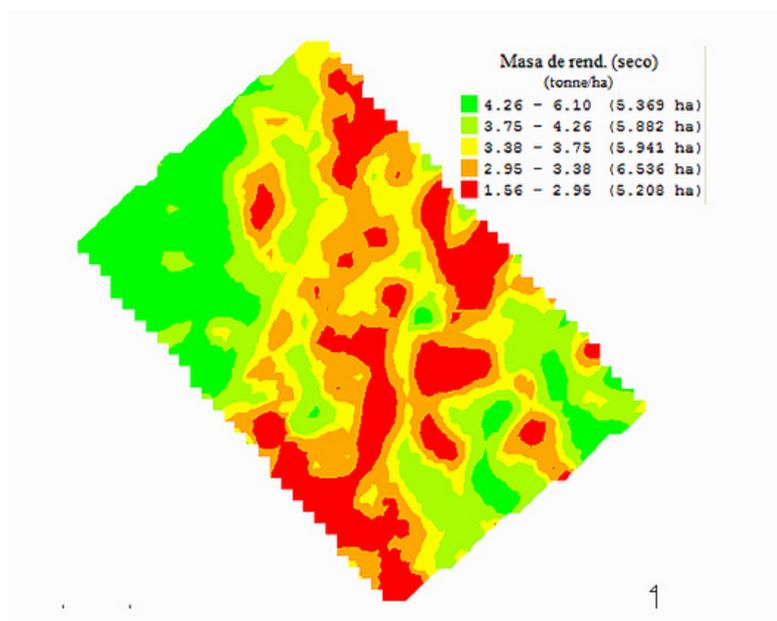
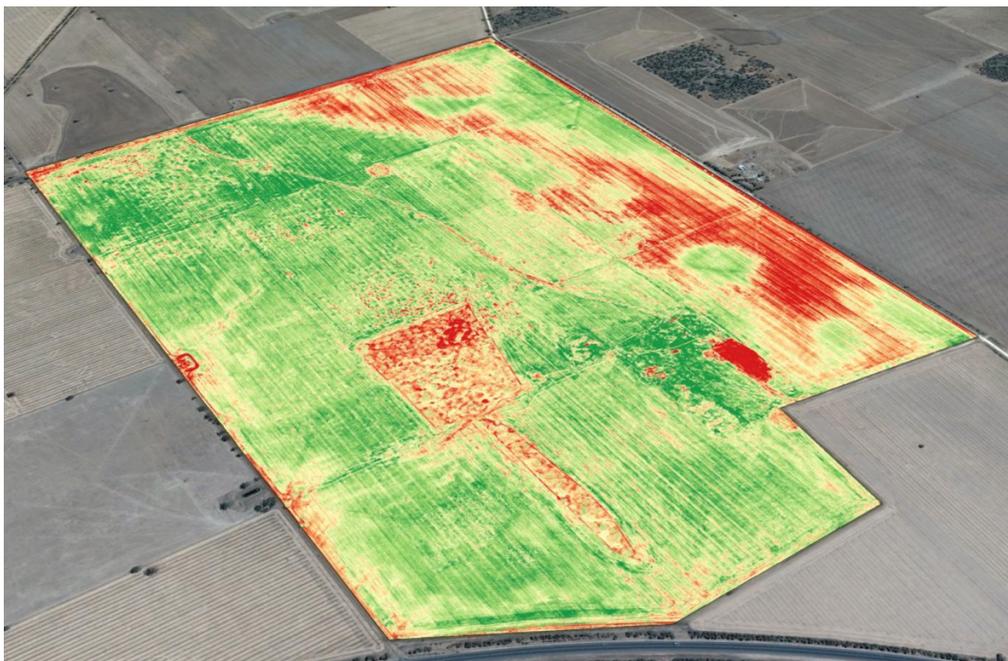


Ilustración 13: Mapa rendimiento (<http://www.pregonagropecuario.com>).

CAPÍTULO 5

TELEDETECCIÓN APLICADA A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.



5.1. Introducción a la teledetección.

La teledetección o percepción remota es una disciplina que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis y la interpretación de objetos situados en la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible, es preciso que exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor.

Los principales elementos de todo sistema de teledetección son: el sensor, que puede estar en plataformas satelitales o aéreas, el objeto observado y el flujo energético que permite poner a ambos en relación.

Las tres formas de adquisición de información a partir de un sensor remoto son:

- Por reflexión: luz emitida por el Sol.
- Por emisión: luz proveniente de las propias cubiertas.
- Por emisión-reflexión: luz emitida por el sensor.

Las luces emitidas, por reflexión, emisión o emisión-reflexión mencionadas anteriormente, iluminan la superficie terrestre, que refleja la energía en función del tipo de cubierta presente sobre la tierra. Ese flujo es recogido por el sensor y transmitido a estaciones receptoras. No hay que olvidar, que la atmósfera se interpone entre el sensor y la superficie, lo que hace que la señal original se disperse o parte de ella sea absorbida (ilustración 14).

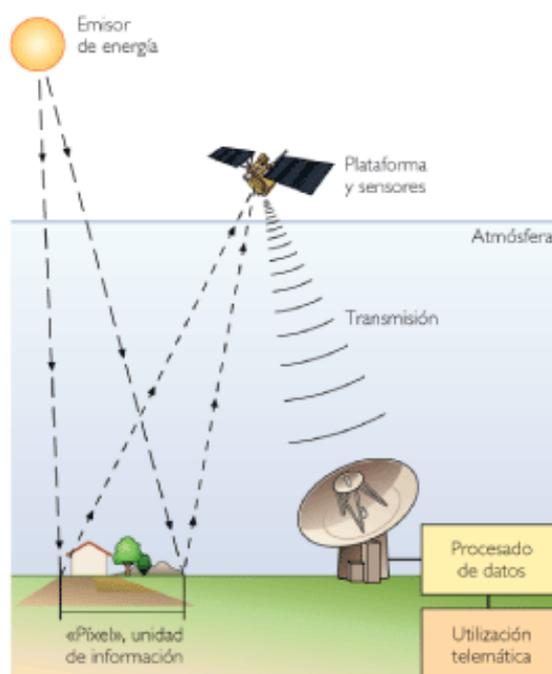


Ilustración 14: Teledetección (<http://www.sicurellakaren.blogspot.com>).

Hay dos tipos de sensores en teledetección:

- Pasivos: Se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de las cubiertas terrestres.
- Activos: Poseen su propia fuente de radiación electromagnética.

5.1.1. Espectro electromagnético.

Es posible definir cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda (λ) o su frecuencia (F), elementos de las características del flujo energético. La sucesión de valores de la longitud de onda es continua, pero se establecen una serie de bandas donde la relación electromagnética muestra un comportamiento similar, denominado espectro electromagnético.

En teledetección cabe destacar las siguientes bandas espectrales (ilustración 15):

- Espectro visible: Radiación electromagnética percibida por el ojo humano, coincidiendo con las longitudes de onda donde es máxima la radiación solar. Se distinguen tres bandas:
 - Azul (0,4 a 0,5 μm)
 - Verde (0,5 a 0,6 μm)
 - Rojo (0,6 a 0,7 μm)
- Infrarrojo próximo (0,7 a 1,3 μm): Facilidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm): Se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y la emisión de la superficie terrestre. Facilita la estimación del contenido de humedad en la vegetación y la detección de focos de alta temperatura.
- Infrarrojo térmico o lejano (8 a 14 μm): Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, donde se detecta el calor mayormente procedente de las cubiertas terrestres.
- Microondas (a partir de 1mm): Tipo de energía transparente a la cubierta nubosa.

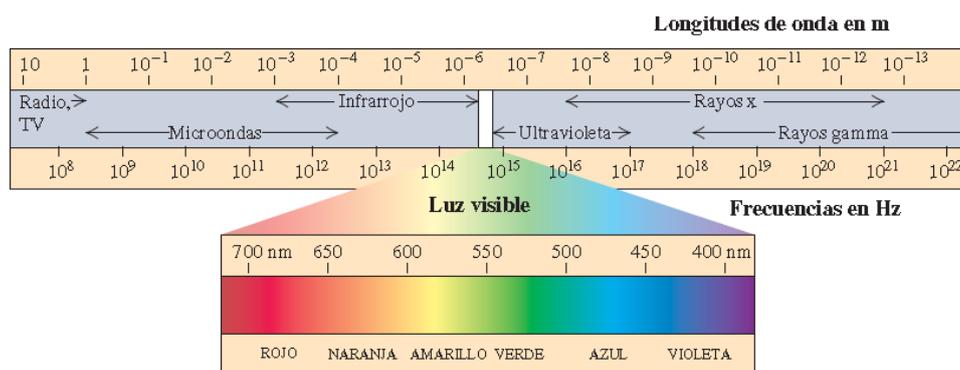


Ilustración 15: Espectro electromagnético (<http://www.edbar01.files.wordpress.com>).

5.1.2. Comportamiento espectral de los objetos.

Todos los objetos reciben radiación emitida por otros cuerpos y en función del objeto considerado, la energía puede ser:

- Reflejada: la radiación es reenviada de vuelta.
- Absorbida: la radiación absorbida por un objeto pasa a incrementar su energía.
- Transmitida: la radiación se transmite hacia otros objetos.

Cada uno de los objetos que podemos encontrar en la superficie terrestre refleja la radiación incidente de distintas formas, lo que permite poder diferenciarlos (ilustración 16). El flujo de los objetos que es recibido por el sensor depende de los siguientes factores:

- Reflectividad de la cubierta.
- Condiciones atmosféricas.
- Pendiente y orientación del terreno.
- Geometría de la observación.

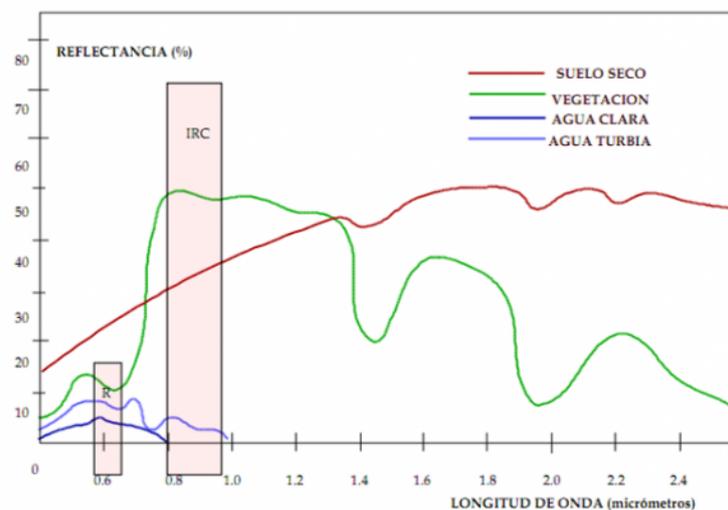


Ilustración 16: Respuestas espectrales (<http://geormg.blogspot.es>).

Los tipos de reflexión que se encuentran en las superficies terrestres son (ilustración 17):

- Reflexión especular: reflejan la radiación solar con un ángulo igual al ángulo incidente (superficies lisas).
- Reflexión difusa: reflejan la radiación en todas direcciones (superficies rugosas).

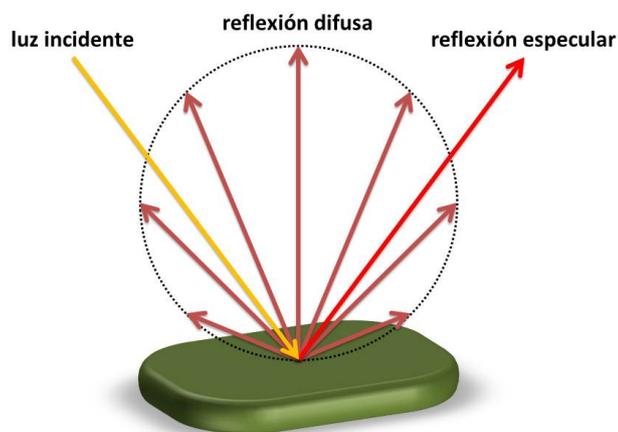


Ilustración 17: Tipos de superficie según la reflexión (<http://3.bp.blogspot.com>).

Las distintas coberturas que podemos distinguir en la superficie terrestre son: agua, suelo y vegetación.

Respuesta espectral del agua.

Las características de las zonas acuáticas dependen de:

- Radiación incidente en la superficie del agua.
- Propiedades ópticas del agua.
- Rugosidad de la superficie.
- Ángulos de observación e iluminación.
- Reflexión de la luz desde el fondo.

Parte de la radiación que llega a la superficie acuática es reflejada hacia la atmósfera dando información sobre la rugosidad de la superficie, especialmente sobre el viento y el oleaje. Las propiedades espectrales del agua vienen determinadas por la energía dispersada y reflejada dentro de ella, ya que parte de esta radiación se redirige de nuevo hacia la superficie, atravesando la atmósfera y finalmente llegando al sensor. El resto de energía que penetra en el agua se ve afectada de distintas formas dependiendo de si el agua es clara o turbia. En el primer caso, por los fenómenos de absorción y dispersión y en el segundo, por reflexión y dispersión.

El agua clara tiene excelentes propiedades en cuanto a la absorción de la radiación electromagnética en el infrarrojo y de la transmisión en el espectro visible. Para la reflectancia, aparece un pico en la banda verde del espectro visible que se va reduciendo hasta el infrarrojo. La falta de reflectividad en el infrarrojo permite hacer distinciones entre el agua y áreas de tierra.

Cuando la información a obtener sea la del agua profunda, hay que tener en cuenta que la mejor zona espectral de estudio son longitudes de onda comprendidas entre el verde y azul, puesto que la penetración de la radiación está en su punto máximo. Los elementos poco profundos son detectables en la región del rojo por la gran absorción que tiene. Por último, es posible diferenciar entre agua y tierra gracias a la gran absorción que hay en el infrarrojo cercano.

El agua turbia, es aquella que lleva partículas en suspensión. Las consecuencias sobre su respuesta espectral van a depender del tipo de sedimentos que contenga. Por ejemplo, si se trata de fitoplancton, la banda verde aumenta y la azul disminuye y si se trata de sedimentos inorgánicos la reflectividad aumenta en la banda roja.

Existen distintos tipos de agua, y con ello, distintas respuestas espectrales. La ilustración 18 muestra las respuestas espectrales de algunas variedades de agua.

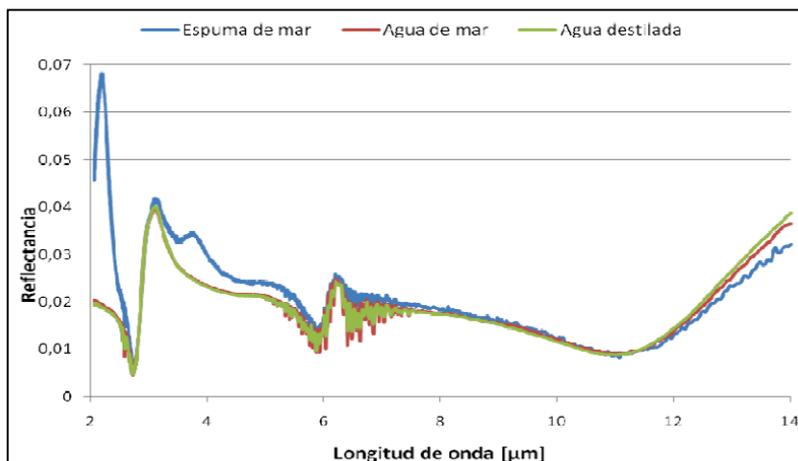


Ilustración 18: Respuesta espectral del agua (<http://www.gep.uchile.cl>).

Respuesta espectral del suelo.

El suelo está compuesto por una mezcla de materiales con diferentes propiedades físicas y químicas. Toda energía del suelo es absorbida o reflejada, por lo que su transmisión es nula (ilustración 19). Las diferencias entre las curvas de reflexión de los distintos tipos de suelos se determinan, principalmente, por los siguientes factores:

- Textura y humedad: La textura de un suelo se clasifica en función del tamaño de las partículas que lo componen y la humedad va sujeta a dicha textura, puesto que depende del tamaño de las partículas para la evaporación o no del agua.
- Composición química: La materia orgánica y el óxido de hierro son los componentes con mayor influencia en la reflectividad del suelo. La presencia de materia orgánica provoca una disminución de la reflectividad en el espectro visible e infrarrojo cercano y el óxido de hierro presenta su máxima reflexión en la banda roja.
- Rugosidad de la superficie: Las componentes de rugosidad, difusa y especular, el ángulo de iluminación y la longitud de onda de la radiación definirán la cantidad de energía que llega al sensor. La rugosidad indica la proporción relativa de energía que llega al sensor, coeficiente de retro-dispersión.

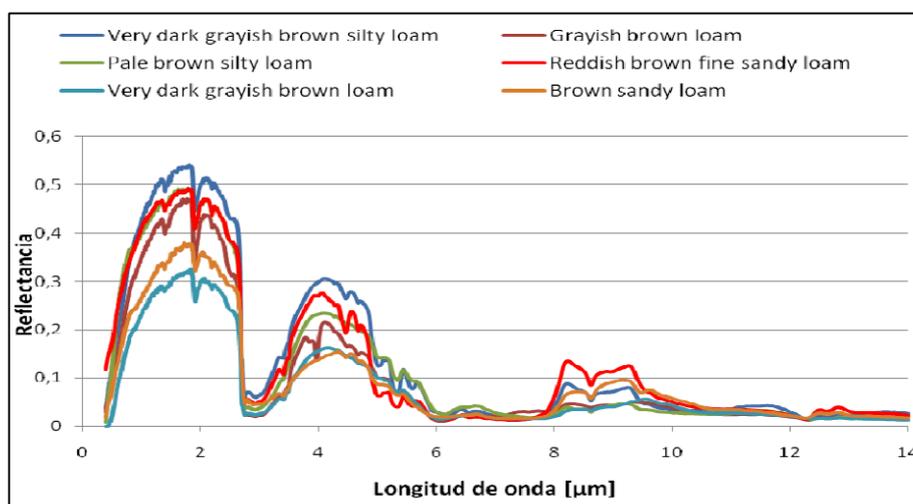


Ilustración 19: Respuesta espectral diferentes tipos de suelos (<http://www.gep.uchile.cl>).

Respuesta espectral de la vegetación.

La vegetación es un recurso de muchas variedades y distintas características dependiendo de la especie (hojas, tallos, troncos, etc.). Además, hay que tener en cuenta que las plantas son seres vivos sujetos a cambios dependiendo de las condiciones ambientales y fenológicas que afectan a su reflectividad (ilustración 20).

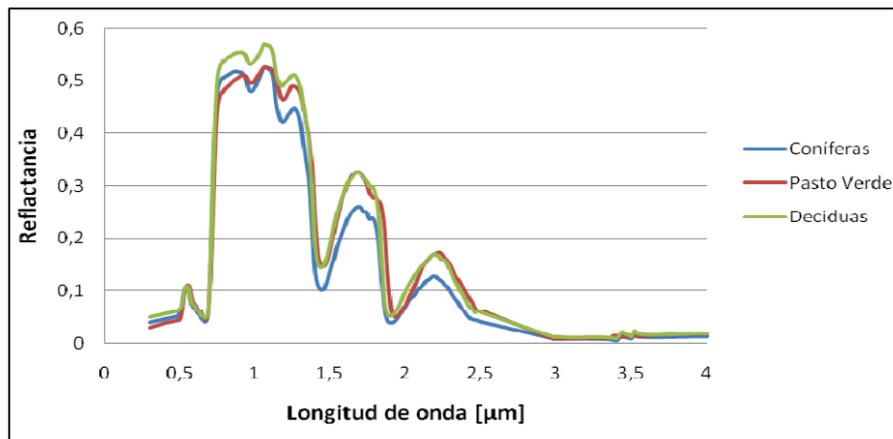


Ilustración 20: Respuesta espectral de algunos tipos de vegetación (<http://www.gep.uchile.cl>).

La vegetación sana tiene una baja reflectividad en el espectro visible, aunque con un pico en el color verde debido a la clorofila. Existe una alta reflectividad en el infrarrojo próximo debido a la escasa absorción de energía por parte de las plantas en esta banda. Y en el infrarrojo medio hay una disminución importante en longitudes de ondas donde el agua de la planta absorbe energía.

Durante la estación otoñal, muchas de las plantas pierden sus hojas puesto que dejan de ser necesarias al finalizar la fotosíntesis. Por tanto, la clorofila deja de ser el pigmento principal y las plantas adquieren un color pardo-amarillento.

La vegetación enferma presenta un aumento en las bandas rojo y azul, pero una disminución en la reflectividad del infrarrojo. Además, el envejecimiento de una planta también conlleva a una reducción de la reflectividad en el infrarrojo.

También se observa que la reflectividad de una planta depende de la cantidad de agua que posee. Cuando éste aumenta, la reflectividad disminuye debido al aumento de absorción de radiación por parte del agua contenida.

5.2. ¿Qué es la teledetección agrícola?

La teledetección agrícola es una técnica basada en la obtención de información de la vegetación, a través de imágenes, visualizando la diferente respuesta espectral de cada cultivo a lo largo de su ciclo fenológico permitiendo identificarlos y cuantificar la superficie ocupada por cada tipo.

La obtención de información en diferentes bandas del espectro se puede realizar a partir de las imágenes originadas por cámaras multispectrales, térmicas, hiperespectrales o infrarrojas. A través de ellas, se consiguen datos imperceptibles al ser humano y con los que se pueden hacer diagnósticos de los cultivos.

Los principales beneficios y aplicaciones de esta tecnología son:

- Define la potencialidad de la zona y la homogenización de la producción. A través de la teledetección agrícola se puede obtener mapas en diferentes etapas del cultivo para, posteriormente, elaborar un informe y poder dar respuesta/actuación a los tratamientos adecuados dependiendo de los ciclos fenológicos de las plantas. Además, permite rediseñar el sistema de riego de la finca, ya que se puede cuantificar el agua empleada para el regadío. También se puede analizar tendencias y dinámicas de los campos de cultivo (post-cosecha), lo que permite planificar la campaña del año siguiente de una manera más precisa (ilustración 21).



Ilustración 21: Potencialidad de una zona de cultivo (<http://www.fgombau.com>).

- Permite desarrollar la agricultura de precisión. Los diferentes satélites y drones pueden proporcionar imágenes de una resolución alta (ilustración 22), lo que permite evaluar el estado fenológico de la planta en una determinada zona (variabilidad espacial) y ajustar el tratamiento adecuado. Gracias a este tipo de imágenes se puede proceder a recolectas selectivas o a la aplicación de medidas correctoras específicas. Poder ajustar tratamientos a zonas específicas de los campos, supone un gran ahorro en material de productos para la protección vegetal, en fertilizantes y económico, así como una mayor preservación del medioambiente.

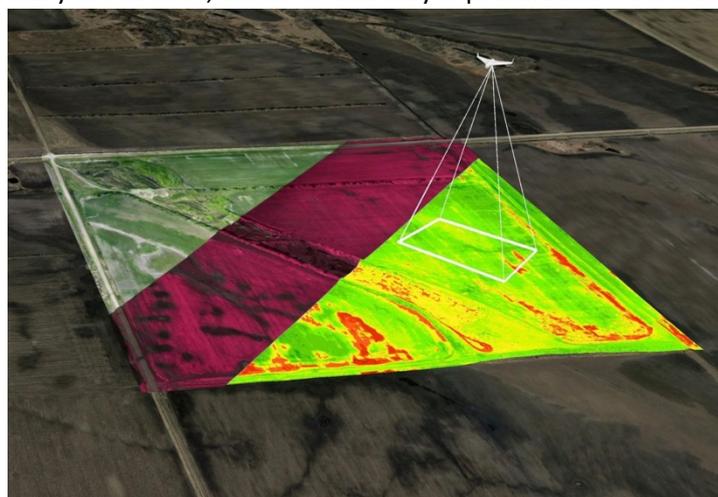


Ilustración 22: Imagen mediante dron (<http://projourno.org/>).

- Evaluar los daños de los cultivos. Técnica muy útil para cuantificar los daños que pueden padecer los cultivos debido a fenómenos atmosféricos o climatológicos, desde una evaluación del estrés hídrico de las plantas debido a periodos de sequía hasta la evaluación de daños por heladas.

5.3. Aplicaciones en la agricultura.

A continuación, se va detalla alguna de las aplicaciones que pueden ser encontradas en la agricultura de precisión.

5.3.1. Fertilización de cultivos.

Las técnicas convencionales de fertilización en cultivos consisten en aportar la misma cantidad de fertilizantes sin atender a las variaciones específicas de cada sector del cultivo. Con la ayuda de la teledetección es posible diferenciar el estado nutricional de los cultivos y conseguir la fertilización adecuada para una mejora en la eficiencia de los insumos o en la producción, logrando disminuir la cantidad de nutrientes aportados, con el beneficio ambiental y económico que implica y de esa forma, alcanzar mayores rendimientos.

5.3.2. Gestión de aguas.

Dentro de la agricultura, la gestión del regadío es una de las herramientas más interesadas en el estudio de la información mediante teledetección. A la competitividad por el agua y el suelo, se unen las exigencias de la Unión Europea en materias de agua y medioambiente. Puesto que cada vez hay más escasez de agua, es necesario nuevas estrategias que permitan una mejor optimización de la gestión del regadío.

Para poder realizar este tipo de estudio es necesario disponer de información meteorológica, científica y aplicaciones prácticas que puedan ser utilizadas por técnicos agrícolas en la toma de decisiones. Las aplicaciones desarrolladas están orientadas al diagnóstico, manejo y control del regadío, proporcionando información territorial sobre distintos parámetros y rasgos de interés relacionados con el agua, el suelo y el cultivo.

Para cuantificar los recursos hídricos de una zona y optimizar la gestión de riego, es necesario conocer la superficie a regar, estimar las superficies de cultivos y determinar el estado en que se encuentran.

5.3.3. Detección de malas hierbas.

Por lo general, las malas hierbas crecen en zonas definidas, creando límites entre los cultivos permitiendo determinar las zonas donde se pueden aplicar los herbicidas. Gracias a este patrón es útil el uso de la teledetección para obtener información espacial y actualizada sobre la localización, densidad y tipo de malas hierbas en las cosechas agrícolas. Para que las imágenes

tomadas desde las distintas plataformas espaciales o aerotransportadas sean aplicables y resulten operativas, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Debe haber suficiente diferencia en el comportamiento espectral entre las malas hierbas, cultivo y suelo, de manera que la distinción entre ellos sea posible.
- La resolución espectral y espacial del sensor tiene que ser la adecuada.
- La resolución temporal debe ser suficiente para adquirir datos en los momentos críticos de las fases de crecimiento de las malas hierbas y cultivos.
- La información del sensor ha de ser procesada para los usuarios finales en tiempo y forma.
- Los costes de las imágenes y su procesamiento no deben ser excesivos.

CAPÍTULO 6
MONITOR DE RENDIMIENTO.



6.1. Introducción.

La combinación de los sistemas de posicionamiento global (GNSS) y los monitores de rendimiento permiten registrar y mapear de forma inmediata y georreferenciada los rendimientos de los cultivos durante la cosecha o recolectar datos para su posterior análisis como por ejemplo el muestreo del suelo o el control de malezas, plagas y enfermedades que serán desarrolladas en los capítulos posteriores.

Los mapas de rendimientos anuales pueden ser útiles para las interpretaciones de posibles causas de la variación del rendimiento, pero tiene poco valor para la toma de decisiones en estrategias del manejo sitio-específico en largos periodos de tiempo. Este problema puede ser solucionado al aumentar el número de años utilizados para estudiar la variabilidad espacio-tiempo y definir zonas de manejo. Con datos de rendimiento de diversos años, es posible identificar patrones de rendimiento y separar las causas naturales de la variación de las causadas por el manejo o errores de medición. Éstos últimos incluyen:

- Errores de sensores de flujo y humedad de granos.
- Errores debidos a la georreferenciación y al movimiento de la cosechadora.
- Errores debido al operario de la maquinaria.
- Errores del procesamiento de datos.

Para evitar alguno de los errores mencionados es indispensable la correcta calibración del monitor de rendimiento antes de su utilización.

6.2. Mapa de rendimiento.

Un mapa de rendimiento es una representación espacial de datos registrados durante la cosecha de un cultivo, además, permite apreciar la variabilidad espacial del rendimiento de un campo. La representación espacial se realiza utilizando formatos vectoriales de puntos y coordenadas (x, y, z) asociadas a un sistema de referencia geográfico y la variabilidad de un campo es el factor que justifica la realización de dosis variable en la siembra, fertilización, pulverización, variabilidad de los suelos, etc.

Los mapas de rendimiento se obtienen a partir de los datos recopilados por una cosechadora que incluye un sistema de sensores que permiten calcular la cantidad de grano cosechado por unidad de superficie y un sistema de posicionamiento global (GPS). Esta información es almacenada y centralizada en una consola.

La cantidad de información que se obtiene en cada uno de los puntos del mapa de rendimiento depende del monitor utilizado. Además, la superficie que abarcan estos puntos está compuesta por el ancho de la plataforma de la cosechadora y la distancia recorrida por la ésta en el tiempo que tarda de recopilar un dato y otro.

Los sensores que podemos encontrar integrados en un monitor de rendimiento son (ilustración 23):

- Sensor de flujo de grano: determina la cantidad de grano que entra en la tolva.
- Sensor de humedad de grano: sensor que mide las propiedades dieléctricas del grano que fluye entre placas metálicas.

- Sensor magnético o sensor de velocidad de avance: mide las vueltas que dan las ruedas delanteras de la cosechadora.
- Sensor de posición del cabezal: sensor que activa el registro de datos si el cabezal está en posición de cosecha y detiene el registro cuando éste se levanta.

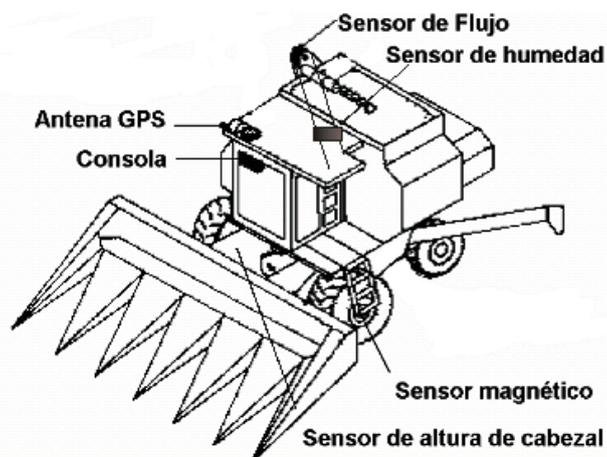


Ilustración 23: Cosechadora equipada con un monitor de rendimiento (<http://inta.gob.ar>).

La calibración del monitor se realiza para garantizar la precisión de los datos registrados y que las representaciones de las variaciones del rendimiento de los cultivos sean confiables.

Las distintas calibraciones existentes son las siguientes:

- Calibraciones previas a la cosecha: Deben realizarse al inicializar la campaña y cada vez se modifique o repare la maquinaria o cuando varían las condiciones del terreno bruscamente o cambia el rodado.
- Calibración del sensor de altura del cabezal: Debe realizarse al comenzar la cosecha de un cultivo nuevo de acuerdo con su altura normal.
- Calibración de humedad del grano: Se realiza mediante la comparación de la humedad determinada por el sensor y la medida con un humidímetro.
- Calibración del peso del grano: Debe realizarse después de la calibración de humedad comparando el peso determinado por el monitor y el medido mediante una tolva con balanza.

6.3. Errores en los mapas de rendimiento.

Los errores más comunes encontrados en los datos del monitor de rendimiento son:

- Errores de registro por altura del cabezal: recordemos que el equipo comienza a registrar datos cuando el cabezal baja y deja de registrarlos cuando éste sube. Si se avanza con el cabezal bajo sin estar cosechando se generan puntos sin datos de rendimiento que luego son visualizados en el mapa como rendimiento cero.
- Retardos en el inicio y fin del registro de datos: este error se visualiza en el mapa como falta de puntos en el inicio de una franja de la cosecha y puntos adicionales en el final de la franja. El primero, se debe a la existencia de un retraso desde que comienza la

cosechadora hasta que el dato es registrado, puesto que los granos pasan por el sistema de trilla, separación y limpieza y llegan a la placa de impacto. Y el segundo, se debe al registro de datos desde la finalización de la cosecha hasta que los granos dejan de ingresar en el sistema de trilla. Algunos monitores de rendimiento permiten, al operario, realizar correcciones estimando el retraso de tiempo desde el inicio de corte hasta que el grano llega a la placa de impacto.

- Valores fuera de rango: Corresponden a datos de las distintas variables que se encuentran fuera del rango de variación normal de la variable y son registradas en el monitor de rendimiento.
- Franjas estrechas de rendimientos anómalos: Se debe a la incorrecta configuración del ancho de la plataforma o del ancho de corte de la trilla ocasionando errores en el ancho de la cosecha.

CAPÍTULO 7
MUESTREO DEL SUELO.



7.1. Objetivo del muestreo del suelo.

El principal objetivo del muestreo es conocer las características nutricionales del suelo obteniendo una media del nivel promedio de fertilidad del campo y de su variabilidad mediante el análisis de unas muestras aleatorias recopiladas en campo.

Hay que tener presente que los suelos no son homogéneos, por lo que existen variaciones significativas en un mismo campo, por este motivo, los resultados de los análisis de fertilidad pueden no ser representativos si no se han recopilado correctamente las muestras necesarias.

La variabilidad espacial de los suelos y cultivos en los campos puede ser cuantificada o estimada mediante distintos métodos de medición como son los discretos (muestreo del suelo), continuos (monitores de rendimiento o sensores de conductividad eléctrica) y remotos (imágenes satelitales).

La variabilidad presente en un campo puede agruparse de tres formas: micro, meso y macro variabilidad. Las dos primeras van de unos pocos centímetros a unos pocos metros de distancia mientras que la macro variabilidad es causada por cambios de suelo.

7.2. Tipos de muestras y elaboración.

Es posible encontrar tres tipos de muestras:

- Simple: extracción de una cantidad de muestra de cualquier parte del suelo.
- Compuesta: Obtención de una cantidad de muestra mediante la mezcla y homogeneización de varias muestras simples poseyendo unas características próximas a las del suelo.
- Para laboratorio: Cada una de las porciones obtenidas mediante la reducción de la muestra compuesta.

Para elaborar una muestra compuesta, se mezclan las muestras simples recogidas en campo y se remueven estirando de cada uno de los vértices de una bolsa de plástico hasta conseguir una mezcla homogénea. Si estas muestras simples estuvieran húmedas, se deberá proceder a una desecación previa.

Tras realizar la mezcla, se esparce el contenido de la bolsa sobre un plástico formando una capa de un centímetro de grosor y dividiéndola en cuatro cuadrantes. Se descartan dos de los cuadrantes situados en los extremos de una diagonal y con el resto se repite el proceso de homogeneización descrito anteriormente.

La cantidad de muestra compuesta necesaria dependerá del número de ensayos que se deban realizar y el número de muestras de laboratorio necesarias según el tipo.

Las muestras son identificadas mediante dos etiquetas escritas con tinta indeleble. Una de ellas es doblada en dos pliegues dejando la parte escrita protegida e introducida en el interior de la bolsa. Si la muestra estuviese húmeda, se introduce en una funda plástica para su protección. Y la otra etiqueta se sitúa en el cierre o nudo de la bolsa.

7.3. Toma de muestras.

El objetivo de la toma de muestras para la fertilidad es conocer los valores nutricionales del terreno para poder establecer un correcto plan de abonado. Su principal problema se encuentra en la obtención de una muestra representativa para todo el terreno, por lo que si no está bien tomada los resultados obtenidos y las conclusiones no serán correctos.

Las siguientes decisiones son comprendidas en la toma de muestras:

1. Fijar el número de muestras simples.
2. Seleccionar el tipo de muestreo.
3. Profundidad del muestreo y posible sub-muestreo.

Cada área de muestreo se dividirá en parcelas atendiendo a las variaciones observadas, como pueden ser: variaciones de pendientes, tipos de suelos y tipos de cultivos, siendo analizadas por separado. Además, estas parcelas deben dividirse de forma homogénea, puesto que las propiedades del suelo varían de forma transversal al paisaje, horizontal y vertical al suelo.

Los diseños de muestreo de suelos deberán ser estructurados de forma que la influencia en el mapa final de la micro y meso variabilidad sea minimizada y la macro variabilidad maximizada.

Para minimizar los errores sistemáticos que pueden producirse en los muestreos, existen distintos diseños o estrategias de muestreo que se diferencian en la disposición espacial de los puntos del campo. Los diseños más conocidos son los siguientes:

- Muestreo al azar simple: evita errores sistemáticos, puesto que todos los puntos del campo tienen la misma probabilidad de ser muestreados. Los inconvenientes se encuentran en la distribución de los puntos de muestreo, ya que en las zonas con baja densidad de puntos los valores de interpolación son inciertos (ilustración 24).

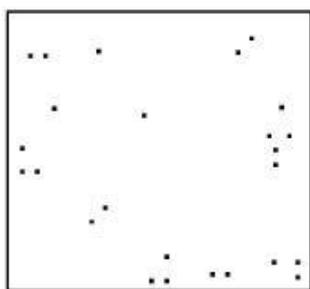


Ilustración 24: Muestreo al azar (<http://repiica.iica.int>).

- Muestreo al azar estratificado: es una variedad del método anterior, con la diferencia de que el área es dividida en zonas o celdas de forma regular o irregular. Los problemas de distribución de puntos en el área muestreada son minimizados.
- Muestreo en grillas sistemático: se utiliza para evitar las dificultades de la interpolación en la distribución de los puntos del muestreo al azar. El campo es dividido en celdas que pueden variar de tamaño y forma, pudiendo ser estas últimas cuadradas, rectangulares, hexagonales o triangulares. La desventaja de este método es que los puntos de muestreo pueden estar alineados (ilustración 25).

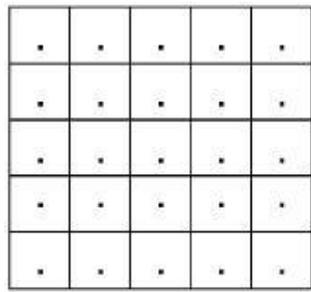


Ilustración 25: Muestreo sistemático (<http://repiica.iica.int>).

- Muestreo sistemático estratificado desalineado: se utiliza para reducir el error introducido por el muestreo sistemático de los puntos alineados en a las filas y columnas de las celdas. El método consiste en dividir el campo en celdas uniformes y subdividir las en celdas más pequeñas. El resultado final es la obtención de puntos de muestreo que estén ubicados a la misma distancia y sin alineación alguna entre las filas y columnas (ilustración 26).

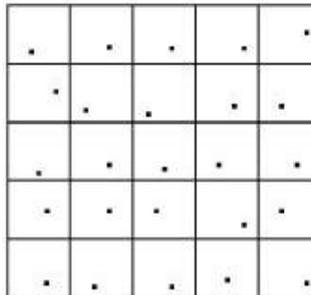


Ilustración 26: Muestreo sistemático estratificado desalineado (<http://repiica.iica.int>).

- Muestreo por juzgamiento: es usado cuando el objetivo es evaluar suelos o plantas en lugares donde se percibe algún problema tales como degradación del suelo, presencia de enfermedades y rendimiento.

7.4. Técnicas avanzadas de muestreo.

Dado que el costo de los análisis de las muestras es alto y el tiempo de espera para los informes es largo, han aparecido una serie de instrumentos y sensores, como el espectrómetro infrarrojo, capaces de determinar el estado hídrico de las plantas, el medidor de clorofila y los medidores de conductividad eléctrica, los cuales permiten obtener algunas propiedades del suelo de forma instantánea.

En cambio, con los sensores de medición discreta o continua la información recabada se obtiene de forma inmediata. Los monitores de rendimiento o sensores de conductividad eléctrica, métodos de medición continuos, permiten recabar información en un corto periodo de tiempo y con alta resolución espacial.

Para concluir la distribución espacial de algunas propiedades de los suelos y establecer zonas de manejo en agricultura sitio-específica se está utilizando la conductividad eléctrica de los suelos junto con sensores conectados a sistemas de posicionamiento global (GNSS).

La variación espacial de la conductividad eléctrica del suelo presenta el siguiente problema: cuando más de una variable correlacionada con la conductividad eléctrica del suelo cambia a través de la fisiografía, la efectividad del mapeo decrece, debido a la correlación existente con varias propiedades del suelo y la coexistencia de las covarianzas entre ellas. Sin embargo, puede ser utilizado para definir zonas de muestreos.

Existen dos tipos de sensores de conductividad eléctrica en tiempo real, sensores de contacto directo que miden la resistividad eléctrica y sensores de no contacto que miden inducción electromagnética. Ambos sensores tienen diferentes capacidades y ciertas ventajas y desventajas con respecto al otro. Pero los datos y mapas obtenidos en campos con ambos sistemas indican que están correlacionados temporal y espacialmente.

También es posible trabajar con imágenes aéreas o satelitales para definir zonas de muestreo, puesto que calculando los índices de vegetación se refleja la variabilidad espacial de las condiciones de crecimiento de los cultivos, estimando la cantidad de materia seca producida, siendo el reflejo de las condiciones de crecimiento de los cultivos. Por ello, estos índices son indicadores de las diferentes condiciones en los factores que afectan la productividad de los campos.

CAPÍTULO 8
TECNOLOGÍA DE DOSIS VARIABLE.



8.1. Introducción a la tecnología de dosis variable.

La tecnología de dosis variable es una herramienta que permite mejorar el manejo de los insumos aplicando las cantidades necesarias para cada zona del lote, ahorrando insumos en las áreas de bajo rendimiento potencial sin afectar a su rendimiento productivo y trasladarlo a las áreas de mayor potencialidad para aumentar su producción.

8.2. Aplicación de fertilizante con dosis variable.

La fertilidad de un suelo tiene tres componentes: uno físico, biológico y químico. Siendo este último el que indica las deficiencias de fósforo, nitrógeno y en algunos lugares azufre. Además, también, manifiesta el problema de la acidez del suelo que se corrige incrementando el pH aplicando calcio y magnesio.

Para poder aplicar el fertilizante necesario en cada zona, el primer paso a realizar es la creación de un mapa de rendimiento mediante los datos obtenidos por el muestreo del suelo o en base a imágenes multiespectrales midiendo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El segundo, es introducir el mapa final en la consola del tractor o avión mediante el cual se va realizar la fertilización. Y, por último, realizar la fertilización de forma dosificada.

8.3. Control de malezas, plagas y enfermedades con dosis variable.

El principal problema que encontramos al enfrentarnos a las malezas, los insectos y las enfermedades es la cantidad de pesticidas aplicados en la producción agrícola, puesto que las aguas pueden verse contaminadas. Es posible reducir estos problemas con el conjunto de tecnologías que ofrece la agricultura de precisión.

Los mapas de malezas pueden ser desarrollados a partir del conocimiento de infestaciones de años anteriores, de los datos recogidos con el monitor de rendimiento, de los datos provenientes del seguimiento del cultivo o por análisis visual por parte del aplicador. Aunque las malezas tienden a diseminarse por semillas, existe una alta probabilidad de que la infestación se manifieste en el mismo lugar.

Para un correcto control de malezas se pueden utilizar diferentes métodos:

- Mediante el uso de un monitor de rendimiento con sistema de posicionamiento global (GPS) incorporado, se mapean las áreas donde existe maleza. Posteriormente, se analiza en un sistema de información geográfico (SIG) y, de ese modo, poder tomar las decisiones necesarias para el próximo año.
- Mediante el uso de imágenes aéreas georreferenciadas se identifican las zonas de maleza. Posteriormente, la información obtenida es verificada en campo. Y, por último, se elabora un mapa de aplicación binario, que consiste en zonas de aplicación y no aplicación del tratamiento.

CAPÍTULO 9

CASO PRÁCTICO: PROCESO DEL ARROZ.



El caso práctico del cultivo del arroz que se va a desarrollar en este apartado está ubicado en el término municipal de Isla Mayor, provincia de Sevilla, concretamente las parcelas utilizadas han sido: la 44 y 50 del polígono 10 con una superficie aproximada de 10,9 Has y 9,9 Has sucesivamente, la 26 del polígono 14 con una superficie aproximada de 9,3 Has, la 21, 11 y 22 del polígono 3 con una superficie aproximada de 12,5 Has, 9 Has y 7,9 Has sucesivamente. En las tres primeras se sembrará el arroz tipo Puntal y en las tres últimas el tipo Sirio. En el anexo I se encuentra un mapa de situación.

El ciclo del arroz comienza en el mes de enero; se empieza vaciando el agua de los campos, para, posteriormente, cultivar la tierra, arando y mezclando los restos del año anterior. Este proceso se realiza con un tractor dotado de ruedas de reja especiales para enterrar los restos en el terreno fangoso.



Ilustración 27: GPS auto-guiado (<http://www.agroptima.com>).

La siguiente etapa es la nivelación del terreno, que se realiza una vez que los campos estén secos mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) auto-guiado (ilustración 27) que ayuda al agricultor a no realizar solapes entre pasadas. Asimismo, de disponer de un láser que consta de:

- Un emisor láser (nivel base), con un radio de alcance de 500-600 metros aproximadamente que debe de estar a unos 25 centímetros por arriba o por debajo de otra base de nivel próxima para evitar interferencias. Además, genera un plano de referencia paralelo al terreno por encima de la cabina del tractor (ilustración 28).



Ilustración 28: Emisor láser (<http://www.agroservicios.com.ar>).

- Un receptor láser instalado en el implemento de movimiento de tierras del tractor que detecta el plano generado por el emisor láser e indica mediante luces la altura del terreno respecto al plano de referencia. Está dividido en secciones de detección y cada una de ellas indica si está al mismo nivel, por arriba del nivel donde se debe quitar terreno o por debajo del nivel donde debe ser rellenado (ilustración 29).



Ilustración 29: Receptor láser (<http://www.agroservicios.com.ar>).

- Un panel de control manual o automático instalado en la cabina del tractor. Es un complemento que se conecta al receptor láser reproduciendo mediante luces los niveles indicados por el receptor. Además, incluye una electrónica capaz de enviar un electro válvula que sube y baja el implemento para mantenerlo siempre a nivel (ilustración 30).



Ilustración 30: Panel de control manual/automático(<http://www.agroservicios.com.ar>).

Tras finalizar la nivelación, se entra en la etapa del abonado del terreno. Ésta puede realizarse mediante un tractor con la abonadora de remolque y un sistema de posicionamiento global (GPS) auto-guiado para no realizar solapes durante el abonado. Además, también es posible, realizar el abonado mediante un avión, en el cual, el piloto decide la trayectoria de vuelo dependiendo de las dimensiones de la parcela y el viento. En este proceso no es necesario pedir ningún tipo de permisos de vuelo ni del rociado de abono. Para enterrar el abono se utiliza el tractor y un rulo desterronador de remolque (ilustración 31). Al acabar, se inundan los campos para proceder a la siembra del arroz utilizando los mismos mecanismos que el abonado.



Ilustración 31: Abonadora y desterronador (<http://www.segues.es>).

Normalmente, la etapa de siembra del arroz se realiza en el mes de mayo, pero se produjeron abundantes lluvias que hicieron aplazar este proceso hasta la primera quincena de junio en el año de la recolección de los datos, año 2016.

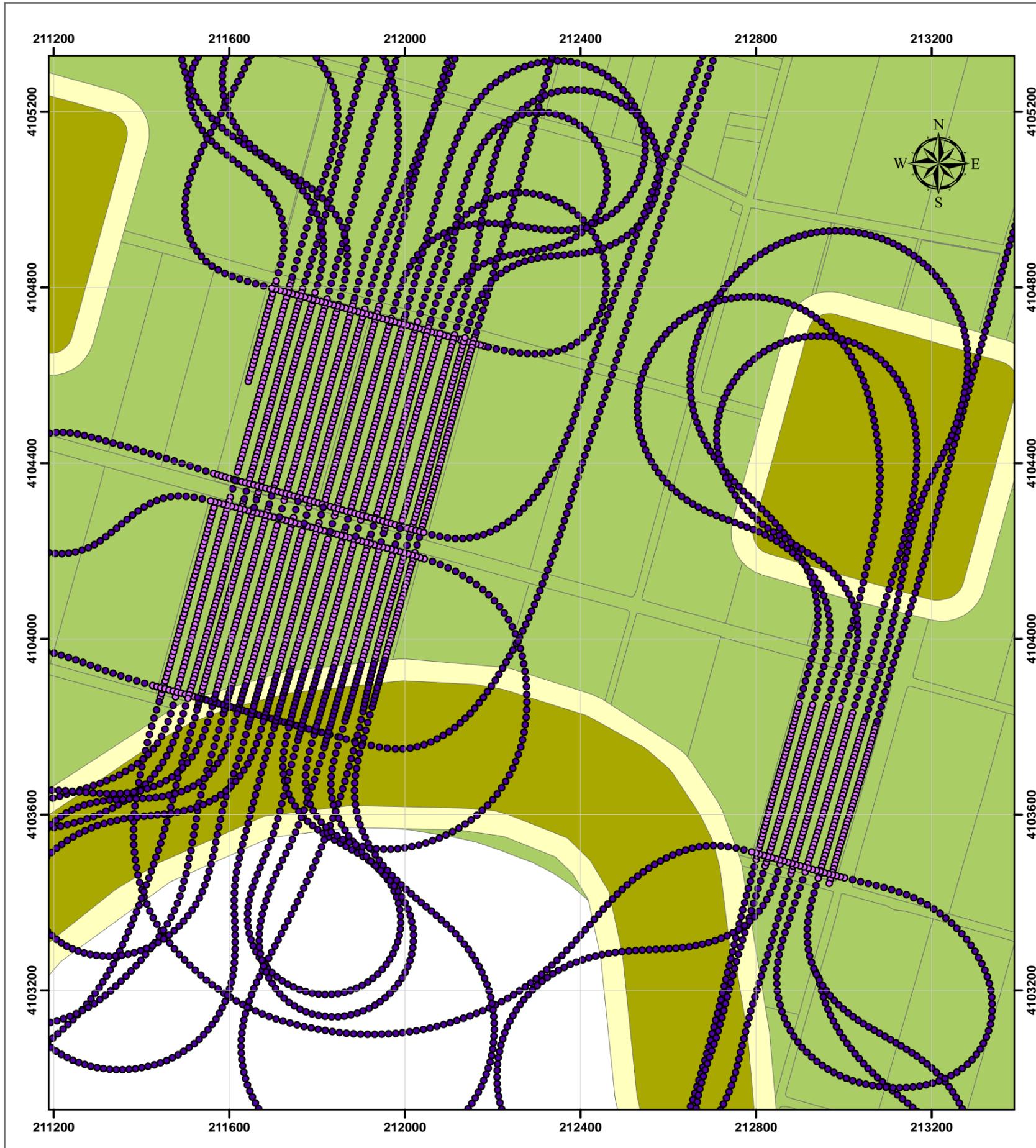
Pasados 35 o 40 días de la siembra realizamos la fumigación que puede ser mediante un tractor con dosis variable o en avión. Si optamos por el último método, hay que solicitar un permiso (anexo II) a la Junta de Andalucía basándose en el real decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios (anexo III). Si existen zonas colindantes de población, cultivo sensible o agua, hay que respetar las siguientes zonas de exclusión:

- 100 metros para la población.
- 500 metros para el cultivo sensible.
- 100 metros para el agua si las pasadas de vuelo son perpendiculares al afluente.
- 50 metros para el agua si las pasadas de vuelo son paralelas al afluente.

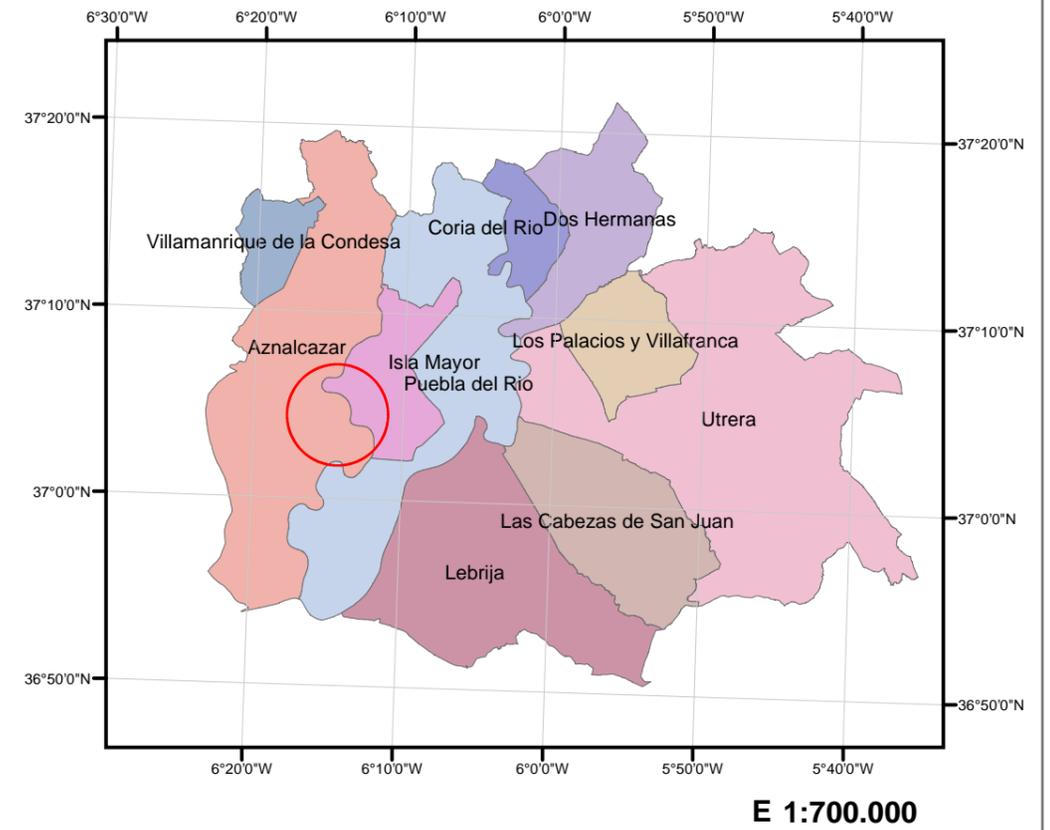
Tras unos días de la fumigación, la empresa encargada, tiene que presentar, a la Junta de Andalucía, el parte meteorológico introduciendo los datos en el programa TRIANA (Tratamientos Integrados en Andalucía en Agricultura) (anexo IV), un informe de los vuelos de tratamientos fitosanitarios (anexo V) y entregar los mapas recopilados por el sistema de posicionamiento global (GPS) del avión, para comprobar que no se ha producido ninguna incidencia.

Los mapas que se encuentran a continuación, son dos ejemplos de fumigación aérea.

Mapa de fumigación apto



Mapa de municipios



Leyenda

- Plan_vuelo
- Fumigación
- franja50
- franja100
- Isla Mayor
- Aznalcazar

Especificaciones técnicas

Proyección Universal Transversal de Mercator UTM
 Sistema de coordenadas: ETRS 1989
 Zona 29 Norte
 Provincia de Sevilla

Escala gráfica

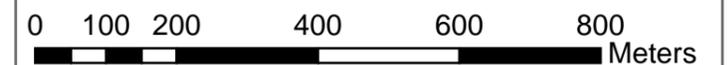
1:10.000

Proyecto Fin de Grado: Aplicaciones geomáticas en agricultura

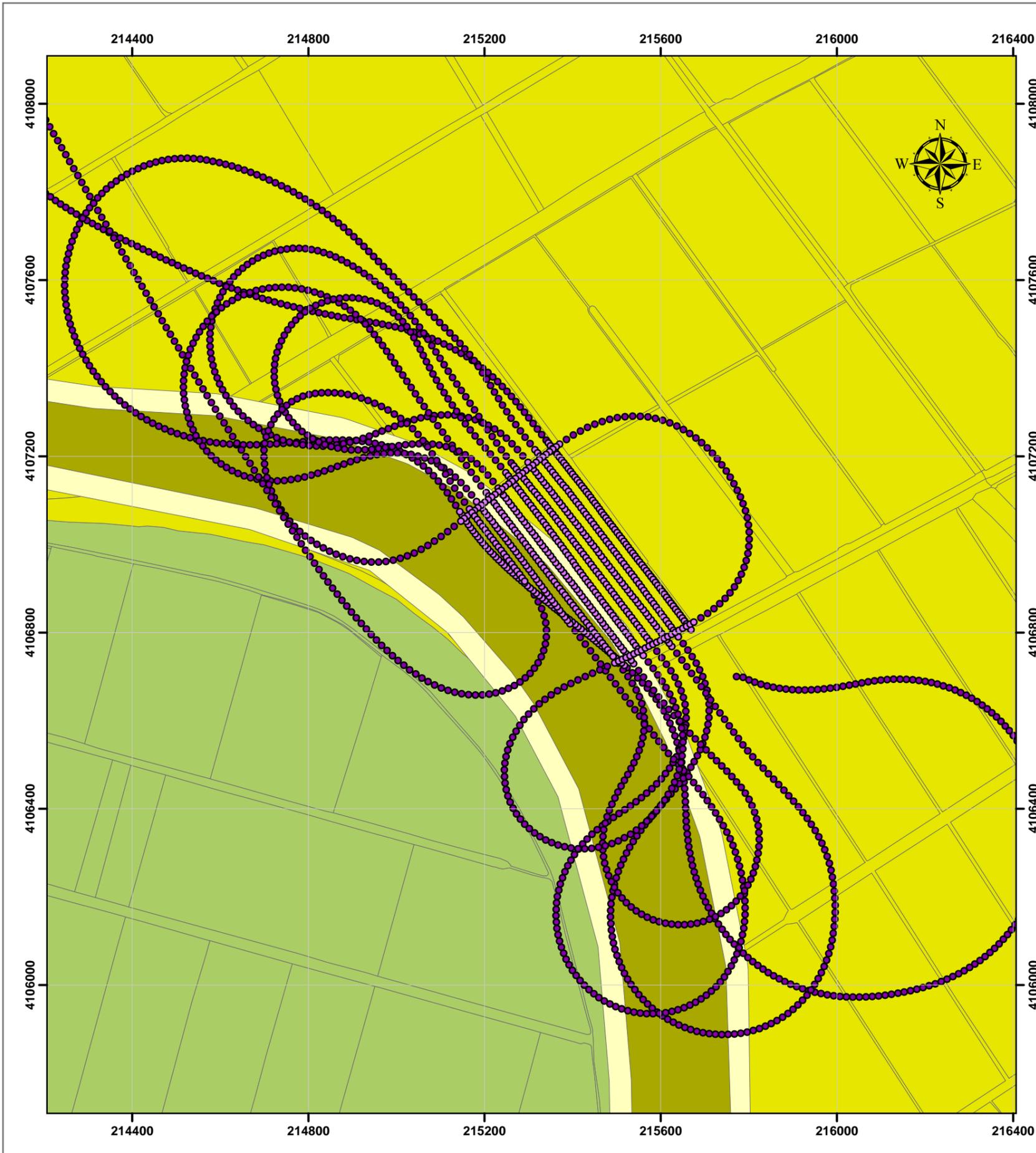


Creado por:

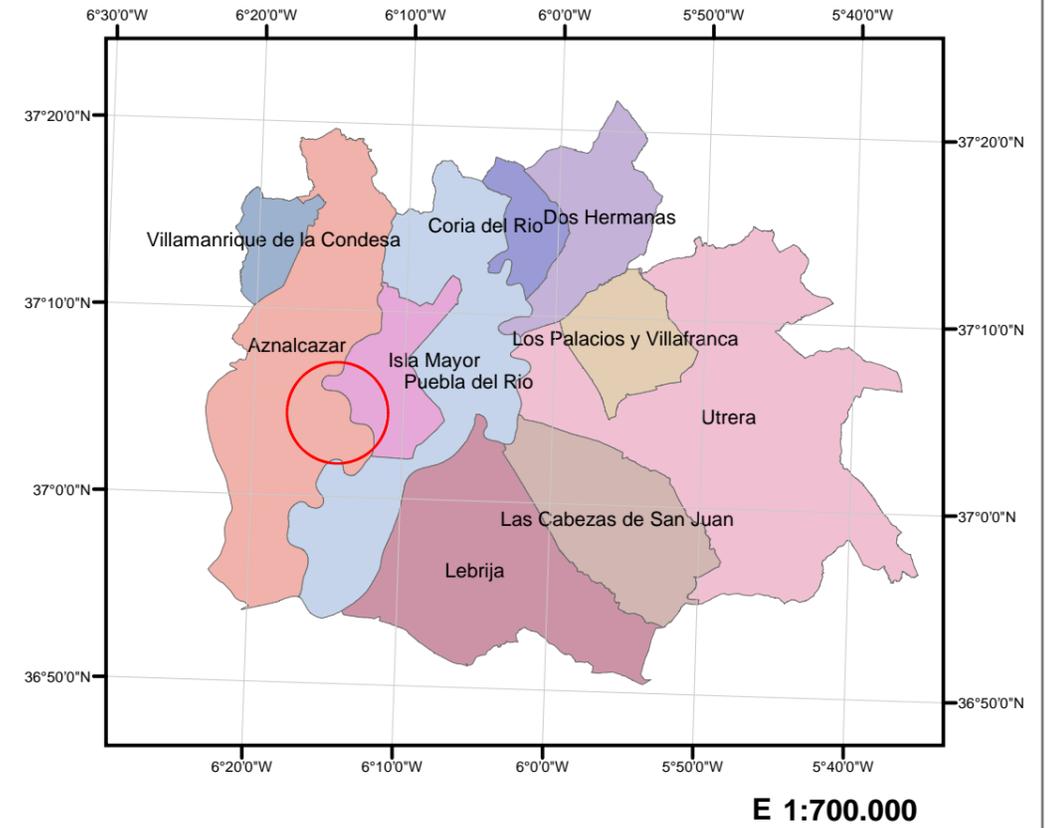
Mireya Torres García



Mapa de fumigación no apto



Mapa de municipios



Leyenda

-  Fumigación
-  Pasadas_vuelo
-  franja50
-  franja100
-  Isla Mayor
-  Aznalcazar

Especificaciones técnicas

Proyección Universal Transversal de Mercator UTM
 Sistema de coordenadas: ETRS 1989
 Zona 29 Norte
 Provincia de Sevilla

Escala gráfica

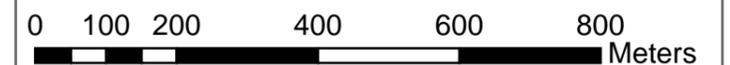
1:10.000

Proyecto Fin de Grado: Aplicaciones geomáticas en agricultura



Creado por:

Mireya Torres García



Habitualmente en septiembre, aunque este año por los motivos mencionados anteriormente se realizó a principios de octubre, se finaliza con el ciclo del arroz, retirando el agua un par de días antes de la recolección. En esta etapa se utiliza un tractor con sistema de posicionamiento global (GPS) y una cosechadora de remolque (ilustración 32).



Ilustración 32: Cosechadora (fuente propia).

Tecnologías utilizadas:

- Nivel láser Trimble.
- GPS Trimble EZ-500 (ilustración 33).



Ilustración 33: Trimble EZ-500 (<https://i.ytimg.com>).

- Antena Starfire 3000 (ilustración 34).



Ilustración 34: Starfire 3000 (<http://www.wrightimp.com>).

- Sistemas de aumentación basado en satélites (SBAS): EGNOS y WAAS, ambos gratuitos.

○

9.1. Diferenciación de los tipos de arroz y su desarrollo mediante teledetección.

Se va a proceder a diferenciar los distintos tipos de arroz que se han plantado en las diferentes parcelas, mencionadas con anterioridad, mediante teledetección. Para ello, se han utilizado imágenes LANDSAT 8 y el programa ENVI.

Para diferenciar cada una de las parcelas en las imágenes recopiladas, se ha utilizado las regiones de interés, tomando una región para cada parcela.

Los resultados para los valores medios espectrales en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre en las siete bandas son los siguientes:

Tabla 1: Valores medios espectrales de cada una de las parcelas para el mes de junio.

JUNIO						
Banda	Parcela 26	Parcela 44	Parcela 21	Parcela 50	Parcela 22	Parcela 11
1	6192,354	6341,241	7829,731	6363,872	7886,496	8395,617
2	7027,759	7329,349	10597,176	7375,333	10777,089	11551,842
3	11704,937	12432,494	16041,361	12782,205	15565,561	15826,436
4	9628,734	10186,313	8964,79	9808,167	9315,244	9944,962
5	10288,696	10719,145	10212,807	10713,910	10375,512	10897,959
6	10426,646	10653,880	10138,513	10586,192	10259,163	10648,120
7	11181,962	11375,988	11040,370	11305,769	11117,309	11403,519

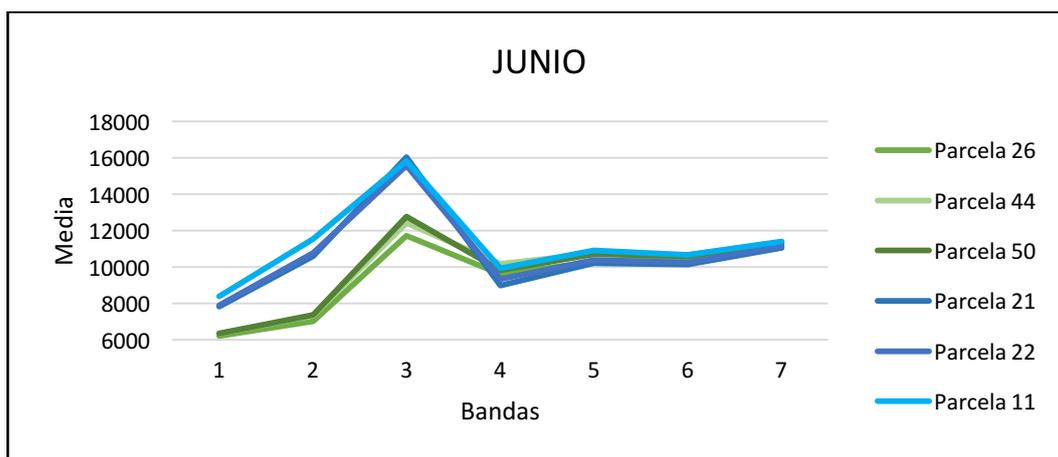


Ilustración 35: Gráfica del mes de junio de los valores medios espectrales.

Tabla 2: Valores medios espectrales de cada una de las parcelas para el mes de julio.

JULIO						
Banda	Parcela 26	Parcela 44	Parcela 21	Parcela 50	Parcela 22	Parcela 11
1	7500,352	7500,352	7552,648	7578,108	7787,440	8062,807
2	11047,915	11047,915	11063,524	11152,946	11442,580	11618,179
3	21581,690	21581,690	21374,993	22817,811	21015,430	20769,257
4	7138,620	7138,620	7006,269	7101,716	7158,280	7462,164
5	8455,014	8455,014	8253,972	8460,959	8382,000	8636,179
6	9106,479	9106,479	8978,317	9112,446	9042,130	9218,443
7	10183,169	10183,169	10070,924	10192,338	10128,730	10255,214

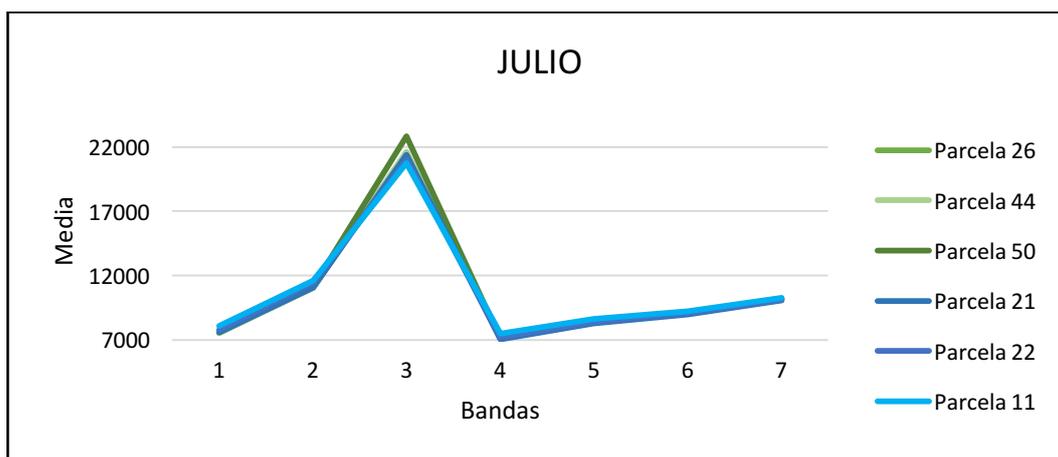


Ilustración 36: Gráfica del mes de julio de los valores medios espectrales.

Tabla 3: Valores medios espectrales para cada una de las parcelas en el mes de agosto.

AGOSTO						
Banda	Parcela 26	Parcela 44	Parcela 21	Parcela 50	Parcela 22	Parcela 11
1	7386,122	7526,333	7053,821	7396,47	7029,455	7329,549
2	10862,189	11183,815	10062,382	10953,039	10072,65	10291,173
3	24177,23	23696,852	23241,577	25697,605	23092,976	22614,722
4	6795,554	6797,988	6674,805	6749,592	6631,715	6938,316
5	8021,621	8115,210	7861,911	7987,723	7843,797	8037,842
6	8739,189	8797,790	8653,593	8730,000	8630,122	8798,023
7	9823,811	9884,395	9749,805	9820,882	9727,293	9869,053

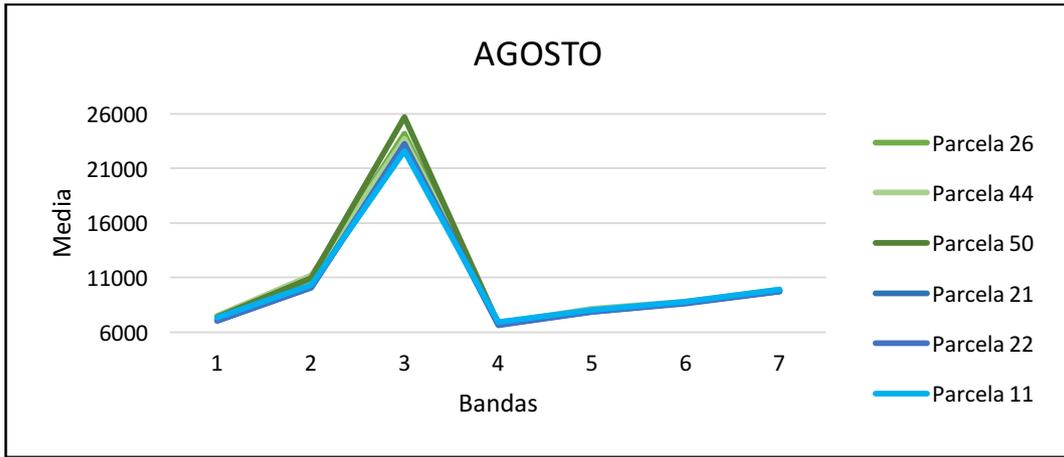


Ilustración 37: Gráfica del mes de agosto de los valores medios espectrales.

Tabla 4: Valores medios espectrales para cada una de las parcelas en el mes de septiembre.

SEPTIEMBRE						
Banda	Parcela 26	Parcela 44	Parcela 21	Parcela 50	Parcela 22	Parcela 11
1	6936,423	7038,221	7803,876	6975,973	7763,78	7912,793
2	9919,155	10147,896	11471,421	10007,649	11405,14	11464,55
3	21196,718	21763,273	24980,574	21518,608	25043,15	24242,636
4	6990,014	6999,403	8089,745	6963,757	8064,18	8106,857
5	8035,320	8051,753	9465,669	8035,392	9442,660	9438,807
6	8818,676	8826,610	9201,959	8804,162	9189,490	9240,879
7	9931,577	9838,844	10042,959	9809,649	10038,93	10072,479

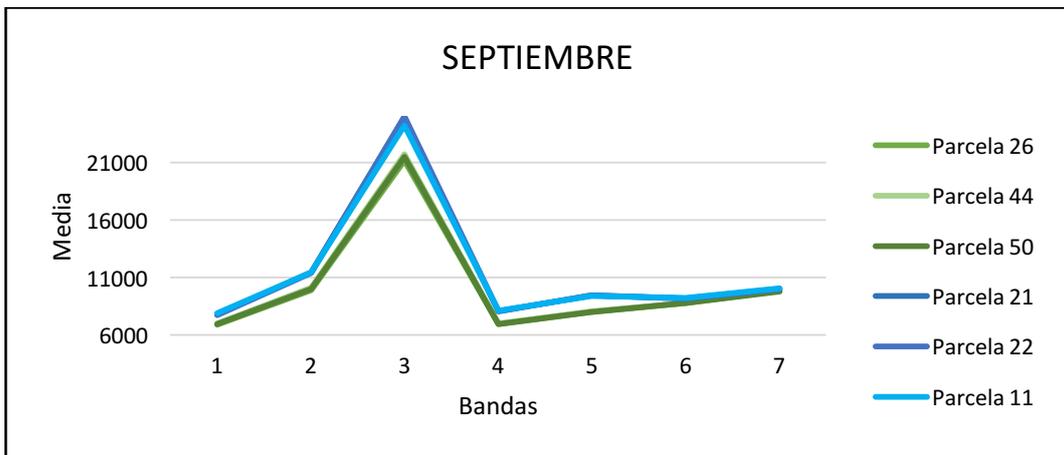


Ilustración 38: Gráfica del mes de septiembre de los valores medios espectrales.

Tabla 5: Valores medios espectrales para cada una de las parcelas en el mes de octubre.

OCTUBRE						
Banda	Parcela 26	Parcela 44	Parcela 21	Parcela 50	Parcela 22	Parcela 11
1	7828,056	7687,416	9448,324	7733,392	9314,56	9563,557
2	10663,704	10526,117	13058,248	10562,811	12835,04	13073,371
3	19475,845	19757,494	18076,303	19603,176	17913,29	17947,914
4	8642,225	8398,039	10008,29	8567,635	9915,98	10072,7
5	9096,845	9053,727	9753,131	9105,689	9679,160	9819,464
6	9042,254	8975,688	9437,414	9023,027	9394,010	9493,286
7	9691,831	9651,987	9917,717	9672,000	9887,820	9956,221

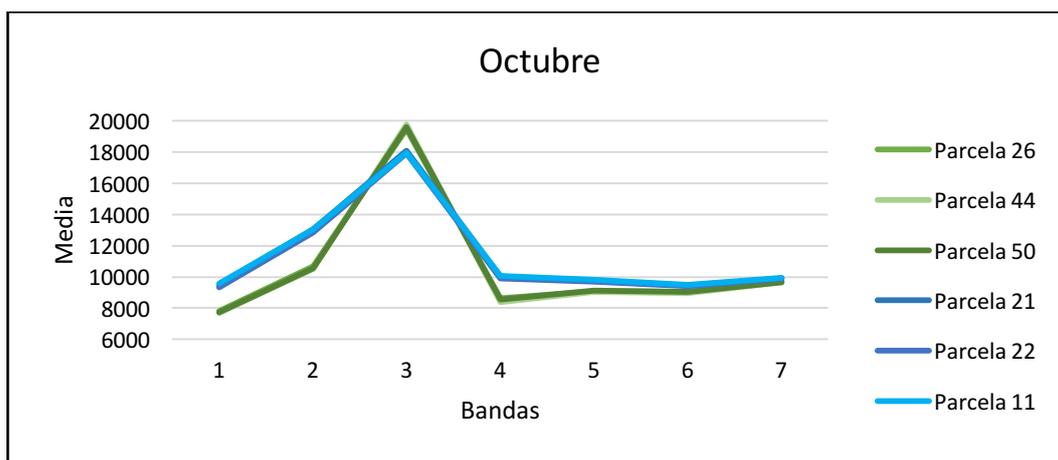


Ilustración 39: Gráfica del mes de octubre de los valores medios espectrales.

En las gráficas de los meses de junio, septiembre y octubre se pueden observar las diferencias existentes entre ambos tipos de arroz. Para junio (ilustración 35) las medias espectrales del tipo de arroz Puntal son más elevadas entre las bandas 1 y 3, mientras que para septiembre y octubre (ilustraciones 38 y 39 respectivamente) las medias espectrales más elevadas son las del tipo de arroz Sirio.

Las gráficas de los meses julio y agosto (ilustraciones 36 y 37 respectivamente) presentan medias espectrales muy similares para los dos tipos de arroz por lo que en esos meses no es posible visualizar ninguna diferencia entre ambos. Aunque, se pueden observar pequeñas diferencias en los valores medios espectrales en la banda 3 en cuyo caso el tipo de arroz Sirio tiene mayor valor espectral.

Ahora se va a realizar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), y los resultados, con sus respectivas gráficas (ilustraciones 40, 41, 42, 43, 44 y 45), para cada una de las parcelas en los distintos meses son los siguientes:

Tabla 6: NDVI para la parcela 44 del polígono 10.

NDVI Parcela 44				
Mes	Mínimo	Máximo	Medio	Des estándar
Junio	0,013237	0,041294	0,025514	0,005821
Julio	0,050723	0,084415	0,070577	0,005991
Agosto	0,057909	0,093349	0,087247	0,006575
Septiembre	0,053316	0,075619	0,069951	0,00361
Octubre	0,02583	0,043944	0,037606	0,003486

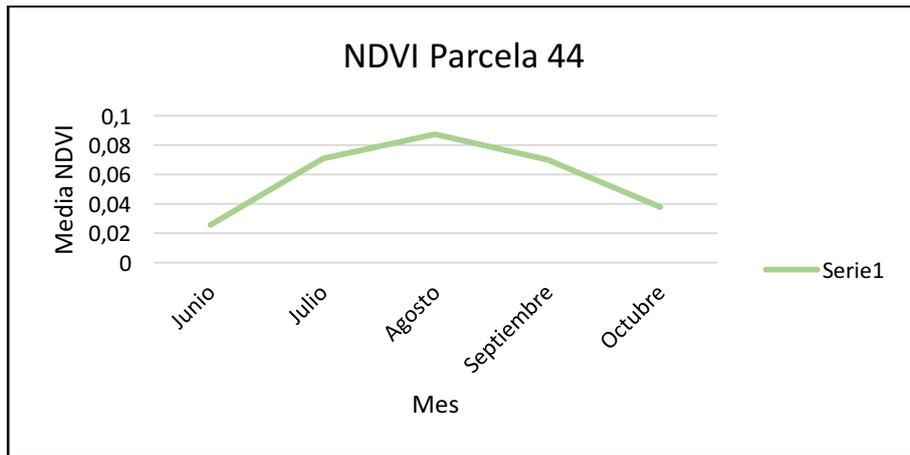


Ilustración 40: Gráfica del NDVI medio de la parcela 44.

Tabla 7: NDVI para la parcela 21 del polígono 3.

NDVI Parcela 21				
Mes	Mínimo	Máximo	Medio	Des estándar
Junio	0,027565	0,090079	0,065432	0,012196
Julio	0,055247	0,08872	0,081905	0,005892
Agosto	0,039897	0,092375	0,083194	0,006562
Septiembre	0,06286	0,088385	0,078419	0,004853
Octubre	-0,022338	0,001828	-0,012871	0,004638

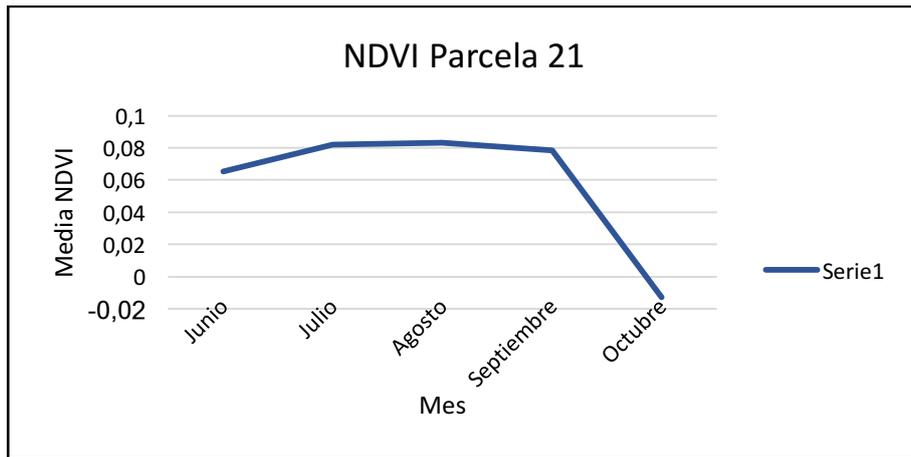


Ilustración 41: Gráfica del NDVI medio de la parcela 21.

Tabla 8: NDVI de la parcela 50 del polígono 10.

NDVI Parcela 50				
Mes	Mínimo	Máximo	Medio	Des estándar
Junio	0,024498	0,055894	0,044186	0,006013
Julio	0,0584	0,092981	0,087437	0,004754
Agosto	0,027272	0,092265	0,083806	0,009694
Septiembre	0,040019	0,076359	0,071505	0,004155
Octubre	0,017715	0,040953	0,030472	0,003443

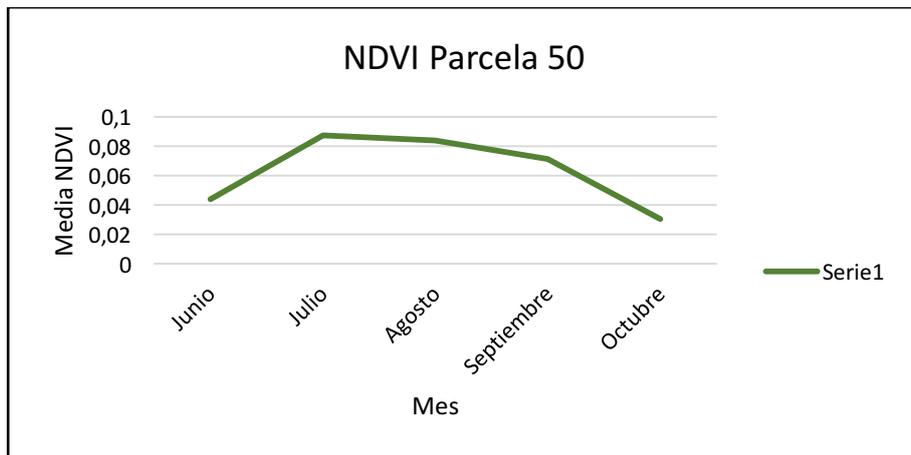


Ilustración 42: Gráfica del NDVI medio de la parcela 50.

Tabla 9: NDVI de la parcela 22 del polígono 3.

NDVI Parcela 22				
Mes	Mínimo	Máximo	Medio	Des estándar
Junio	0,020286	0,078371	0,054186	0,013791
Julio	0,056326	0,088866	0,078996	0,07513
Agosto	0,056669	0,090731	0,083395	0,006349
Septiembre	0,059726	0,087779	0,078806	0,005756
Octubre	-0,019395	0,005476	-0,01205	0,004767

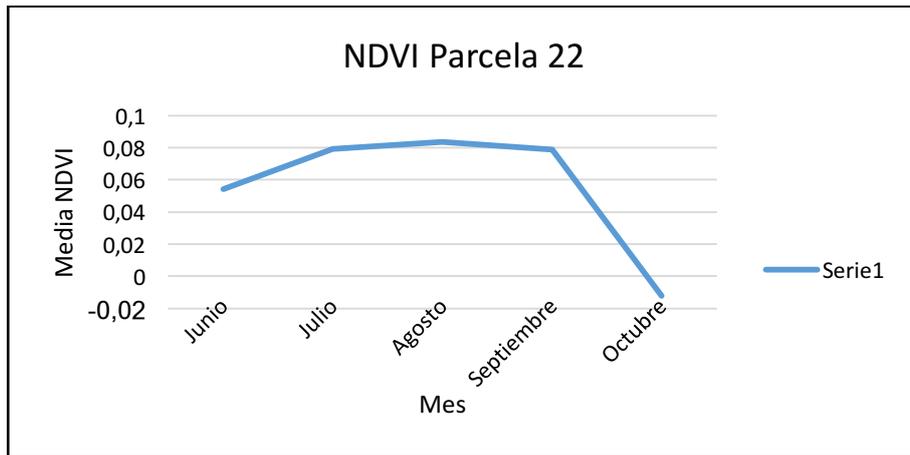


Ilustración 43: Gráfica del NDVI medio de la parcela 22.

Tabla 10: NDVI de la parcela 11 del polígono 3.

NDVI Parcela 11				
Mes	Mínimo	Máximo	Medio	Des estándar
Junio	-0,017904	0,072954	0,046157	0,01232
Julio	-0,014874	0,091672	0,074399	0,017537
Agosto	-0,01835	0,094782	0,07732	0,017771
Septiembre	-0,001659	0,088568	0,076434	0,013474
Octubre	-0,024321	0,000834	-0,012668	0,005393

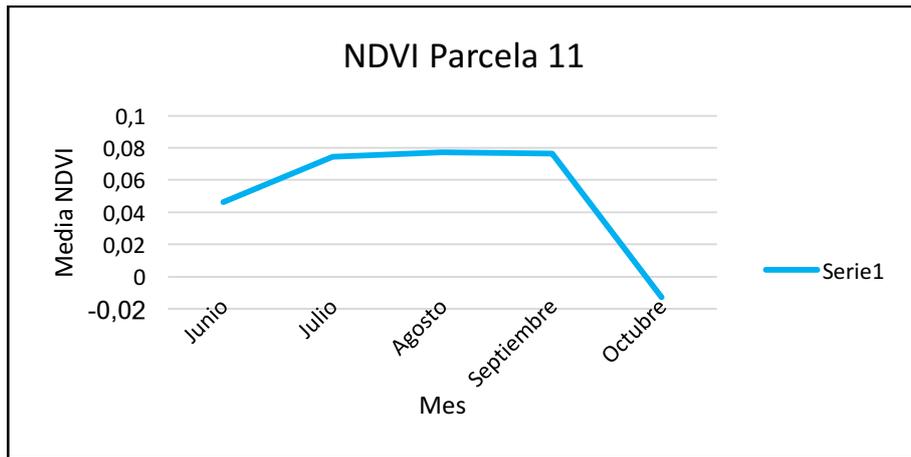


Ilustración 44: Gráfica del NDVI medio de la parcela 11.

Tabla 11: NDVI medio de todas las parcelas.

NDVI medio						
Mes	Parcela 26	Parcela 44	Parcela 21	Parcela 50	Parcela 22	Parcela 11
Junio	0,033225	0,025514	0,065432	0,044186	0,054186	0,046157
Julio	0,084469	0,070577	0,081905	0,087437	0,078996	0,074399
Agosto	0,083958	0,087247	0,083194	0,083806	0,083395	0,07732
Septiembre	0,069606	0,069951	0,078419	0,071505	0,078806	0,076434
Octubre	0,0256649	0,037606	-0,012871	0,030472	-0,01205	-0,012668

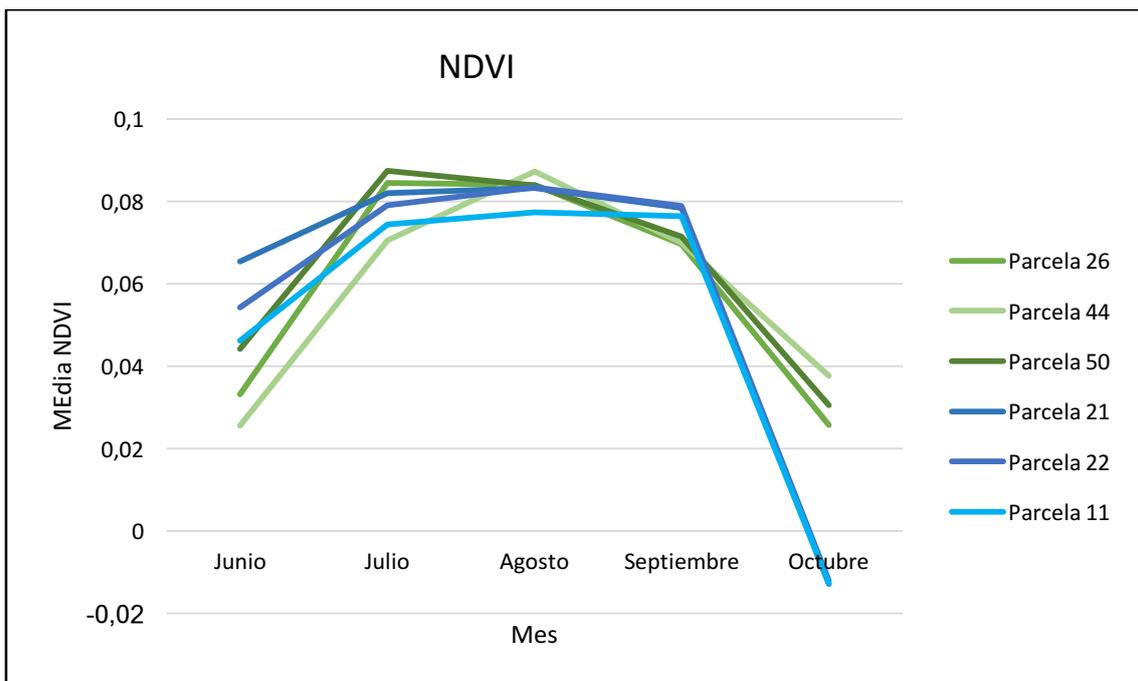


Ilustración 45: Gráfica NDVI medio de todas las parcelas.

La ilustración 46 es la unificación de todos los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de las parcelas, para realizar una diferenciación entre ambos cultivos. Durante el primer mes el comportamiento de la línea espectral muestra un patrón que sirve para poder diferenciar los cultivos, los valores espectrales medios del NDVI para el cultivo tipo Sirio son mayores que los del tipo Puntal. Además, en el mes de septiembre se observa que las parcelas 26, 44 y 50 con el tipo de arroz Puntal tienen menor NDVI que las parcelas 11, 21 y 22 con el tipo de arroz Sirio, mientras que en octubre la diferencia entre las parcelas es al inverso, puesto que el arroz tipo Sirio se seca antes que el tipo Puntal.

Ahora se va a visualizar las etapas del desarrollo del cultivo para cada una de las parcelas (ilustraciones 47, 48, 49, 50, 51 y 52):

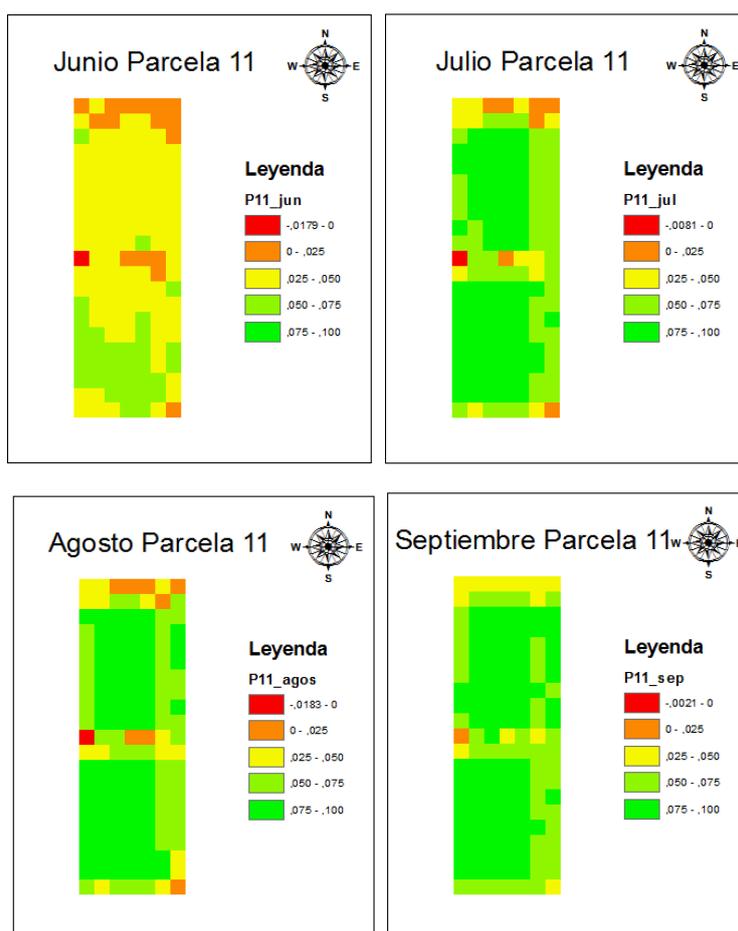


Ilustración 46: Fases del cultivo en la parcela 11.

En la ilustración 47 se observa que en las zonas del centro y exteriores superior e inferior son las zonas con menor crecimiento de cultivo. En la zona centro cruza un camino de acceso a la finca y en las zonas exteriores son caminos del polígono 3, que a su vez delimitan la parcela 11.

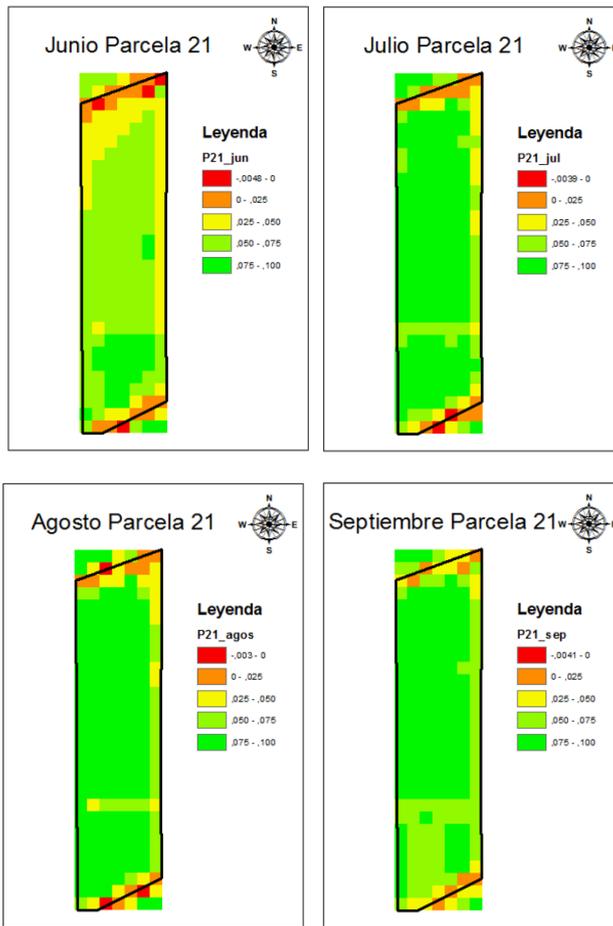
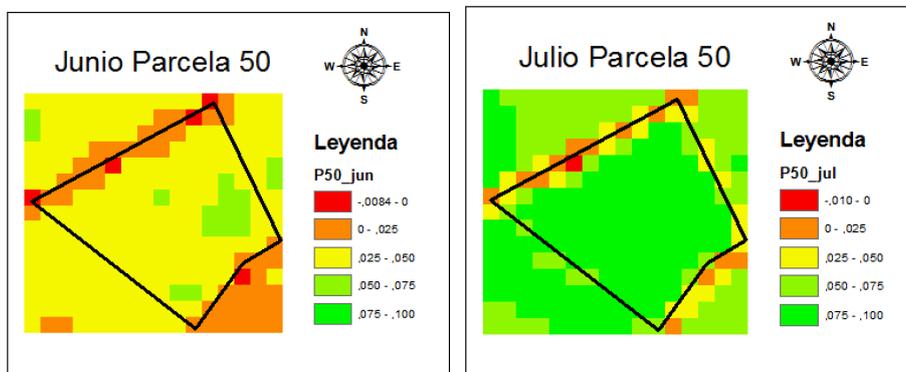


Ilustración 47: Fases del cultivo en la parcela 21.

En la ilustración 48 se observa un menor crecimiento del cultivo en las zonas por donde se encuentran los caminos del polígono 3 que delimitan la parcela 21.



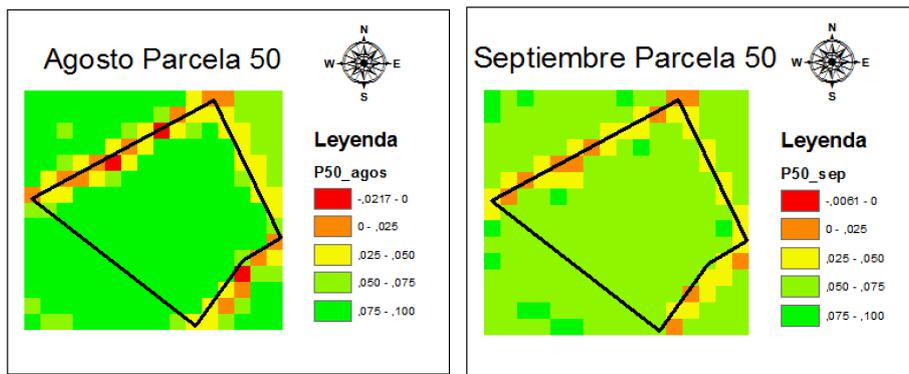


Ilustración 48: Fases del cultivo en la parcela 50.

En la ilustración 49 se observa un menor crecimiento del cultivo en las zonas por donde se encuentran los límites de la parcela 50, delimitados por los caminos del polígono 10.

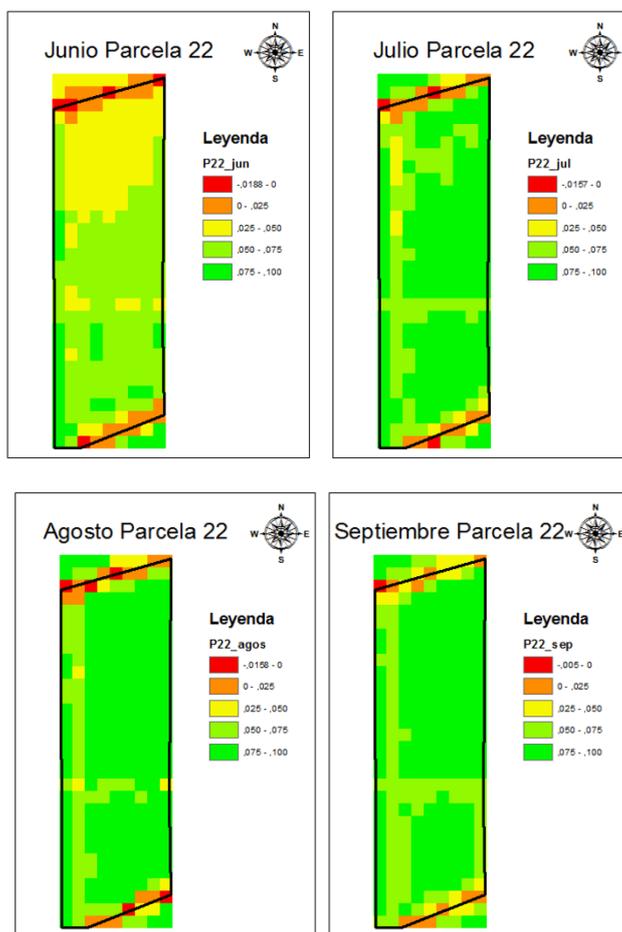


Ilustración 49: Fases del arroz en la parcela 22.

En la ilustración 50 se observa un menor crecimiento del cultivo en las zonas por donde se encuentran los caminos del polígono 3 que delimitan la parcela 22.

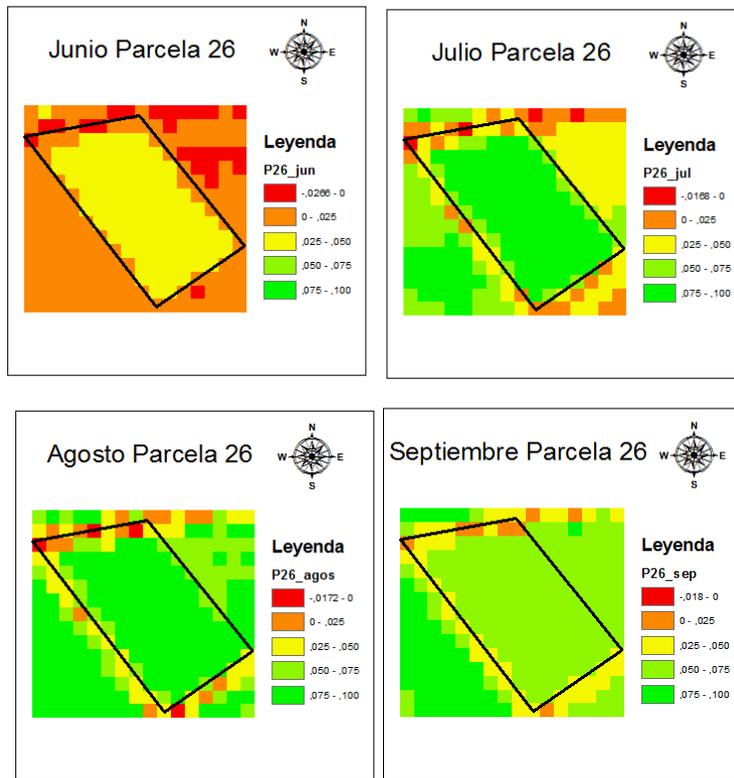


Ilustración 50: Fases del cultivo en la parcela 26.

En la ilustración 51 se observa un menor crecimiento del cultivo en las zonas por donde se encuentran los límites de la parcela 26, delimitados por los caminos del polígono 14.

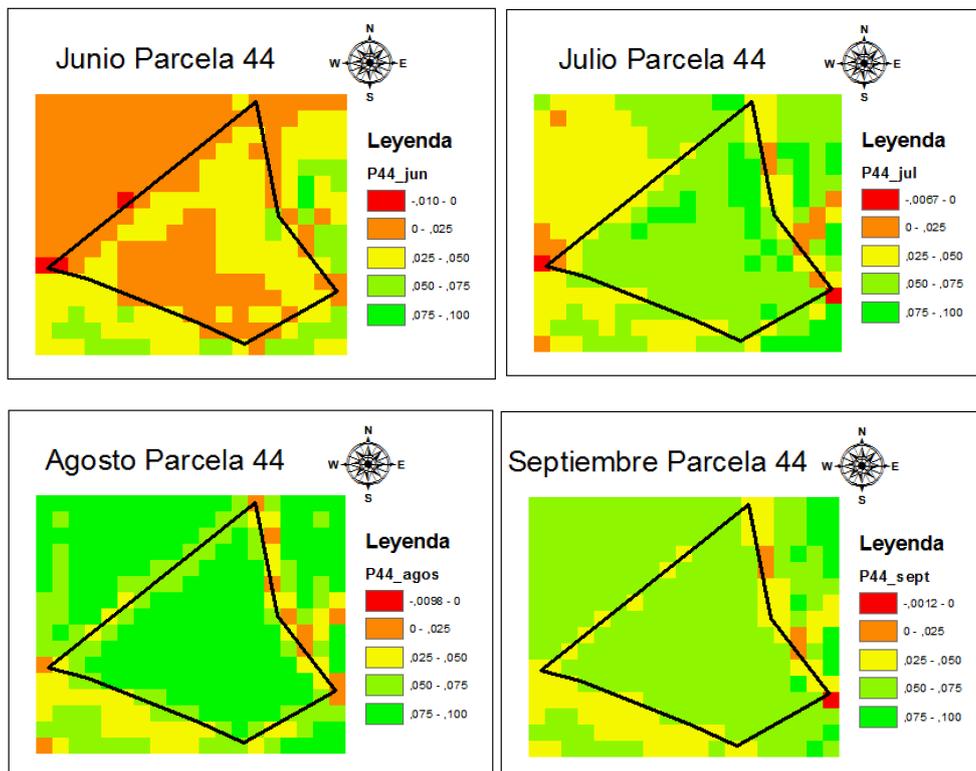


Ilustración 51: Fases del cultivo en la parcela 44.

En la ilustración 5e se observa un menor crecimiento del cultivo en las zonas por donde se encuentran los caminos del polígono 10 que delimitan la parcela 44.

De forma general, para cada una de las parcelas se puede comprobar que en el mes de junio el cultivo está en pleno crecimiento, pero, además, el tipo de arroz Puntal crece con menor fuerza frente al tipo de arroz Sirio. En los meses julio y agosto, el cultivo está en plena fase de crecimiento y su respuesta espectral es mayor mientras que en septiembre, la fuerza espectral ha decrecido puesto que el cultivo está listo para su recolecta.

10. Conclusión.

Éste nuevo método de producción agrícola, con la utilización de tecnologías de información, ayudan a elevar el volumen de producción con costes más bajos, evitando, en la mayor medida posible, la contaminación ambiental.

Actualmente, en América latina, los avances de la agricultura de precisión son mucho mayores que los encontrados en España. Utilizan todas las tecnologías a su disposición para realizar una mejora en la producción del cultivo.

Durante la recogida de datos e información en el caso práctico, se ha podido comprobar que muchas de las tecnologías que tienen a su disposición no son utilizadas, mayormente, porque el usuario no tiene conocimientos de ellas. Por ejemplo, si combinaran la teledetección con los sistemas de información geográfica (SIG) podrían realizar mapas de muestreo que les resultaría muy útiles para saber dónde la cosecha ha sido mayor y rociar menor cantidad de insumos y viceversa, de esa forma mejoraría la eficacia y el costo sería aún menor.

Otro aspecto a tener en cuenta durante el estudio de la información es que no han utilizado la tecnología de los sensores de grano, que les ayudaría a saber en el mismo instante la composición del cultivo, la cantidad de humedad que presenta, etc., además de realizar un mapa con la cantidad de grano recogido por hectárea. Del mismo modo, se ahorrarían el proceso del análisis del arroz que es realizado en las cooperativas.

El principal beneficio que se ha podido comprobar es que utilizan sistemas de posicionamiento global (GNSS) que con la ayuda de una controladora evitan los solapes en el rocío de insumos y con ello, una disminución de costos.

Para poder evitar el desconocimiento de las nuevas tecnologías y los avances en ellas, se debería potenciar la formación a los usuarios para conseguir una mejora en sus cosechas, o bien, con la contratación de técnicos especialistas, en las cooperativas, que tengan conocimiento del manejo de dichas tecnologías.

11. Bibliografía.

PÁGINAS WEBS

Agricultura. PGS.GOV. Desde: <http://www.gps.gov/applications/agriculture/spanish.php>

Agricultura de precisión. Exsis, *Agricultura de precisión*. Desde: <http://agriculturadeprecision.co/agricultura-de-precision/>

Área de teledetección. TYC GIS. Desde: <http://www.trabajosyclasesgis.com/index.php/teledeteccion-y-agricultura.html>

Chirgwin, J. C. Los animales de trabajo y el desarrollo sostenible. Desde: <http://www.fao.org/docrep/v8180t/v8180T0p.htm>.

Ciencias de la información geográfica: sistemas de información geográfica, teledetección espacial, servicios basados en localización. (2013). Geomática. Desde: http://geomatica-al-dia.blogspot.com.es/2013/04/firmas-espectrales_2.html

Componentes de un sistema láser para nivelación. Agro servicios. Desde: <http://www.agroservicios.com.ar/nivelacion-agricola/2-sin-categoria/45-nivelacion-laser-agricola-nivelacion-de-suelos>
Concepto de Teledetección. Desde: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/defin_td.htm

El posicionamiento puntual preciso (PPP) en la práctica. (2013). Café Geodésico. Desde: <http://cafegeodesico.blogspot.com.es/2013/07/el-posicionamiento-puntual-preciso-ppp.html>

Interacción radiación electromagnética – materia. Desde: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/firma_es.htm

Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. BOE. Desde: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-11605>

SBAS *fundamentals*. Eesa *navipedia*. Desde: http://www.navipedia.net/index.php/SBAS_Fundamentals

Sistemas de información geográfica, tipos y aplicaciones empresariales. Mapa satélite. Desde: http://sig.cea.es/como_funcionan

Suelos y encalado. Nutrición vegetal. Desde: [http://www.yara.es/crop-nutrition/crops/maize/informacion-escencial/suelos-y-encalado/Teledetección agrícola: mediante vuelos con aviones no tripulados \(drones\)](http://www.yara.es/crop-nutrition/crops/maize/informacion-escencial/suelos-y-encalado/Teledetección_agricola_mediante_vuelos_con_aviones_no_tripulados_(drones)). HEMAV. Desde: <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Teledeteccion-agricola-127192.html>
Tracción animal. (2017). EcuRed. Desde: http://www.ecured.cu/index.php/Tracci%C3%B3n_animal

Triangulación desde los satélites. (2017). Masmar. Desde: <http://www.masmar.net/esl/N%C3%A1utica/Seguridad-Naval-Naufragios/Sistema-de-Posicionamiento-Global.-%C2%BFQue-es-un-GPS/Triangulaci%C3%B3n-desde-los-sat%C3%A9lites>.

What is SBAS? EGNOS. Desde: <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos/what-sbas>.

ARTÍCULOS/LIBROS

Agüera, J. & Pérez, M. (2013). *Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria*. *Ambienta*, 105 18-27.

Albornoz, V. M., Cid- García, N. M., Ortega, R. A. & Ríos-Solís, Y. A. (2012). *Determinación de zonas homogéneas de cultivo usando agricultura de precisión*. Congreso Latino- Iberoamericano de investigación Operativa. 4540-4547.

Berné, J. L., Anquela, A. B. & Garrido, N. (2014). *GNS. GPS: fundamentos y aplicaciones en geomática*. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.

Bongiovanni, R. (2003). *La agricultura de precisión en la cosecha*. IDIA del INTA, Argentina.

Bongiovanni, R. (2004). *Rentabilidad de la agricultura de precisión*. Agromercado, Argentina, 1-12.

Bongiovanni, R., Chartuni, E., Best, S. & Roel, A. (2006). *Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Procisur.

Campos, I. Martínez-Cob, A. Casterad, M.A. (2010). *Estimación de la evapotranspiración de cultivos leñosos en regadío mediante teledetección en Aragón*. Comunidad general de riegos del alto Aragón.

Chartuni, E., Marçal, D. Ruz, E. & de Assis de Carvalho, F. (2007). *Agricultura de precisión. Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria*. COMUNIICA, 1 24-31.

Ciampagna, J. M. *Sistemas de información geográfica. Una herramienta para a administración del estado*. Grupo para el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (GDSIG).

Gao, Y. & Chen, K. (2004). *Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-time orbit and clock products*. *Journal of global positioning systems*, 3 (1-2) 95-100.

García, E. & Flego, F. *Agricultura de precisión*. Tecnología agropecuaria. 99-116.

García, J., Verdú, G., García, E., Matoses, I., Laguarda, N. & Rodríguez, A.D. (2002) *Técnicas de muestreo, análisis y caracterización de residuos, lixiviados y suelos*. Universidad Politécnica de Valencia.

García, L., Pozo-Ruiz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M.C., Guinea, D. & Sandoval, F. (2000) *Sistemas de posicionamiento global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro*. *Mundo electrónico*, 306 (2000) 54-59.

Hodgson, J.M. (1987) *Muestreo y descripción de suelos*. Reverté. Barcelona.

Huber, K., Heuberger, F., Abart, C., Karabatic, A., Weber, R. & Berglez, P. (2010). *PPP: Precise Point Positioning – Constraints and Opportunities*. FIG Congress, Facing the challenges- building the capacity, Sydney, Australia, 11 (16) 1-17.

- Huerta, E., Mangiaterra, A. & Noguera, G. *GPS. Posicionamiento satelital*.
- Ligier, D., Kurtz, B. & Perucca, A. *Relevamiento arrocero 2000/2001, con apoyo de escenas landsat, en la provincia de Corrientes*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.
- Martín, M. P.; Barreto, L. & Fernández-Quintanilla, C. *Teledetección y agricultura de precisión: un ejemplo de aplicación a la cartografía de malas hierbas en cultivos de cereal*. Acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas, 977-994.
- Martín-Ordóñez, T., Casterad, M.A. & Herrero, J. *Cuantificación y cartografía de los volúmenes de agua de riego aplicados en un regadío*.
- Martínez, J. I. (2000) *Trilladoras y tractores: energía, tecnología e industria en la mecanización de la agricultura española (1862-1967)*. Universidad de Sevilla, Edicions Universitat de Barcelona, 225 243-246.
- Martini, A., Bianchini, A. & Bragachini, M. (1999). *Sistemas de Posicionamiento*. INTA Manfredi, 1-12.
- Mesa, J. (1997). *Agricultura de precisión y precisión en la agricultura*. Vida rural, 51.
- Montenegro, A. *Muestreo de suelos para análisis químico y recomendación de fertilización y enmiendas*. Centro Regional de Investigación Carillanca. 5-16.
- Palomo, A., Piqué, R., López, O., Bosch A., Chinchilla, J. & Tarrús, J. (2008). *Análisis de los artefactos de madera del yacimiento Neolítico lacustre de la Draga: aproximación experimental*. Málaga, España.
- Pérez, G., Peña-Chocarro, L. & Morales, J. (2011). *Agricultura neolítica en Andalucía: semillas y frutos*. Revista de prehistoria de Andalucía, 2 (2011) 59-71.
- Rea-Sánchez, V., Maldonado-Cevallos, C. & Villao-Santos, F. (2015). *Los sistemas de información para lograr un desarrollo competitivo en el sector agrícola*. Ciencia UNEMI, 8 (13) 122-129.
- Recio, J. A. (2014). *Teledetección. Tema 2: Interacción de la radiación con los objetos*. España.
- Rey, J. (2006). *El sistema de Posicionamiento Global – GPS*. Departamento de Entomología and Nematología Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida.
- Roberts, T.L. & Henry, J. L. *El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo*. Informaciones agronómicas, 42.
- Ortega, R. & Flores, L. *Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico*. CRI Quilamapu INIA, departamento de recursos naturales y medio ambiente, Chile, 515.
- Ovalles, F. (2006). *Introducción a la agricultura de precisión*. CENIAP HOY, Venezuela, 12.
- Uva, M. A. & Campanella, O. (2009) *AP-SIG: un SIG con funciones específicas para agricultura de precisión*. XI workshop de investigadores en ciencias de la computación, 531-535.
- Valero, C. *Agricultura de precisión en EE. UU. y Argentina: dos ejemplos a seguir*. Universidad Politécnica de Madrid.

Villarroel, D., Scaramuzza, F., Méndez, A & Vélez, J. *El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección*. Red de agricultura de precisión, INTA EEA Manfredi.

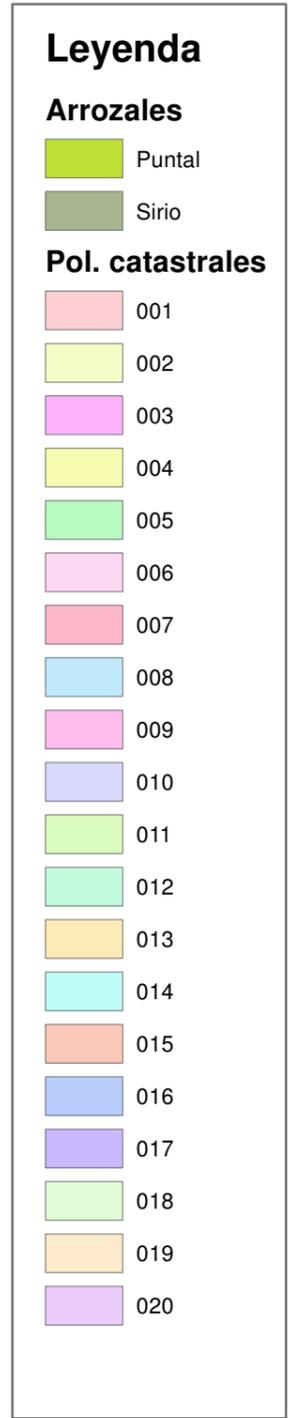
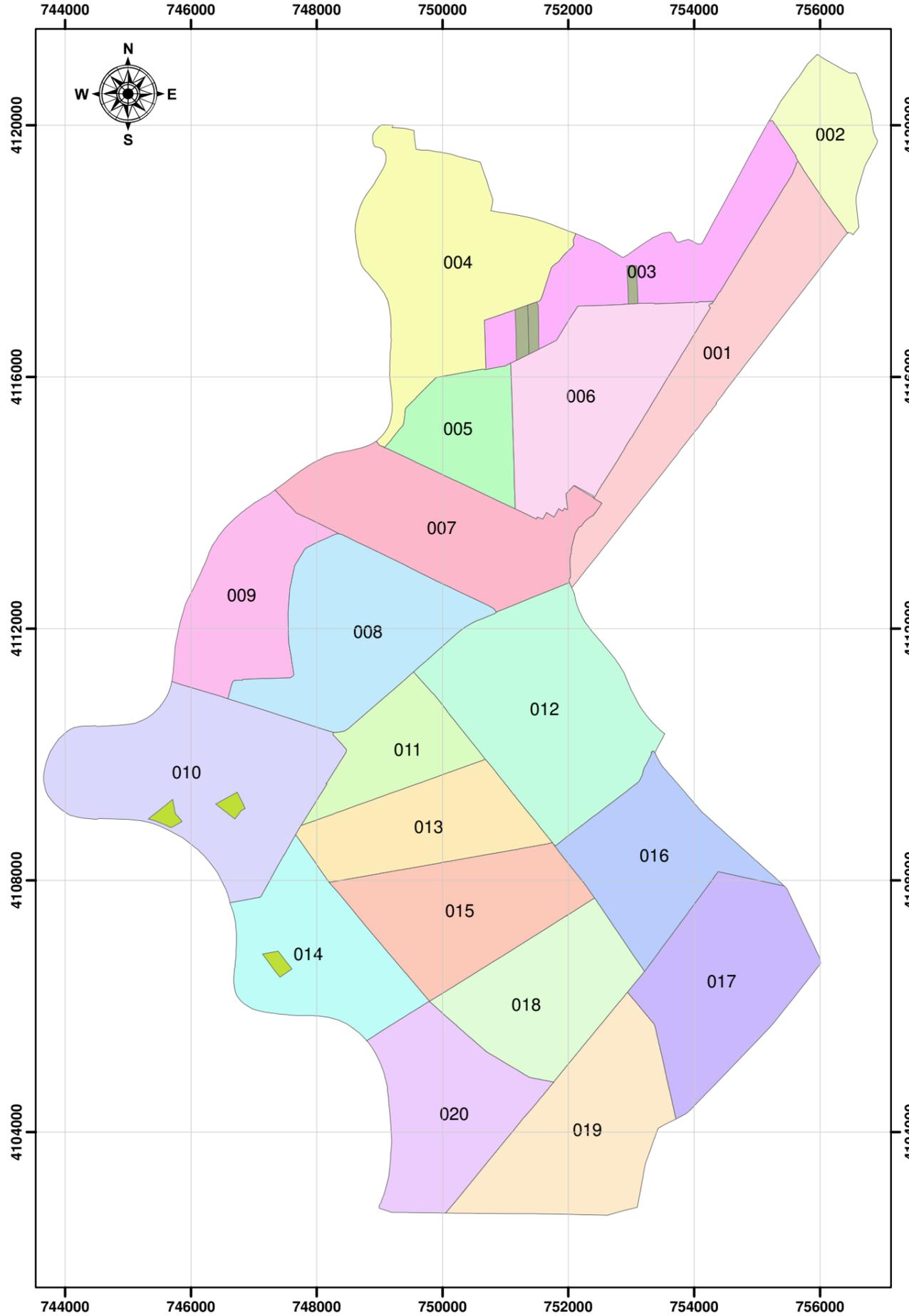
Wielgosz, P., Grejner-Brzezinska, D. & Kashani, I. (2004). *High-Accuracy DGPS and Precise Point Positioning Based on Ohio CORS Network*. Journal of The Institute of Navigation, USA, 52 (1) 23-28.

Wübbena, G., Bagge, A., Seeber, G., Böder, V. & Hankemeier, P. *Reducing distance dependent errors for real-time precise DGPS applications by establishing reference station networks*.

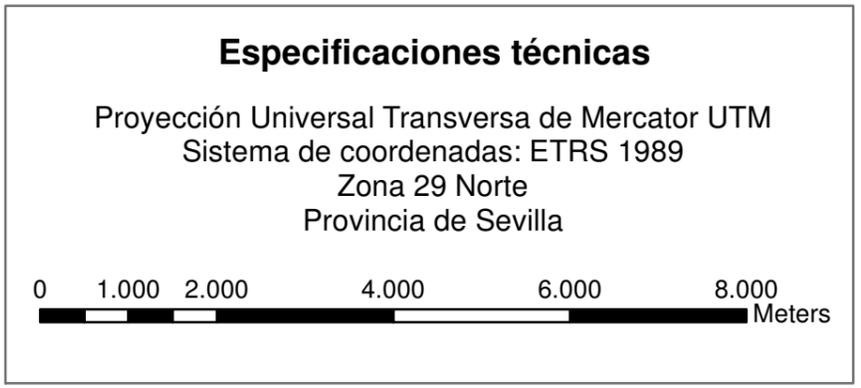
12. Anexos.

ANEXO I

Mapa de situación.



Mapa de municipios



Mapa de los arrozales estudiados en las Marismas	Escala gráfica:	Escala gráfica:
Proyecto Final de Grado: Aplicaciones geomáticas en agricultura	1:80.000	municipios
		1:700.000

Creado por:
Mireya Torres García

Universidad Politécnica de Valencia
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica



ANEXO II

Permisos a solicitar para el tratamiento aéreo fitosanitario.

ORDEN DE TRATAMIENTO

PRODUCTOR:										Nº ORDEN:
PROVINCIA										FECHA
MUNICIPIO										CIF/NIF:
POLIGONO										CULTIVO: ARROZ
PARCELAS										
RECINTO										DISTRIBUCIÓN:
SUP (HAS)										MODO APLICACIÓN:
CALDO L /Ha										SUPERFICIE (Has)
PRODUCTO:										
MATERIA ACTIVA:			Nº Registro:			P.S: NP DOSIS MAX.:				
OBJETO (plaga, enfermedad...):										
JUSTIFICACION: SUPERADO UMBRAL										
PRODUCTO:										
MATERIA ACTIVA:			Nº Registro:			P.S: NP DOSIS MAX.				
OBJETO (plaga, enfermedad...):										
JUSTIFICACION:										
PRODUCTO:										
MATERIA ACTIVA:			Nº Registro:			P.S: NP DOSIS MAX.:				
OBJETO (plaga, enfermedad...):										
JUSTIFICACION:										
PRODUCTO:										
MATERIA ACTIVA:			Nº Registro:			P.S: NP DOSIS MAX.:				
OBJETO (plaga, enfermedad...):										
JUSTIFICACION:										
ASESOR/NIF:					RESPONSABLE DE LA APLICACIÓN/NIF:					
Firma:					Firma:					

OBSERVACIONES:

Todas las actuaciones que se han detallado anteriormente deberán seguir las indicaciones que se establecen la nueva normativa sobre SEGURIDAD EN EL TRABAJO, son de OBLIGADO CUMPLIMIENTO, según ley 31/1995 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención de 31 de Enero de 1997.

Para un EMPELO SEGURO Y CORRECTO DE FITOSANITARIOS SE RECOMIENDA cumplir estrictamente lo expuesto en la ORDEN TÉCNICA.

USAR: Guantes, Gafas, mascarillas, ropa de protección adecuada, NO BEBER NI FUMAR durante la aplicación, no inhalar los vapores.

LAVARSE con agua y jabón inmediatamente después de cada aplicación, cambiarse de ropa.

En caso de INTOXICACIÓN, llamar al 912620420 (Instituto toxicológico) ten a mano el envase. Conservar los restos en el envase original.

RESPECTAR LOS PLAZOS DE SEGURIDAD

Mantener los fitosanitarios en lugares adecuados, fuera del alcance de los niños y personal no cualificado.

Los fitosanitarios sólo deben ser manejados por PERSONAL CUALIFICADO Y AUTORIZADO.

Se considera de estricto cumplimiento la RESOLUCIÓN DE 3 DE JUNIO DE 2013 DE LA DELEGACIÓN TERRITORIAL DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y MEDIO AMBIENTE DE SEVILLA, POR LA QUE SE ESTIMA LA PETICIÓN DE AUTORIZACIÓN PARA LA APLICACIÓN AÉREA DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS SOLICITADA POR LA API UNIÓN PROFESIONAL DE ARROCEROS. Según el RD 1311/2012

En dicha orden de tratamiento quedan enteradas las partes, del compromiso adquirido y la responsabilidad que ha cada uno le compete, de forma que el productor queda conforme en atenerse a lo establecido en la resolución del RD1311/2012, en la limitación de usos de materias activas así como de las formas de ejecución.

EL AGRICULTOR SE COMPROMETE, A UTILIZAR ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE LAS MATERIAS ACTIVAS CONTRA LAS PLAGAS, ENFERMEDAD O MALA HIERBA, OBJETO DE TRATAMIENTO Y NUNCA SUPERANDO LA DOSIFICACIÓN INDICADAS EN ESTA ORDEN DE TRATAMIENTO.

ANEXO III

Real decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.

CAPÍTULO VI

Aplicaciones aéreas de productos fitosanitarios

Artículo 27. Condiciones para las aplicaciones aéreas de productos fitosanitarios.

Se prohíben las aplicaciones aéreas de productos fitosanitarios, salvo en los siguientes casos especiales:

1. Sólo podrán realizarse las aplicaciones aéreas autorizadas por el órgano competente de la comunidad autónoma donde vayan a realizarse, o las que sean promovidas por la propia administración tanto para el control de plagas declaradas de utilidad pública según el artículo 15 de la Ley, como para el control de otras plagas en base a razones de emergencia. Será en cualquier caso condición necesaria para su realización que no se disponga de una alternativa técnica y económicamente viable, o que las existentes presenten desventajas en términos de impacto en la salud humana o el medio ambiente. Si la zona sobre la que se va a efectuar la pulverización está próxima a zonas habitadas o transitadas, en el procedimiento de autorización deberá considerarse el posible impacto sobre la salud humana, incluyéndose en la autorización, en caso necesario, medidas específicas de gestión del riesgo, para velar que no se produzcan efectos adversos.
2. Las aplicaciones aéreas se realizarán según las condiciones generales que se establecen en el anexo VI.
3. Los tratamientos se realizarán con productos fitosanitarios autorizados para el cultivo y plaga de que se trate, y aprobados específicamente para aplicación aérea por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, previa evaluación específica de los riesgos que supone dicho tipo de aplicación.

Artículo 28. Solicitud de autorizaciones especiales de aplicaciones aéreas.

1. La solicitud de autorización prevista en el artículo 27.1 se presentará ante el órgano competente de la comunidad autónoma. Podrán presentar la solicitud de particulares, agrupaciones de productores, o las empresas que vayan a realizar la aplicación. La solicitud irá acompañada de un plan de aplicación que deberá ser aprobado por el órgano competente.
Salvo norma en contrario de la comunidad autónoma correspondiente, el plazo máximo para dictar y notificar la resolución expresa será de seis meses, contados desde la fecha en que la solicitud haya tenido entrada en el registro del órgano competente para su tramitación. Transcurrido dicho plazo sin que se haya dictado y notificado la resolución, la solicitud se podrá entender estimada por silencio administrativo.
2. En el caso de los tratamientos aéreos promovidos por la administración, según lo previsto en el artículo 27.1, el órgano competente aprobará un plan de aplicación. El

órgano competente podrá disponer que el plan de aplicación deba ser presentado por la empresa que vaya a realizar la aplicación.

3. El plan de aplicación previsto en los apartados 1 y 2 deberá ir firmado por una persona con titulación universitaria habilitante, en el sentido en que define el artículo 13, y su contenido se ajustará, al menos, a lo establecido en el anexo VII.

Artículo 29. Registro y seguimiento de las aplicaciones aéreas.

1. El órgano competente de la comunidad autónoma llevará una base de datos de las solicitudes y autorizaciones de las aplicaciones aéreas, y pondrá a disposición del público la información pertinente contenida en ella, haciendo referencia en cualquier caso a la zona, fecha y momento del tratamiento, así como al producto fitosanitario utilizado.
2. El órgano competente de la comunidad autónoma realizará un seguimiento de que las aplicaciones aéreas cumplen lo dispuesto en los artículos 27 y 28. Este seguimiento podrá incluirse en el marco de los controles oficiales de cumplimiento de la normativa vigente en materia de productos fitosanitarios.

ANEXO VI

Condiciones generales para la realización de las aplicaciones aéreas

1. Director de tratamiento.

Se designará un director de tratamiento cuya función será velar por que se cumple lo establecido en el plan de aplicación. El director de tratamiento deberá estar en posesión de titulación universitaria habilitante según lo establecido en el artículo 13.

2. Empresa de tratamientos aéreos.

Sin perjuicio de la normativa vigente en materia de aviación civil y comercial que deben cumplir las empresas que efectúen tratamientos fitosanitarios con medios aéreos, se exigirá que la empresa esté inscrita en la correspondiente sección del Registro de la comunidad autónoma donde se encuentre el domicilio social de la empresa.

Las empresas deberán tener en vigor en el momento de efectuar los tratamientos las correspondientes pólizas de seguros de responsabilidad civil y química de las aeronaves.

3. Aeronaves para el tratamiento.

Sin perjuicio de la normativa existente en materia de aviación civil y comercial que deben cumplir las aeronaves para tratamientos fitosanitarios, además de los correspondientes certificados de estar en perfectas condiciones de vuelo y haber pasado las revisiones pertinentes, se exigirá lo siguiente:

- Ir provistas de emisora tierra-aire, con un equipo completo para transmitir y recibir desde el puesto de control en tierra, siendo imprescindible la conexión permanente entre el piloto y el personal de tierra. Estos equipos se revisarán diariamente comprobando su correcto funcionamiento.
 - Ir provistas de sistemas de posicionamiento global (GPS) que cuenten con un servicio de corrección diferencial en tiempo real correctamente configurado (DGPS), así como todos los equipos necesarios a instalar en los aviones que permitan planificar previamente los vuelos y discriminar zonas a tratar de las que no son objetivo del tratamiento, así como la determinación de zonas de seguridad por diferentes causas (cultivos ecológicos, cauces de agua, espacios de especial protección medioambiental, etc.).
 - Ir provistas de sistemas con la suficiente capacidad de almacenamiento de datos para grabar los datos de los tratamientos efectuados (dosis, pasadas de tratamientos, etc.), y guardar esta información georreferenciada en UTM (preferentemente formato «shapefile») durante un periodo mínimo de 3 años, estando a disposición del órgano competente en caso de inspección.
 - Ir provistas de equipos que permitan controlar la dosificación del producto aplicado (tipo «flowmeter»).
4. Equipos de aplicación de fitosanitarios.

Los equipos de aplicación tendrán que estar en cada momento en perfectas condiciones de funcionamiento y mantenimiento y correctamente calibrados, para garantizar unas dosificaciones exactas. Estos equipos deberán haber pasado la inspección técnica establecida en la normativa correspondiente.

5. Personal.

Sin perjuicio de la normativa existente en materia de aviación civil y comercial que deben cumplir los pilotos, todo el personal, más aquel que se encargue de las funciones de carga de los aviones y la manipulación de los productos fitosanitarios, deberá tener la capacitación adecuada para aplicación y manipulación de estos productos que establezca la normativa en vigor, capacitación que deberá estar acorde con su responsabilidad en el tratamiento y con la toxicidad de los productos empleados. El personal deberá estar en disposición de acreditar dicha capacitación en la propia pista de tratamientos ante el órgano competente.

En todo tratamiento fitosanitario por medios aéreos, en la zona de carga de las aeronaves, el personal estará compuesto como mínimo por una persona titular del carné de usuario profesional de productos fitosanitarios de nivel básico y por el piloto, que será titular del carné de usuario profesional de productos fitosanitarios de nivel piloto agroforestal.

Asimismo, en cumplimiento de la normativa vigente en prevención de riesgos laborales, todo el personal participante en los tratamientos fitosanitarios llevará el correspondiente Equipo de Protección Individual, cuya composición dependerá del grado de implicación y actuaciones a llevar a cabo por cada una de las personas actuantes dentro del conjunto de operaciones de que consta el tratamiento fitosanitario.

6. Realización del tratamiento.

Los tratamientos se realizarán siguiendo las condiciones establecidas en el plan de aplicación autorizado por el órgano competente.

Diariamente, antes del inicio del tratamiento, es decir, antes de la carga del producto fitosanitario, se deberá comprobar que todos los equipos de aplicación de fitosanitarios y de posicionamiento global funcionan adecuadamente, no existiendo fugas ni un mal funcionamiento de los aparatos.

No se aplicarán productos fitosanitarios por medios aéreos sobre núcleos urbanos o masas de agua (ríos, lagunas o embalses), asentamientos apícolas ni cultivos ecológicos no objeto de tratamiento, dejando a su alrededor una franja de seguridad mínima de 100 m metros en la cual no podrá realizarse ningún tratamiento por medios aéreos. En casos debidamente justificados en el plan de aplicación autorizado por el órgano competente, esta distancia podría reducirse.

En caso de que durante el transcurso de la aplicación surja algún problema mecánico o técnico que condicione el correcto tratamiento se deberá volver a la zona de carga de las aeronaves, interrumpiéndose los tratamientos hasta que dichos problemas sean subsanados.

La altura de vuelo y la velocidad de trabajo estarán condicionadas por el tipo de aplicación, el cultivo a tratar y la aeronave a utilizar. Dichos parámetros deberán ajustarse, dentro de lo que la seguridad permita, a unos valores que posibiliten una óptima distribución del producto, debiendo tenerse especial consideración de los mismos, conforme se incremente el riesgo de deriva.

En los caminos y vías de acceso a la zona de carga y de tratamiento, se instalarán señales específicas advirtiendo de la realización de tratamientos aéreos con productos fitosanitarios. Estas señales se mantendrán hasta la finalización de los mismos.

El tratamiento se realizará siempre de acuerdo con las buenas prácticas de tratamientos aéreos establecidas e nivel internacional o nacional, y en condiciones meteorológicas adecuadas, de manera que en caso de empeorar las mismas de manera significativa, se suspenderá el mismo hasta que se restablezcan las condiciones adecuadas. Por esta razón, deberán consultarse las previsiones meteorológicas de la zona antes del tratamiento.

La empresa aplicadora velará porque la zona de carga de aeronaves quede libre de vertidos y material originado en el desarrollo de los tratamientos, siendo responsable del estado en que quede la dicha zona.

7. Control de los trabajos.

Por cada jornada de aplicación, se deberá rellenar un documento acreditativo de los vuelos realizados que se entregará al director del tratamiento fitosanitario. Dicho documento deberá contener como mínimo los siguientes datos:

- Empresa que realiza el tratamiento.
- Matrícula de la/s aeronave/s.

- Identificación del piloto/s.
- Fecha, hora de inicio y de finalización de cada vuelo.
- Pista desde la que se realizan los tratamientos.
- Producto fitosanitario empleado: nombre comercial, número de registro y dosis aplicada.
- Volumen de caldo (litros) aplicado.
- Superficie tratada (de forma aproximada).
- Plazos de seguridad.
- Documentación pertinente relativa a la Información georreferenciada en UTM (preferentemente formato «shapefile») de los datos de los tratamientos efectuados, tales como dosis o pasadas de tratamientos.
- Incidencias en el desarrollo de los tratamientos.

Estos documentos deberán guardarse, al menos, durante 3 años en los archivos de la empresa que realice los tratamientos.

ANEXO VII

Contenido de los planes de aplicaciones aéreas

- Solicitante/s de la aplicación aérea o, en el caso de tratamientos oficiales, organismo de la Administración que lo promueve.
- Director del tratamiento.
- Compañía aérea que realiza las aplicaciones.
- Cultivo a tratar.
- Organismos nocivos objeto de tratamiento.
- Productos fitosanitarios a utilizar (nombre comercial y número de registro).
- Dosificación (cantidad de producto comercial por ha).
- Dosis de aplicación (cantidad total de caldo por ha).
- Zona de tratamiento (municipios) y superficie tratada/protegida.
- Identificación de las pistas utilizadas para la realización de los tratamientos y autorización por parte de sus propietarios en caso de que no sea la propia empresa de aplicación.
- Fechas de tratamiento.
- Memoria justificativa sobre la inviabilidad de realizar el control de la plaga por otros medios o, en su caso, de las ventajas que representa la aplicación aérea desde el punto de vista de salud humana, residuos, económico, medioambiental o eficacia en cuanto a la reinfestación con respecto a otras alternativas.

- Información gráfica de la zona a tratar, que incluirá mapas, al menos a escala 1:25.000, y una base de datos en formato electrónico en la que se indiquen las referencias SIGPAC de cada uno de los recintos objeto de la aplicación, así como los titulares de los cultivos de los mismos. Se identificarán también las zonas de exclusión enclavadas en la zona de tratamiento como pueden ser parcelas destinadas a la agricultura ecológica, espacios naturales protegidos, cursos de agua, núcleos poblados o parcelas destinadas al mismo cultivo del que es objeto la aplicación y no incluidas en la solicitud. Se representará la banda de seguridad mínima a la que se refiere el apartado 6 del anexo VI.
- En caso de que la pulverización aérea esté próxima a zonas abiertas al público, se deberá incluir una descripción de las medidas específicas de gestión del riesgo con el objeto de velar porque no se produzcan efectos adversos en la salud de los circundantes.
- En caso de pulverizaciones colectivas se deberá recabar la autorización expresa de cada uno de los agricultores titulares de los cultivos objeto de la solicitud o del representante legal de la entidad que los agrupe en su caso, salvo que las aplicaciones sean declaradas obligatorias y de utilidad pública.
- Certificado de inscripción de la empresa de aplicación en el Registro de la comunidad autónoma donde radique su sede social, así como copia de las correspondientes pólizas de seguros de responsabilidad civil y química de las aeronaves.
- Detalle de las medidas a aplicar para la información sobre la realización de aplicaciones aéreas a otros interesados, tales como ayuntamientos, asociaciones agrarias, oficinas comarcales o apicultores.
- Cualquier otra información que sea imprescindible para garantizar la correcta aplicación aérea de productos fitosanitarios y mitigar los posibles riesgos sobre la salud humana y el medio ambiente.

ANEXO IV

Programa TRIANA (Tratamientos Integrados en Andalucía en Agricultura).

El programa informático TRIANA (Tratamientos Integrados en Andalucía en Agricultura), es una herramienta para la gestión del cultivo desde el punto de vista técnico, especialmente en el caso de parcelas en producción integrada. Al manejo de los diferentes muestreos puede incorporar la información climática, analítica, operaciones de cultivo, etc. con su posterior elaboración gráfica. Permite el análisis de la información acumulada y la consiguiente toma de decisiones, añadiendo la confección del cuaderno de explotación y complementándose con ayudas sobre aspectos fitosanitarios (ilustración 52).⁹

The screenshot displays the TRIANA software interface. At the top, there is a menu bar with options like 'Archivo', 'Edición', 'Buscar parcela', 'Gráficas', 'Informes', 'Maquinaria', 'Datos clima', 'Herramientas', 'Incidencias/Consultas', and 'Ayuda'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main interface is divided into several sections:

- Navigation and Selection:** Includes a tree view on the left for 'Provincias' (Almería) and 'Ejido, EI'. The main area has dropdowns for 'Provincia: Almería', 'Municipio: Ejido, EI', 'Camp. cultivo: 2006-07', and 'Parc. Agrícola: 04-104-000-00000-00-001'. There are also buttons for 'C1 Judía' and 'Ciclo 1'.
- Data Tabs:** 'Datos Parcela', 'Datos Muestreros', 'Aplicaciones', 'Operaciones', 'Análisis', and 'Otras'. The 'Datos Parcela' tab is active.
- Parcel Data Table:**

Identificación	Agrónomos	Cultivo	P. Asociadas	Nueva campaña para esta parcela	Nueva campaña grupo parcelas
Identificación Parcela Agrícola	EJEMPLO_01				
Coordenada X (UTM)					
Coordenada Y (UTM)					
Altitud (m)					
Comarca	CAMPO DALIAS				
Paraje	Balsa seca				
Zona homogénea	Dalias				
U.H.C a la que pertenece	UHC-001				
- Technical/Advisor Data:**

Técnico / Asesor	GARCIA RAMIREZ, JOSEFA
Nombre de la entidad	Agroejido
API, ATRIA...	ATRIA-01
Titular Explotación (Persona Física ó Jurídica)	DOLORES GARCIA RAMOS
Tipo de Explotación	Invernada
Sistema para el cumplimiento Gestión integrada	Producción Integrada (PI)
Representante Explotación	AFRICA GARCIA HARO
Asesor responsable de la casa comercial de insectos	VALVERDE LOPEZ, ANTONIO
- Production Record:**

Fecha	Operación	Detalles	Otros detalles
01/05/06	Aplicación Fitosanitarios	nº orden: 001	
01/08/06	Biofumigación	Materia verde	
25/08/06	Labores de suelo	Rotovator; Gradeo / Remover superficialmente la tierra	Ejemplo observaciones
25/08/06	Plantación-Replantación	Judía Admires	
02/09/06	Plantación-Replantación	Judía Admires	
08/09/06	Incidencias	Fuertes vientos	

Ilustración 52: Programa TRIANA.

⁹ Información obtenida de :

<http://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescayderosarrollorural/areas/agricultura/sanidad-vegetal/paginas/produccion-integrada-atrias-programas-triana.html>.

ANEXO V

Informe de los vuelos de tratamientos fitosanitarios.

INFORME DE LOS VUELOS DE TRATAMIENTO FITOSANITARIOS

CULTIVO: _____ **ORGANISMO NOCIVO:** _____

FECHA DE VUELO: _____ **ID: ARCHIVO SHAPEFILE GENERADO:** _____

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE					
Nombre del agricultor y/o entidad titular de la/s parcelas:			DNI/NIF:		
Domicilio:		Término Municipal:		Código postal:	
Teléfono 1:		Teléfono 2:		Mail:	

IDENTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRATAMIENTO Y TÉCNICO DE API					
Nombre del Dtor. Tratamiento			DNI:		
Titulación:		Teléfono 1:		Teléfono 2:	
API/ Entidad a la que pertenece			Mail:		
Otros técnicos de la API/entidad presentes			DNI otros técnicos		

IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA DE TRATAMIENTOS AÉREOS					
Nombre de la empresa / entidad tratamientos aéreos			CIF:		
Domicilio:		Término Municipal:		Código postal:	
Teléfono 1:		Teléfono 2:		Mail:	
Nº de inscripción de la empresa en el ROESP					

IDENTIFICACIÓN DEL PILOTO			
Nombre del /la piloto			DNI:

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA AERONAVE					
Matrícula aeronave		Emisora Tierra-Aire (SI/NO)		Dispone de capacidad de almacenamiento de datos suficientes (SI/NO)	
Disponibilidad de DGPS configurado para archivos <<Shapefile>> (SI/NO)		Disponibilidad de equipo <<FLOWMETER>> (SI/NO)		Dispone de seguro de Responsabilidad Civil y riesgo químico en vigor (SI/NO)	

IDENTIFICACIÓN DE EL/LOS PRODUCTO/S FITOSANITARIO/S A UTILIZAR							
Nombre comercial:	Mat. Activa:	Nº Registro:	Dosis: (cantidad de producto por Ha)	Volumen total aplicado (litros/Ha)	Capacidad de los envases usados	Nº de envases utilizados	Plazo seguridad (días)

CARACTERIZACIÓN DE LAS PARCELAS A TRATAR (Referencias SIGPAC)										
Provincia	Municipio	Polígono	Parcela	Sup. (Has)	Provincia	Municipio	Polígono	Parcela	Recinto	Sup. (Has)

VERIFICACIONES EFECTUADAS EN PISTA: (marcar lo que proceda)	SI	NO
Antes de la carga del producto fitosanitario se ha comprobado que los equipos de posicionamiento de la aeronave funcionan adecuadamente.		
Antes de iniciar cada vuelo se ha comprobado que el equipo no presenta fugas de producto. En caso de detectarse fugas, éstas se han subsanado antes de reiniciar el siguiente vuelo.		
Las personas implicadas en el manejo de los productos fitosanitarios disponen en todo momento de los EPI correspondientes (mascarilla, guantes, botas, mono) y están en posesión del carné de aplicador de productos fitosanitarios (básico/cualificado o piloto agroforestal) según proceda.		
Los envases de productos fitosanitarios antes de la carga se encontraban cerrados y precintados		
Los productos fitosanitarios a usar y dosis a aplicar concuerdan con lo notificado a la Administración e indicado por el fabricante.		
No se ha realizado la mezcla del producto fitosanitario antes de su incorporación al depósito, salvo que así lo indique el fabricante. En esos casos el producto se ha incorporado cuando el depósito se ha llenado hasta la mitad se agua, terminándose de llenar posteriormente. Se ha procedido al triple enjuague de los envases vacíos de productos fitosanitarios, incorporándose el caldo al depósito de la aeronave.		

CARACTERIZACIÓN DE LOS VUELOS				
Vuelo nº	Hora inicio	Hora fin	Producto aplicado	Pista aterrizaje usada
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

VERIFICACIONES EFECTUADAS TRAS EL TRATAMIENTO (marcar lo que proceda)	SI	NO
La empresa aplicadora vela porque la zona de carga de aeronaves queda libre de vertidos y restos de envases. Los envases vacíos son llevados a un punto de recogida autorizado.		
La empresa aplicadora facilita al director del tratamiento los archivos del vuelo en formato <<shapefile>> incluidos los archivos para su edición (.dbf), (.shp), (.shx). Sistema de referencia EPSG: 23030, Proyección UTM, Huso 30.		

OBSERVACIONES / INCIDENCIAS / OTRAS INFORMACIONES A DESTACAR
Reflejar cualquier incidencia de interés respecto al titular/es; parcelas; aeronaves, etc.

Comprobados los datos anteriormente reflejados. Los abajo firmantes declaran su conformidad con el presente informe de los vuelos efectuados:

En..... a de de 201.....

**EL AGRICULTOR O
TITULAR PARCELAS**

**EL DIRECTOR DEL
TRATAMIENTO**

POR LA EMPRESA APLICADORA

Fdo:.....

Fdo:.....

Fdo:.....

Este informe debe venir firmado al menos por el director del tratamiento y la empresa aplicadora.

Este documento y la información georreferenciada <<shapefile>>, de los tratamientos efectuados deberán guardarse durante 3 años en los archivos de la empresa aplicadora que los realice.

Diariamente. Una copia de los informes de vuelo del día, firmados y en formato "PDF" debe remitirse a la Delegación Territorial de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente junto con los archivos <<shapefile>> de los vuelos. Todo ello a la dirección de correo electrónico habilitada a tal efecto.