

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales

## **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS (CROP MONITORING) MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en  
Sistemas Computacionales

Autor:

Christian Alexander Quespaz Rosero

Director:

MSc. José Fernando Garrido Sánchez

Ibarra – Ecuador

2022



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003429964
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Quespaz Rosero Christian Alexander
<b>DIRECCIÓN:</b>	C. Cañaverl 85. 2do D, Madrid
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:caquespazr@utn.edu.ec">caquespazr@utn.edu.ec</a>
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b> 0034625811475

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS (CROP MONITORING) MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES
<b>AUTOR (ES):</b>	Quespaz Rosero Christian Alexander
<b>FECHA:</b>	07/03/2022
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Sistemas Computacionales
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc: Fernando Garrido

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de marzo de 2022

**EL AUTOR:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Quespaz', with a stylized flourish at the end.

Christian Quespaz



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

Ibarra, 07 de marzo de 2022

### CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Por medio del presente, yo MSc. Fernando Garrido, en mi calidad de director de Trabajo de Grado certifico que el Sr. Christian Alexander Quespaz Rosero, portador de la cédula de ciudadanía Nro. 1003429964 ha trabajado en el desarrollo del proyecto de grado denominado **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS (CROP MONITORING) MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES”**, previo a la obtención del título de Ingeniería en Sistemas Computacionales, lo cual ha realizado en su totalidad con responsabilidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,

MSc.  
Fernando  
Garrido S.

Firmado digitalmente  
por MSc. Fernando  
Garrido S.  
Fecha: 2022.03.07  
17:45:12 -05'00'

MSc. Fernando Garrido  
**Director de Trabajo de Grado**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a toda mi familia, en especial a mis padres, Amílcar y Consuelo, cuyo arduo trabajo y apoyo incondicional brindaron la educación necesaria para mi futuro, permitiéndome llegar hasta este importante momento de formación profesional, a pesar de nuestras dificultades, ellos han estado apoyándome y dándome todo su amor. A mi hermana Dayana por la constante motivación que me ha ayudado a cumplir mis metas. Aquellos compañeros de clase, docentes y amigos que han contribuido directa o indirectamente a mi formación académica. Estoy muy agradecido con todos ellos.

Christian Quespaz

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a mis padres, Amílcar y Consuelo, por todo el trabajo y atención que me brindaron, enseñándome a no rendirme, a ser siempre honesto y responsable. A la Universidad Técnica Norte por darme la oportunidad de formar parte de ella y darme una buena educación. A los docentes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales que me han impartido conocimientos con profesionalismo y dedicación en toda mi formación académica. Agradezco sinceramente a mi director de tesis, MSc. Fernando Garrido, por su paciencia, dedicación y apoyo en el desarrollo de este proyecto. Sin más, quiero poder expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido de una forma u otra durante mi formación profesional.

Christian Quespaz

# TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
TABLA DE CONTENIDO .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
TABLA DE CONTENIDO .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes .....	1
Situación actual .....	2
Prospectiva .....	3
Planteamiento del problema .....	5
Objetivos .....	6
Alcance .....	6
Justificación .....	7
CAPÍTULO 1 .....	9
Revisión bibliográfica .....	9
1.1. Agricultura de precisión .....	9
1.1.1. Objetivos de la agricultura de precisión .....	9
1.1.2. Beneficios de la agricultura de precisión .....	10
1.1.3. Barreras de la agricultura de precisión .....	11
1.1.4. Proceso de la agricultura de precisión .....	11
1.2. Técnicas utilizadas en la agricultura de precisión .....	12
1.2.1. Sistemas de navegación global por satélite (GNSS) .....	13
1.2.2. Mapeo y monitoreo de rendimiento .....	14
1.2.3. Teledetección .....	16
1.2.4. Imágenes Satelitales .....	22
1.2.5. Sistemas de información geográfica (GIS) .....	30
1.2.6. Tecnología de aplicación variable de insumos (VRT) .....	32
1.3. Arquitectura de software .....	33
1.3.1. Arquitectura monolítica .....	33
1.3.2. Arquitectura microservicios .....	34
1.3.3. Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) .....	34

1.4.	Metodologías de desarrollo .....	36
1.4.1.	Metodologías tradicionales .....	36
1.4.2.	Metodologías ágiles .....	37
1.5.	Herramientas tecnológicas .....	38
1.5.1.	Visual Studio Code (VS Code) .....	39
1.5.2.	Visual Studio 2019 (VS 2019) .....	39
1.5.3.	Node.js .....	39
1.5.4.	Angular .....	39
1.5.5.	TypeScript .....	40
1.5.6.	.Net Core .....	40
1.5.7.	C# .....	40
1.5.8.	SQL Server .....	40
1.5.9.	Entity Framework (EF) .....	41
1.5.10.	Interfaz de programación de aplicaciones (API) .....	41
1.5.11.	Scrum .....	41
CAPITULO 2 .....		45
Desarrollo .....		45
2.1.	Pre-juego .....	45
2.1.1.	Definición del equipo y roles del proyecto .....	45
2.1.2.	Planificación del product backlog .....	45
2.1.3.	Descripción de historias de usuario .....	46
2.1.4.	Planificación del sprint backlog .....	48
2.2.	Juego .....	52
2.2.1.	Esquema del desarrollo del sistema .....	52
2.2.2.	Arquitectura de la interfaz .....	52
2.2.3.	Estructura de la base de datos .....	53
2.2.4.	Estructura de herramientas de desarrollo .....	54
2.2.5.	Desarrollo de Backend .....	54
2.2.6.	Desarrollo del Frontend .....	56
2.3.	Post-Juego .....	59
2.3.1.	Análisis y estructuración de la base de datos .....	59
2.3.2.	Análisis y estructuración de las herramientas Backend y Frontend .....	59
2.3.3.	Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Backend .....	59
2.3.4.	Análisis de APIs, validaciones de registro y login del Backend .....	60

2.3.5.	Análisis y desarrollo de seguridades del usuario en el Backend .....	60
2.3.6.	Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Frontend .....	60
2.3.7.	Pruebas de módulo de seguridad del registro y login del Frontend .....	61
2.3.8.	Pruebas de módulo usuario y roles .....	61
2.3.9.	Pruebas de módulo historial.....	61
CAPITULO 3.....		62
Resultados.....		62
3.1.	Análisis previos a los resultados.....	62
3.1.1.	Resultados primer mes (05/01/2021 – 04/02/2021) .....	63
3.1.2.	Resultados segundo mes (09/02/2021 – 03/03/2021) .....	64
3.1.3.	Resultados tercer mes (06/03/2021 – 04/04/2021) .....	65
3.1.4.	Resultados cuarto mes (05/04/2021 – 05/05/2021).....	66
3.1.5.	Resultados quinto mes (06/05/2021 – 30/05/2021).....	67
3.1.6.	Resultados sexto mes (04/06/2021 – 29/06/2021) .....	68
3.1.7.	Resultados séptimo mes (04/07/2021 – 29/07/2021) .....	69
3.2.	Análisis de resultados.....	70
3.2.1.	Resultados de expresiones validas.....	70
3.2.2.	Resultado de expresiones no validas.....	71
3.2.3.	Comparación de expresiones validas y no validas.....	72
CONCLUSIONES .....		73
RECOMENDACIONES .....		74
BIBLIOGRAFÍA.....		75
ANEXOS.....		82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Árbol de problemas .....	5
<b>Figura 2.</b> Esquema del alcance del proyecto .....	6
<b>Figura 3.</b> Beneficios de la agricultura de precisión .....	10
<b>Figura 4.</b> Barreras de la agricultura de precisión .....	11
<b>Figura 5.</b> Proceso de la agricultura de precisión.....	12
<b>Figura 6.</b> Ilustración de un muestreo de suelo en forma de cuadrícula .....	14
<b>Figura 7.</b> Cosechadora equipada con motor de rendimiento GPS y sensores.....	14
<b>Figura 8.</b> Ilustración de un mapa de rendimiento.....	15
<b>Figura 9.</b> Onda electromagnética y sus medidas principales .....	16
<b>Figura 10.</b> Principales bandas espectrales dentro del espectro EM.....	17
<b>Figura 11.</b> Reflexión especular y difusa.....	18
<b>Figura 12.</b> Interacción entre la radiación con los objetos presentes en la Tierra.....	19
<b>Figura 13.</b> Transmisión y absorción atmosférica .....	20
<b>Figura 14.</b> Firmas espectrales de varias superficies en función de la longitud de onda .....	21
<b>Figura 15.</b> Satélites en diferentes órbitas .....	22
<b>Figura 16.</b> Adquisición de datos por teledetección activa y pasiva .....	23
<b>Figura 17.</b> Firma espectral de ciertas coberturas en las bandas del sensor OLI.....	26
<b>Figura 18.</b> Firma espectral de una Imagen pancromática.....	26
<b>Figura 19.</b> Firma espectral de un pequeño conjunto de imágenes espectrales.....	27
<b>Figura 20.</b> Firma espectral de un gran número de imágenes espectrales.....	27
<b>Figura 21.</b> Porcentaje de reflectancia entre una planta sana y una enferma .....	29
<b>Figura 22.</b> Diagrama que ilustra un GIS .....	31
<b>Figura 23.</b> Mapa de prescripción de fertilización de fosforo (P) .....	32
<b>Figura 24.</b> Estructura de una arquitectura monolítica .....	33
<b>Figura 25.</b> Estructura de una arquitectura microservicios .....	34
<b>Figura 26.</b> Estructura de un SOA y ESB.....	35
<b>Figura 27.</b> Desarrollo ágil de software Scrum .....	42
<b>Figura 28.</b> Esquema de la solución del sistema.....	52
<b>Figura 29.</b> Interfaz utilizada para acceder al sistema.....	52
<b>Figura 30.</b> Esquema de desarrollo del sistema utilizando las herramientas.....	54
<b>Figura 31.</b> Conexión a la SQL Server utilizando ORM.....	54
<b>Figura 32.</b> Análisis y creación de controladores de objetos .....	55
<b>Figura 33.</b> Ilustración de creación de rutas.....	55

<b>Figura 34.</b> Validación de rutas creadas mediante la herramienta Swagger .....	56
<b>Figura 35.</b> Seguridad de ingreso del usuario en el módulo Login .....	56
<b>Figura 36.</b> Ilustración de la creación del proyecto en Angular.....	57
<b>Figura 37.</b> Módulo de seguridad e inicio de sesión.....	57
<b>Figura 38.</b> Módulo de usuario y roles .....	58
<b>Figura 39.</b> Módulo de historial de campos con su respectivo cultivo.....	58
<b>Figura 40.</b> Módulo de consulta de cultivos.....	58
<b>Figura 41.</b> área seleccionada para realizar el análisis .....	62
<b>Figura 42.</b> Expresiones NDVIs del primer mes de observación .....	63
<b>Figura 43.</b> Expresiones NDVIs del segundo mes de observación.....	64
<b>Figura 44.</b> Expresiones NDVIs del tercer mes de observación .....	65
<b>Figura 45.</b> Expresiones NDVIs del cuarto mes de observación .....	66
<b>Figura 46.</b> Expresiones NDVIs del quinto mes de observación .....	67
<b>Figura 47.</b> Expresiones NDVIs del sexto mes de observación.....	68
<b>Figura 48.</b> Expresiones NDVIs del sexto mes de observación.....	69
<b>Figura 49.</b> Grafica de los valores NDVIs valido y no validos.....	72

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA 1.</b> Descripción de los GNSS más conocidos .....	13
<b>TABLA 2.</b> Errores de variación no naturales más comunes.....	16
<b>TABLA 3.</b> Regiones espectrales utilizadas en teledetección .....	17
<b>TABLA 4.</b> Interacción de diferentes objetos con respecto a la radiación.....	18
<b>TABLA 5.</b> Principales sensores utilizados en teledetección.....	24
<b>TABLA 6.</b> Características de las bandas del satélite Landsat 8.....	25
<b>TABLA 7.</b> Índices espectrales utilizados para analizar los elementos de la Tierra.....	28
<b>TABLA 8.</b> Características de las arquitecturas monolítica, microservicios y SOA.....	35
<b>TABLA 9.</b> Ventajas y desventajas de las metodologías tradicionales .....	37
<b>TABLA 10.</b> Ventajas y desventajas de las metodologías ágiles.....	38
<b>TABLA 11.</b> Metodologías tradicionales vs metodologías ágiles.....	38
<b>TABLA 12.</b> Asignación de roles para el desarrollo del sistema.....	45
<b>TABLA 13.</b> Product Backlog - Lista general del proyecto .....	46
<b>TABLA 14.</b> Historia de usuario – Ingreso al sistema.....	46
<b>TABLA 15.</b> Historia de usuario – Ingreso al sistema.....	46
<b>TABLA 16.</b> Historia de usuario – Registro de un campo.....	47
<b>TABLA 17.</b> Historia de usuario – Actualizar información.....	47
<b>TABLA 18.</b> Historia de usuario – Reportes del estado de los cultivos.....	47
<b>TABLA 19.</b> Historia de usuario – Administración de colaboradores o usuarios.....	47
<b>TABLA 20.</b> Sprint 1 - Requerimientos del sistema y estructuración de la base de datos del sistema .....	48
<b>TABLA 21.</b> Sprint 2 - Análisis de las herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema .....	49
<b>TABLA 22.</b> Sprint 3 - Instalación de los ambientes y programas para el desarrollo del sistema .....	49
<b>TABLA 23.</b> Sprint 4 - Desarrollo del backend basado en microservicios API REST y ORM.....	50
<b>TABLA 24.</b> Sprint 5 - Módulo de seguridad del registro e inicio de sesión del sistema en el Backend.....	50
<b>TABLA 25.</b> Sprint 6 - Desarrollo del módulo de registro e inicio sesión en el Frontend.....	51
<b>TABLA 26.</b> Sprint 7 - Módulo de consulta de NDVI por fecha de grupo y tipo de cultivo.....	51
<b>TABLA 27.</b> Análisis y estructuración de la base de datos .....	59
<b>TABLA 28.</b> Análisis y estructuración de las herramientas Backend y Frontend .....	59
<b>TABLA 29.</b> Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Backend.....	59
<b>TABLA 30.</b> Análisis de APIs, validaciones de registro y login del Backend.....	60
<b>TABLA 31.</b> Análisis y desarrollo de seguridades del usuario en el Backend.....	60

<b>TABLA 32.</b> Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Frontend .....	60
<b>TABLA 33.</b> Pruebas de módulo de seguridades del registro y login al sistema del Frontend....	61
<b>TABLA 34.</b> Pruebas de módulo usuario y roles .....	61
<b>TABLA 35.</b> Pruebas de módulo historial .....	61
<b>TABLA 36.</b> Características de cada expresión en el primer mes de observación .....	63
<b>TABLA 37.</b> Características de cada expresión en el segundo mes de observación.....	64
<b>TABLA 38.</b> Características de cada expresión en el tercer mes de observación .....	65
<b>TABLA 39.</b> Características de cada expresión en el cuarto mes de observación .....	66
<b>TABLA 40.</b> Características de cada expresión en el quinto mes de observación.....	67
<b>TABLA 41.</b> Características de cada expresión en el sexto mes de observación.....	68
<b>TABLA 42.</b> Características de cada expresión en el séptimo mes de observación.....	69
<b>TABLA 43.</b> Expresiones validas por la presencia de nubosidad menor al 2% .....	70
<b>TABLA 44.</b> Expresiones no validas por la presencia de nubosidad mayor al 2%.....	71
<b>TABLA 45.</b> Resultados de expresiones validas y no validas.....	72

## RESUMEN

El propósito de esta investigación es desarrollar una aplicación web como herramienta de monitoreo de cultivos mediante el análisis de imágenes multiespectrales utilizando herramientas de desarrollo como .NET Core, Angular, SQL Server, API, etcétera. El proyecto está dirigido al sector agrícola y tiene como objetivo aumentar la productividad, conservar los recursos, garantizar la sostenibilidad y proteger el medio ambiente.

La aplicación web presenta la capacidad de analizar el estado de los cultivos mediante sensores remotos satelitales, que incluye la adquisición de datos multiespectrales de alta resolución de los radares satelitales Landsat-8 y Sentinel-2. Estas bandas espectrales se procesarán utilizando índices de vegetación, en particular, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que ayuda a distinguir la vegetación de otros tipos de cobertura terrestre y determinar su estado general. También permite la definición y visualización de áreas con vegetación en el mapa, así como la detección de cambios anormales en el crecimiento.

Se presentan en detalle los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados sobre la cobertura vegetal seleccionada. La investigación se realizó a través de un trabajo comparativo de varias expresiones en diferentes fechas durante un período de tiempo. Finalmente, se analizan los resultados y se presentan las respectivas conclusiones y sugerencias.

**Palabras Claves:** Agricultura de Precisión, Teledetección, Firma Espectral, Índices de Vegetación, Aplicación Web, Arquitectura de Software, API REST, Angular CLI, SCRUM, Módulos.

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is to develop a web application as a crop monitoring tool by analyzing multispectral images using development tools such as .NET Core, Angular, SQL Server, API, and so on. The project is aimed at the agricultural sector and aims to increase productivity, conserve resources, ensure sustainability and protect the environment.

The web application features the ability to analyze the status of crops using satellite remote sensing, including the acquisition of high-resolution multispectral data from Landsat-8 and Sentinel-2 satellite radars. These spectral bands will be processed using vegetation indices, in particular the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which helps distinguish vegetation from other types of land cover and determine its general condition. It also allows the definition and visualization of vegetated areas on the map, as well as the detection of abnormal changes in growth.

The results obtained from the studies carried out on the selected vegetation cover are presented in detail. The investigation was carried out through a comparative work of several expressions on different dates during a period. Finally, the results are analyzed, and the respective conclusions and suggestions are presented.

**Keywords:** Precision Agriculture, Remote Sensing, Spectral Signature, Vegetation Indices, Web Application, Software Architecture, REST API, Angular CLI, SCRUM, Modules.

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

Dado el rápido desarrollo de la tecnología, las personas tienen que adaptarse a los constantes cambios de la era digital. Tal es el caso que ahora se puede utilizar en el sector agrícola, que juega un papel muy importante en la economía de un país, proporcionando alimentos y materias primas vitales para el consumo público.

A lo largo de los años, se han planteado preocupaciones por los daños causados por plagas y malezas, el uso excesivo de fertilizantes químicos y el cambio climático, que han afectado gravemente los procesos de producción agrícola y acelerado la pérdida de recursos naturales, lo que se ha traducido en una reducción de los ingresos económicos y de los medios de subsistencia de la población (Espinoza et al., 2017).

Dentro de un campo, la producción probablemente no sea homogénea, es decir, algunas regiones producen más y otras producen menos. Esta variabilidad en la producción puede depender de muchos factores, incluida la fertilización inadecuada o la mala calidad de la semilla. A menudo, este cambio es causado por factores como la diferente composición del terreno, las depresiones o el agua estancada. Además, el diagnóstico tradicional de nutrición vegetal y las recomendaciones de fertilización se basan principalmente en muestras de campo y análisis químicos de laboratorio. Este método requiere una gran cantidad de recursos humanos, materiales y financieros en la recolección de muestras, pruebas y procesamiento de datos (Feng et al., 2019).

La recolección de diferentes tipos de cultivos es una actividad importante en la economía agrícola. La variabilidad y rotación de cultivos son estrategias agrícolas eficaces; permiten a los agricultores estimular los campos con suelo rico en nutrientes y fertilizantes químicos mínimos. En este sentido, el monitoreo de campo satelital y el software de interpretación de datos en línea (Crop Monitoring) han demostrado ser muy útiles. El análisis retrospectivo mostró específicamente diferentes tipos de cultivos que históricamente fueron efectivos para áreas específicas, y la fertilización precisa, la rotación de cultivos y la zonificación del campo contribuyeron al ahorro de costos (EOS, 2020c).

La rentabilidad de la Agricultura de Precisión (AP) es evidente. El método define los requisitos de cultivos y suelos para una productividad óptima y la conservación de los recursos, asegurando la sostenibilidad y protegiendo el medio ambiente. Este procedimiento en la agricultura

convencional ayuda a abordar los problemas más críticos, como el desperdicio de recursos, los altos costos y el impacto ambiental. Las herramientas de interpretación e imágenes espaciales permiten a los agricultores identificar con precisión las áreas problemáticas, decidir qué método aplicar a las áreas objetivo y calcular los tiempos óptimos (EOS, 2020a).

## **Situación actual**

Con el tiempo, la agricultura mundial se ha enfrentado al desafío constante de aumentar la producción agrícola para satisfacer las demandas de una población en crecimiento. Este aumento se abordó con la expansión de nuevas áreas agrícolas. La AP es un mercado en constante desarrollo dada la creciente demanda de producción de alimentos, los desafíos para la agricultura derivados del cambio climático y las presiones económicas. El desarrollo y distribución de aplicaciones de teledetección también está creciendo. Las políticas de percepción remota y de código abierto mejoran la disponibilidad de una amplia gama de datos espaciales y temporales, lo que presenta una oportunidad atractiva para recopilar, analizar y utilizar datos agrícolas dentro y fuera de las fincas (Georgi et al., 2018).

La AP se está volviendo cada vez más importante para los agricultores, especialmente en entornos de escasos recursos y propensos al riesgo en los países en desarrollo. Sin embargo, el despliegue de la infraestructura de áreas protegidas como un sistema de apoyo a la toma de decisiones en entornos de pequeña agricultura a menudo se ve obstaculizado por restricciones técnicas y de costos (Kpienbaareh et al., 2019).

Utilizando un Sistema de Información Geográfica (GIS), la AP está integrando aplicaciones que crean planes agrícolas precisos, mapas de campo, identificación de cultivos, mapas de rendimiento, con el objetivo de definir con precisión la cantidad exacta de entrada que se debe aplicar en el campo. Las ventajas incluyen la capacidad de desarrollar programas agrícolas respetuosos con el medio ambiente que ayuden a reducir los costos y aumentar los rendimientos. Por otro lado, los datos de bajo valor que proporcionan estas aplicaciones no pueden aplicarse a soluciones agrícolas de alta precisión debido a la imposibilidad de integrar los datos obtenidos en otros sistemas auxiliares (EOS, 2020a).

La detección remota y AP se pueden combinar para centrarse en factores que pueden estimar con precisión el estrés y la tensión de la planta, como el contenido de humedad del suelo. Estos datos provienen de drones y satélites. En comparación con los datos de drones, las imágenes satelitales son más accesibles y versátiles.

## Prospectiva

El manejo de cultivos en sitios específicos es un enfoque prometedor para maximizar los rendimientos de los cultivos al optimizar el uso de los recursos naturales que se agotan rápidamente. La obtención de datos de cultivos de alta resolución en etapas críticas de crecimiento es clave para tomar decisiones basadas en datos en tiempo real durante la temporada de crecimiento (Zhou et al., 2018).

Con la presente investigación, será posible desarrollar aplicaciones web para el monitoreo de cultivos que, a través del análisis de imágenes multiespectrales, permitirán a los agricultores estimar con precisión las condiciones de los cultivos e implementar estrategias de manejo efectivas que no contaminen el medio ambiente, afecten el rendimiento y la calidad de los cultivos. La investigación se centrará en la clasificación de diferentes tipos de cultivos por especies. Según (EOS, 2020c), uno de los sistemas de clasificación más populares utilizados por muchos países para monitorear la producción agrícola es:

- **Cereales:** Estos cultivos corresponden a la familia gramíneas<sup>1</sup>, suelen cultivarse en grandes extensiones y sus granos destacan por su alto contenido en hidratos de carbono. Los cultivos de este tipo tienen usos agroindustriales. Por ejemplo: maíz, arroz.
- **Leguminosas:** Estos cultivos corresponden a la familia leguminosae<sup>2</sup>, se cultivan en grandes extensiones y sus granos destacan por su alto contenido en proteínas. Suelen ser utilizados para consumo directo (no son procesados por agroindustriales). Por ejemplo: frijol negro, frijol, arveja.
- **Oleaginosas:** En su mayoría son cultivos de ciclo corto y corresponden a varias familias taxonómicas<sup>3</sup>, suelen cultivarse para desarrollar aceites de grano en grandes extensiones. Este tipo tiene un uso agroindustrial especializado. Ejemplos de ciclo corto: soja, sésamo, girasol; ciclo largo: palma aceitera.
- **Hortalizas:** En su mayoría son cultivos de ciclo corto y corresponden a muchas familias taxonómicas, suelen cultivarse en pequeñas extensiones y se comercializan para consumo en fresco con algunos de sus órganos (raíces, tallos, hojas, inflorescencias,

---

<sup>1</sup> **Gramíneas:** Son una familia de plantas herbáceas, o muy raramente leñosas. <https://es.wikipedia.org/wiki/Poaceae>

<sup>2</sup> **Leguminosae:** Son una familia del orden de las fabales como árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, fácilmente reconocibles por su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas. <https://es.wikipedia.org/wiki/Fabaceae>

<sup>3</sup> **Taxonómica:** En Biología, es el nivel jerárquico en el que se clasifica científicamente a cada grupo de organismos o taxones, atendiendo a su semejanza o proximidad filogenética. <https://es.wikipedia.org/wiki/Plantae>

frutos), además tienen un alto contenido de minerales, vitaminas y fibra. Por ejemplo: zanahorias, tomates, lechuga, brócoli, pimentón.

- **Frutales:** En su mayoría son cultivos de ciclo corto y corresponden a muchas familias taxonómicas, suelen cultivarse en grandes extensiones y comercializados para consumo en fresco como frutos ricos en minerales, vitaminas y fibra. Varias especies de este tipo tienen usos agroindustriales. Por ejemplo: naranja, mango, aguacate, maracuyá, plátano, piña.
- **Raíces y tubérculos:** Son principalmente cultivos de ciclo corto, algunos de agricultura intensiva<sup>4</sup> y extensiva<sup>5</sup>; se comercializan para consumo de sus tallos y raíces, tienen un alto contenido en hidratos de carbono. Por ejemplo: papas, yuca.
- **Cultivos para bebidas medicinales y aromáticas:** Son las especies cultivadas de las que se obtienen los órganos de las plantas que luego se utilizan para la infusión, una infusión es una bebida que se obtiene introduciendo los órganos de las plantas en agua hirviendo. Es una población muy variable en términos de ciclos de crecimiento y niveles de producción. Por ejemplo: té, café, manzanilla, menta, etcétera.
- **Cultivos tropicales tradicionales:** Como el café, el cacao, la caña de azúcar y el tabaco. Estos cuatro cultivos no tienen nada en común, pero son una clase de cultivos que no entran en las categorías anteriores. El café se puede clasificar como un árbol frutal o un cultivo utilizado como bebida medicinal y aromática, mientras que el cacao se puede encontrar en los árboles frutales.
- **Pastos:** El cultivo es mayormente de ciclo largo, se lo utiliza para alimentar al ganado mediante el consumo de las hojas. Pueden suministrarse directamente a los animales en el campo (potrero o pasto), o pueden ser segados (heno) o sometidos a un proceso de fermentación (ensilaje). El heno y el ensilaje se utilizan para proporcionar pasto a los animales durante las sequías y el invierno, cuando es difícil cultivar pasto en los potreros.

De acuerdo con esta clasificación, el monitoreo satelital de campo es una herramienta útil para los agricultores. La plataforma cubrirá todo lo anterior para mejorar de forma inteligente el rendimiento del terreno (EOS, 2020c).

---

<sup>4</sup> **Agricultura intensiva:** Es un método de producción agrícola en el cual se hace un uso intensivo de los medios de producción como la siembra. [https://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura\\_intensiva](https://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura_intensiva)

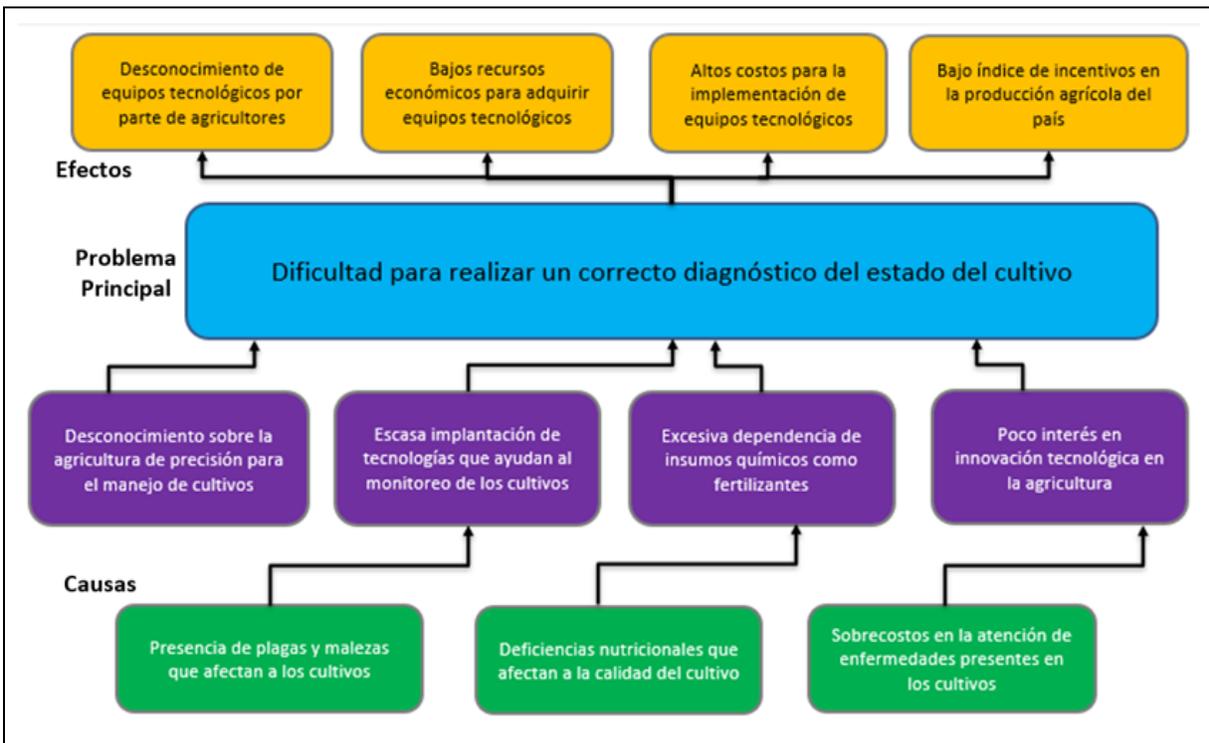
<sup>5</sup> **Agricultura extensiva:** Es un sistema de producción agrícola que maximiza la capacidad para la plena productividad a corto plazo del suelo. [https://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura\\_extensiva](https://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura_extensiva)

Reducir el número de personas, conservar los recursos naturales y eliminar la contaminación del aire son factores decisivos a la hora de elegir un software con diversas características beneficiosas para la agricultura sostenible y de precisión. Las innovaciones recientes en la captura y descarga de imágenes satelitales de alta precisión permitirán a las personas comprender exactamente dónde, qué, cuándo y cómo se deben cultivar varios cultivos para obtener grandes ganancias con el mínimo esfuerzo y gasto. Es importante aplicar esto a campos donde se cultivan diferentes tipos de cultivos comerciales porque es casi imposible recordar el tipo de cultivos en cada área y los mejores momentos para plantar y cosechar (EOS, 2020c).

Con la aplicación, con series de tiempo, puede guardar registros en secuencia. Además, se avisará al agricultor con antelación de las actividades programadas o peligros inminentes para que pueda responder adecuadamente.

### Planteamiento del problema

Para poder definir el árbol de problemas se utilizó el instrumento de identificación y clasificación de problemas (Matriz Vester), ver Figura 1.



**Figura 1.** Árbol de problemas  
**Fuente:** Elaboración propia

## Objetivos

### Objetivo General

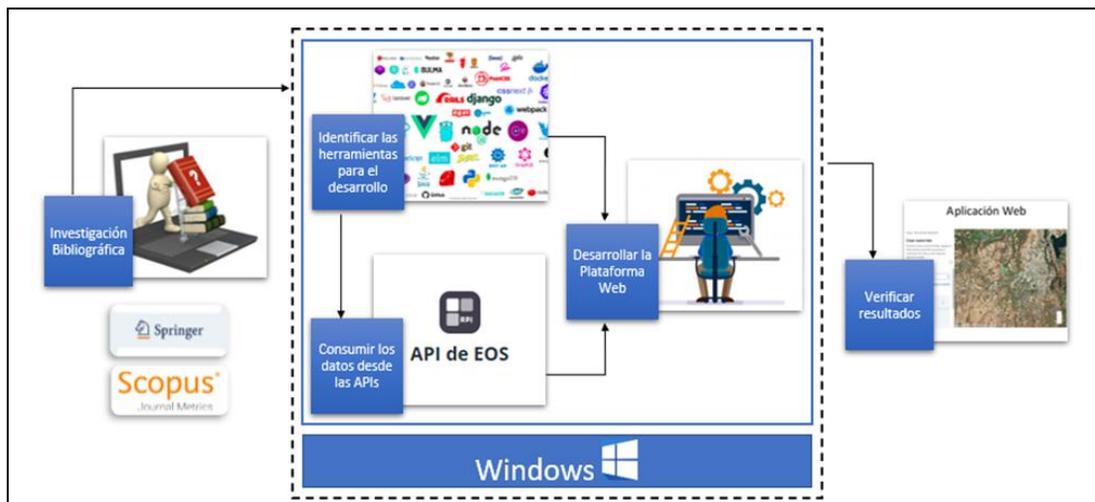
Desarrollar una aplicación web para el monitoreo de cultivos (Crop Monitoring) mediante el análisis de imágenes multiespectrales.

### Objetivos Específicos

- Desarrollar un marco teórico sobre las técnicas de la agricultura de precisión como línea base para el desarrollo del producto de software.
- Identificar las herramientas que se van a utilizar para el desarrollo de la aplicación web.
- Consumir los datos desde las APIs proporcionadas por la empresa EOS (Earth Observing System) para el desarrollo de la aplicación web.
- Validar los resultados del proyecto.

### Alcance

En la presente investigación se pretende desarrollar una aplicación web que permitirá detectar y analizar el cultivo permitiéndoles a los agricultores acelerar el proceso de toma de decisiones para mejorar el estado de la siembra, ver Figura 2.



**Figura 2.** Esquema del alcance del proyecto

*Fuente:* Elaboración propia

Para ello, se realizará una investigación sobre las técnicas de la agricultura de precisión utilizando las bases de datos de la Universidad Técnica del Norte, conjuntamente se identificarán

las herramientas adecuadas y se estudiara la documentación de las APIs proporcionadas por la empresa EOS<sup>6</sup> para el desarrollo de la plataforma web.

La aplicación web tiene con función analizar el estado del cultivo con teledetección satelital, que consiste en obtener datos multiespectrales de alta resolución de los radares satelitales Landsat-8 y Sentinel-2, estas bandas espectrales se procesarán utilizando un índice de vegetación, específicamente el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo y determinar su estado general. También permite definir y visualizar las áreas con vegetación en el mapa, así como detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento (Fayech & Tarhouni, 2020).

## Justificación

El proyecto que se desarrolla tiene un enfoque al siguiente objetivo de desarrollo sostenible planteado por la ONU y UNESCO (edX, 2019).

- **Objetivo 9:** Industria, innovación e infraestructura. Según (PNUD, 2019), las metas planteadas del objetivo a cumplir son:
  - a) Apoyar al desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.
  - b) Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2020.

Según (Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario, 2016), en el Capítulo VII sobre la Sanidad Agropecuaria el artículo a cumplir es:

- **Artículo 43:** Es obligación de los productores velar por la salud de sus animales y la sanidad de sus plantas, así como participar en las campañas de sanidad emprendidas por el Gobierno.

En la actualidad la tecnología está evolucionando por lo que existe la necesidad de adoptar software que mejore la agilización de los procesos de gestión de distintas áreas de una empresa o negocio. Sin embargo, el sector agrícola no cuenta con tecnología esencial que permita

---

<sup>6</sup> EOS: Sistema de Observación de la Tierra, organización encargada proporcionar datos espaciales. <https://eos.com/>

monitorear el estado del cultivo generando un bajo índice de producción. Los agricultores no cuentan con los recursos económicos para adquirir e implantar tecnología, además las instituciones financieras no invierten en el sector agrícola.

# CAPÍTULO 1

## Revisión bibliográfica

### 1.1. Agricultura de precisión

La AP hace referencia a la tecnología de la información que se basa en el posicionamiento satelital y consiste en obtener datos georreferenciados de los lotes para un mejor conocimiento de lo que puede suceder en un lote durante las diferentes labores a realizar la siembra, además del control del ciclo del cultivo, relevamientos<sup>7</sup> a campo como seguimientos del cultivo, muestreos de suelos dirigidos, cosecha, manejo de programas GIS, aplicación de dosificación variable de insumos, entre otros.

El concepto sobre el que se basa la AP es aplicar la cantidad correcta de insumos en el momento adecuado y en el lugar exacto. Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La AP involucra el uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. Las tecnologías de la AP permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna como el manejo óptimo de grandes extensiones. Se presenta como principal ventaja que el análisis de resultados de los ensayos se puede realizar por sectores diferentes dentro de un mismo lote, y de esta manera ajustar el manejo diferencial<sup>8</sup> dentro de los mismos (García & Flego, 2001).

El uso de las tecnologías de la AP puede ayudar a mejorar los márgenes agrícolas<sup>9</sup>, a través de un aumento del valor del rendimiento (cantidad o calidad), de una reducción en la cantidad de insumos, o de ambos simultáneamente (García & Flego, 2001).

#### 1.1.1. Objetivos de la agricultura de precisión

El actual sector agrícola enfrenta condiciones de cambio climático que afectan a los cultivos, como la sequía, manejo inadecuado del agua, salinidad, enfermedades, plagas, agroquímicos y manejo de malezas, estos problemas se pueden controlar mediante la aplicación de métodos de AP permitiendo mejorar la rentabilidad, productividad y sustentabilidad agrícola (Abd El-Kader & El-Basioni, 2021).

Según (CropOM, 2019), el objetivo de AP se centra en tres áreas importantes:

---

<sup>7</sup> **Relevamiento:** Es una revisión, investigación o estudio de un terreno para analizar sus características. <https://dle.rae.es/relevamiento>

<sup>8</sup> **Manejo diferencial:** Es la aplicación de insumos (fertilizantes, semillas, etcétera) en áreas con mayor potencial rendimiento.

<sup>9</sup> **Margen agrícola:** Es la equiparación de la diferencia entre ingresos y gastos directos en actividades agrícolas

- **Rentabilidad:** La AP ayuda a mejorar la calidad y cantidad de los cultivos, de modo que se puedan plantar y vender productos agrícolas adecuados, aumentando así las ganancias.
- **Productividad:** La AP ayuda a los agricultores a implementar soluciones técnicas a los problemas agrícolas diarios, lo que les permite mejorar continuamente sus prácticas agrícolas cada temporada.
- **Sustentabilidad:** La AP proporciona métodos agrícolas económicamente viables y respetuosos con el medio ambiente.

La AP introdujo métodos innovadores para realizar procesos agrícolas tradicionales, como la planificación de cultivos, registro de datos agrícolas y pruebas de suelo. La importancia de la AP también ha aumentado con la inminente amenaza de crisis alimentaria y hambre. Como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, es muy importante solucionar la pérdida de agua y aumentar la productividad agrícola para lograr una producción alimentaria sostenible (CropOM, 2019).

### 1.1.2. Beneficios de la agricultura de precisión

Cuando se refiere a la AP, inmediatamente se piensa en un proceso de toma de decisiones impulsado por tecnologías como mapas de rendimiento, sensores, imágenes de satélite, aplicaciones variables, etcétera.



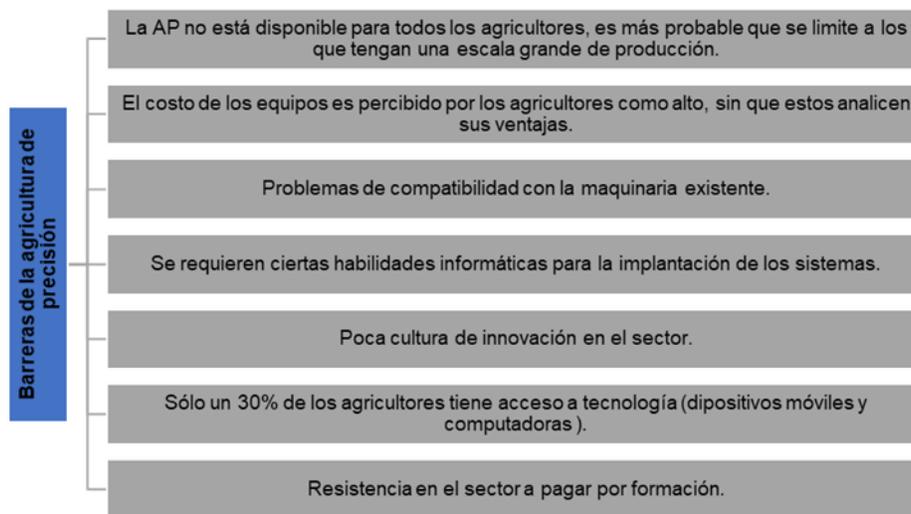
**Figura 3.** Beneficios de la agricultura de precisión

**Fuente:** (Cuesta & López, 2020)

La AP es un proceso constante de toma de decisiones y mejoras, que puede gestionar mejor la relación cultivo/ambiente y optimizar el uso de recursos naturales e insumos (Cuesta & López, 2020). En la Figura 3 se muestran algunos beneficios de la AP.

### 1.1.3. Barreras de la agricultura de precisión

En la actualidad todavía no están ideológicamente preparados para dar el salto hacia la tecnología agrícola moderna, ver Figura 4. Parece razonable seguir haciendo lo que los ancestros han estado haciendo con éxito. Sin embargo, nuestro mundo está desarrollándose continuamente y la demanda de cultivos tendrá un aumento drástico al menos para 2050, mientras que la cantidad de suelo y agua limpia disponible disminuirá.



**Figura 4.** Barreras de la agricultura de precisión

**Fuente:** (Cuesta & López, 2020)

Los científicos predicen que será un desafío satisfacer las necesidades alimentarias de la humanidad en el futuro. La implementación de la AP nos permite producir más cultivos que también son mejores al usar menos recursos. Por esta razón, es necesario dejar de lado los flujos de trabajo obsoletos para obtener grandes beneficios de las tecnologías y herramientas modernas (Sakal, 2019).

### 1.1.4. Proceso de la agricultura de precisión

En la agricultura tradicional, algunos indicadores permanentes relacionados con el suelo permiten a los agricultores estar al tanto de los principales cambios del entorno. Otros indicadores puntuales permiten tener una idea del estado actual del cultivo (desarrollo de enfermedades,

estrés hídrico, estrés de nitrógeno, encamado<sup>10</sup>, daños por heladas, etcétera). Todo depende de la visión y experiencia de los agricultores (Agroecología Tornos, 2018). La Figura 5 muestra el proceso de AP y establece un método de control automático y preciso para cualquier cultivo.



**Figura 5.** Proceso de la agricultura de precisión

**Fuente:** (Agroecología Tornos, 2018)

## 1.2. Técnicas utilizadas en la agricultura de precisión

Para cumplir con el proceso de la AP se requiere el uso y la aplicación de herramientas tecnológicas adecuadas que se incorporan en cada etapa establecido en la Figura 5.

Las principales herramientas son:

- Sistemas de navegación global satelital (GNSS)
- Mapeo y monitoreo de rendimiento
- Teledetección
- Imágenes satelitales
- Sistemas de información geográfica (GIS)
- Tecnología de aplicación variable de insumos (VRT)

<sup>10</sup> **Encamado:** Es el proceso por el cual el tallo de la planta se desplaza permanentemente de su posición vertical. <https://oa.upm.es/4783/>

### 1.2.1. Sistemas de navegación global por satélite (GNSS)

Son un conjunto de sistemas de navegación global que proporcionan datos de localización, detección remota de la atmósfera y la superficie terrestre (Awange, 2018). Este concepto combina diferentes GNSS que proporcionan un posicionamiento muy preciso en base a las señales emitidas por estos satélites y tiene una gran variedad de aplicaciones como navegación, transporte, geodesia<sup>11</sup>, agricultura, levantamientos hidrográficos<sup>12</sup> y otras actividades importantes.

Existen muchos GNSS operativos actualmente, pero los más importantes se denominan GNSS-1 y GNSS-2. El GNSS-1 está compuesto por el GPS y el Sistema de Navegación por Satélite Global (GLONASS), ambos desarrollados para uso militar, pero luego serían adaptados para uso civil. Sin embargo, el continuo uso de GNSS por parte de usuarios civiles ha promovido el desarrollo de una nueva generación de GNSS denominado GNSS-2 integrado por el Sistema de Navegación Galileo y el Sistema de Navegación BeiDou (BDS), que están más enfocados a aplicaciones civiles (Teunissen & Montenbruck, 2017), ver Tabla 1.

**TABLA 1.** Descripción de los GNSS más conocidos

Sistema	GPS	GLONASS	BeiDou	Galileo
Orbita	MEO	MEO	MEO, IGSO, GEO	MEO
Número de Satélites	24	24	27, 3, 5	30
Constelación	6 plano de inclinación de 56°	Walker (24/3/1) inclinación de 64,8°	Walker (24/3/1) inclinación de 55°	Walker (24/3/1) inclinación de 56°
Servicios	SPS, PPS	SPS, PPS	OS, AS, WADS, SMS	OS, CS, PRS
Servicio Inicial	Diciembre 1993	Septiembre 1993	Diciembre 2012	2016/2017 (planificación)
Origen	USA	Rusia	China	Europa
Cobertura	Global	Global	Global	Global

SPS: Servicio de posicionamiento estándar; PPS: Servicio de posicionamiento preciso; SO: Servicio abierto; AS: Servicio autorizado; WADS: Servicio diferencial de área amplia; SMS: Servicio de mensajes cortos; CS: Servicio comercial; PRS: Servicio Público Regulado; GCS: Servicio complementario de GPS.

**Fuente:** (Teunissen & Montenbruck, 2017)

En la AP los GNSS ayudan a determinar con precisión la ubicación, principalmente para mapear la variabilidad de fertilidad del suelo o el rendimiento de los cultivos y para ubicar maquinaria agrícola que puede dispersar tasas variables de fertilizante en relación con los datos de estos mapas (Abd El-Kader & El-Basioni, 2021).

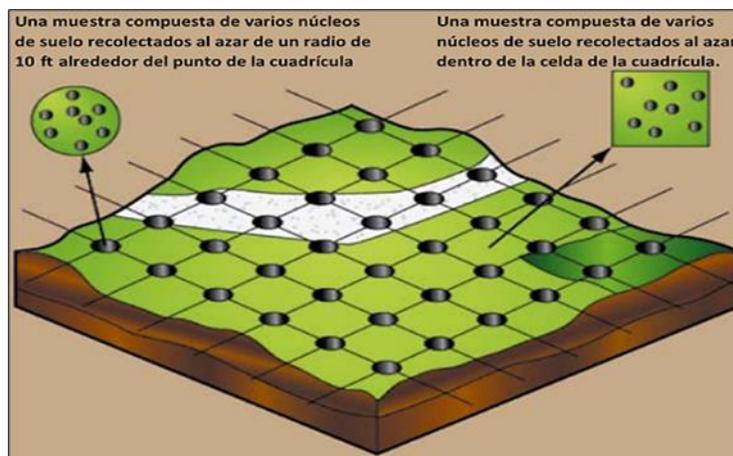
<sup>11</sup> **Geodesia:** La parte de la geología que determina matemáticamente la forma y el tamaño de la Tierra y se ocupa de la construcción de mapas. <https://es.wikipedia.org/wiki/Geodesia>

<sup>12</sup> **Levantamiento hidrográfico:** Es el estudio técnico y descriptivo de características que afectan a las actividades de navegación marítima, construcción naval, dragado, perforación y exploración petrolera costa afuera. [https://es.wikipedia.org/wiki/Levantamiento\\_hidrográfico](https://es.wikipedia.org/wiki/Levantamiento_hidrográfico)

### 1.2.2. Mapeo y monitoreo de rendimiento

En la AP es importante mapear las características de los cultivos y el suelo. La combinación de GPS y monitores de rendimiento brinda la oportunidad de registrar y mapear el rendimiento de los cultivos en tiempo real durante la cosecha (Chartuni & Magdalena, 2014).

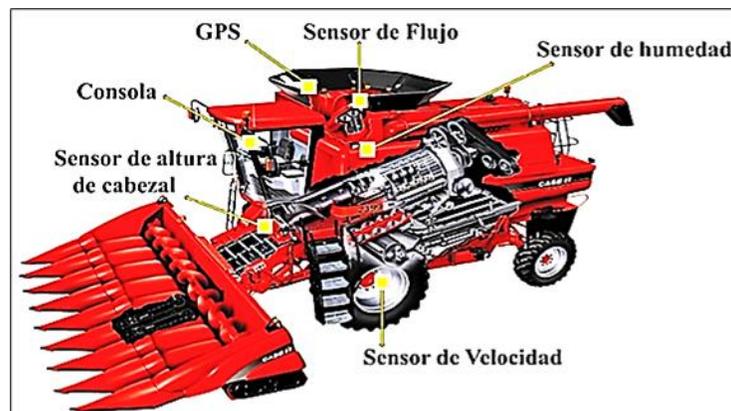
- **Muestreo de suelo:** Se recolectan varias muestras del suelo y se analizan en un laboratorio para determinar la variabilidad de nutrientes presentes en este. A través de este proceso, los agricultores pueden comprender los factores limitantes que conducen a diferencias en los rendimientos en diferentes parcelas del mismo cultivo y tomar acciones para mejorar estos factores, ver Figura 6 (García & Flego, 2001).



*Figura 6. Ilustración de un muestreo de suelo en forma de cuadrícula*

*Fuente: (Chartuni & Magdalena, 2014)*

- **Monitoreo de rendimiento:** Provee a los agricultores información importante para ayudarlos a tomar decisiones estratégicas para el manejo del campo, ver Figura 7.

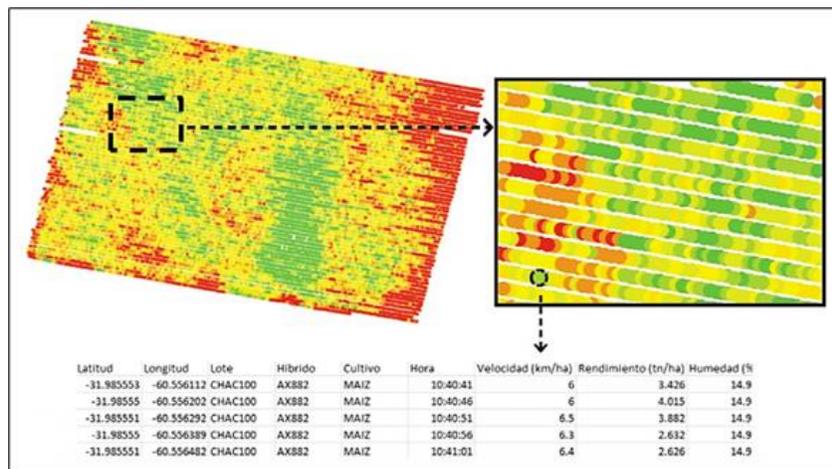


*Figura 7. Cosechadora equipada con motor de rendimiento GPS y sensores*

*Fuente: (Chartuni & Magdalena, 2014)*

Los sensores de rendimiento instalados en la cosechadora recolectan una gran cantidad de datos, como el rendimiento del grano, contenido de humedad y características del suelo (Abd El-Kader & El-Basioni, 2021). A su vez, si el monitor de rendimiento de la cosechadora está conectado a un GPS esos datos componen un mapa de rendimiento (Bongiovanni et al., 2010).

- **Mapa de rendimiento:** Es una representación espacial con un formato vectorial de puntos y coordenadas (x, y, z) asociadas a un sistema de proyección (latitud y longitud, WGS84) que georreferencia<sup>13</sup> los puntos (Chartuni & Magdalena, 2014). Los mapas de rendimiento generan información sobre la productividad de los campos, brindan información para diagnosticar y corregir las causas de bajos rendimientos en algunas zonas de los campos y proporcionan parámetros para estudiar las causas de altos rendimientos en otras zonas (García & Flego, 2001). En la Figura 8 se observa un mapa de rendimiento que se obtiene a partir de los datos recopilados por la cosechadora y se utiliza para calcular la cantidad de grano cosechado por unidad de área.



**Figura 8.** Ilustración de un mapa de rendimiento

**Fuente:** (Chartuni & Magdalena, 2014)

El mapa de rendimiento de un año limita a tomar decisiones estratégicas para el manejo del campo a mediano y largo plazo. La solución a este problema es incrementar el número de años utilizados para estudiar la variabilidad espacial y definir áreas de manejo, además permite identificar patrones de rendimiento y separar las causas naturales de aquellas variaciones

<sup>13</sup> **Georreferenciación:** es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. <https://es.wikipedia.org/wiki/Georreferenciación>

debidas a errores de manejo o de medición presentes en la Tabla 2 (Chartuni & Magdalena, 2014).

**TABLA 2.** Errores de variación no naturales más comunes

Errores de manejo	Errores de medición
Fallas de siembra	Errores de flujo y humedad de granos
Fertilización des uniforme	Errores de georreferenciación y al movimiento de la cosechadora
Daños de herbicidas	Errores debido al operario de la maquinaria
Daños de enfermedades	Errores del procesamiento de los datos

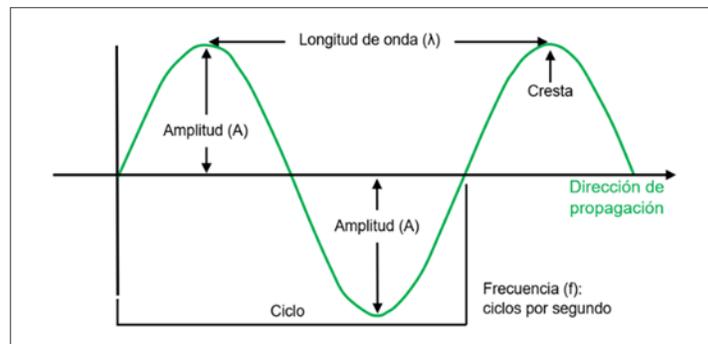
**Fuente:** (Chartuni & Magdalena, 2014)

### 1.2.3. Teledetección

La teledetección es una técnica que integra conocimientos y técnicas para observar, analizar e interpretar las características fisicoquímicas de la superficie y la atmósfera de la Tierra. La principal fuente de información son los datos e imágenes que se obtienen midiendo la radiación electromagnética reflejada o emitida por la atmósfera y la superficie terrestre sin tener que entrar en contacto con el objeto estudiado (López, 2019).

#### Fundamentos de teledetección

- **Radiación electromagnética:** Es una forma de energía con características de onda. En la Figura 9 se observa que la onda se propaga en el tiempo y espacio, pero oscila en todas las direcciones perpendiculares a su dirección de propagación.

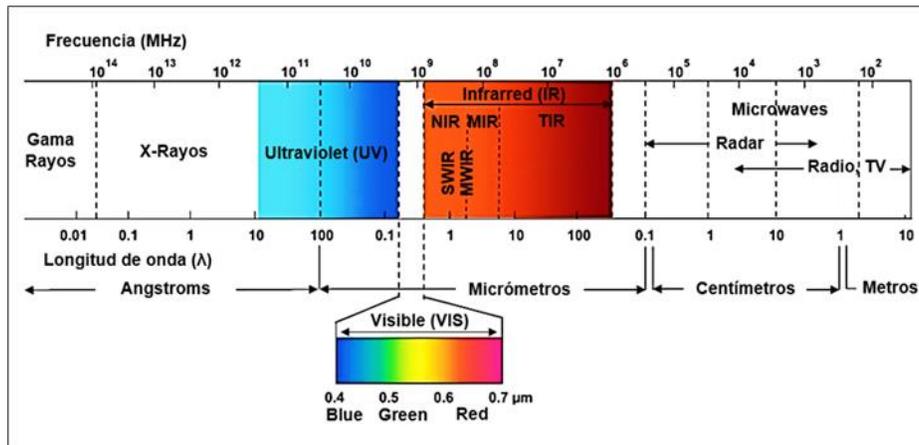


**Figura 9.** Onda electromagnética y sus medidas principales

**Fuente:** Elaboración propia

La onda se caracteriza por las siguientes medidas principales: longitud de onda ( $\lambda$ ) es el intervalo entre dos crestas, frecuencia ( $f$ ) es la cantidad de ciclos completados por período de 1s y amplitud ( $A$ ) es la distancia entre la altura máxima y el centro de la onda (Ulaby, 2018).

- **Espectro electromagnético:** La radiación electromagnética se clasifica en regiones dependiendo de las características (frecuencia, longitud de onda y amplitud) de la onda. En la Figura 10 se observa esta clasificación que recibió el nombre de espectro Electromagnético (EM) (Bongiovanni et al., 2010).



**Figura 10.** Principales bandas espectrales dentro del espectro EM

**Fuente:** (Wallace, 2017)

La Tabla 3 describe las regiones más utilizadas para la detección remota son la luz visible, infrarrojo reflejado (cercano y medio), infrarrojo térmico y las microondas (radar).

**TABLA 3.** Regiones espectrales utilizadas en teledetección

Nombre	Rango de longitud de onda	Fuente de radiación	Propiedad de la superficie
VIS (Blue, Green, Red)	0.4 – 0.7 μm	Solar	Reflectancia
NIR	0.7 – 1.1 μm	Solar	Reflectancia
SWIR	1.1 – 3 μm	Solar	Reflectancia
MWIR	3 – 5 μm	Solar, térmico	Reflectancia, temperatura
TIR	8 – 14 μm	Térmico	Temperatura
Microondas	1 mm – 1 m	Térmico pasivo, artificial activo	Temperatura, aspereza

Coastal: Costera, VIS: Región visible, NIR: Infrarrojo cercano, SWIR: Infrarrojo de onda corta, MWIR: Infrarrojo de onda media, TIR: infrarrojo térmico, Microondas: ondas EM de alta frecuencia (radar).

**Fuente:** (López, 2019)

### Interacción entre la radiación y los objetos

Según (Cede et al., 2011), los objetos (independientemente de la radiación que emitan) reciben radiación del sol y dependiendo de las propiedades únicas del objeto, esta energía puede seguir tres caminos:

- a) Se *refleja* de vuelta al espacio.

- b) Se *absorbe* e incrementar la energía del objeto.
- c) Se *transmite* hacia los objetos situados detrás.

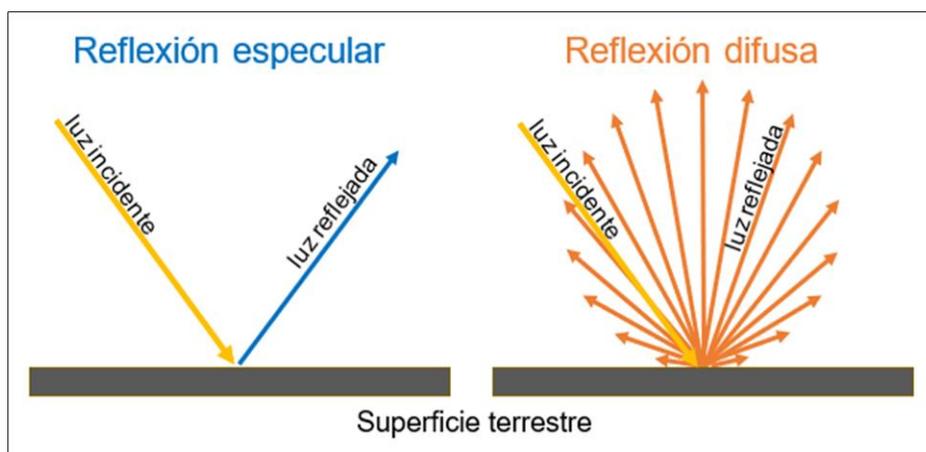
La fracción de energía que se refleja se llama reflectividad<sup>14</sup> o albedo ( $\rho$ ); la fracción de energía que se absorbe se llama absorptividad ( $\alpha$ ); y la fracción de energía que se transmite se llama transmisividad ( $\tau$ ), tal que  $\rho + \tau + a = 1$ . Estas tres variables lógicamente tienen valores entre 0 y 1 (Cede et al., 2011). La Tabla 4, resume la interacción de diferentes objetos con respecto a la radiación.

**TABLA 4.** Interacción de diferentes objetos con respecto a la radiación

Objeto	Reflectividad ( $\rho$ )	Absortividad ( $\alpha$ )	Transmisividad ( $\tau$ )
Atmosfera despejada	Muy baja para todas las magnitudes de onda	Depende de la longitud de onda	Depende de la longitud de onda
Nubes	Muy alta en la región visible	Depende de la longitud de onda	Depende de la longitud de onda
Agua	Muy baja para todas las longitudes de onda	Depende de la longitud de onda	Depende de la longitud de onda
Superficie terrestre	Muy variable, depende de la longitud de onda y del tipo de cobertura	Muy variable, depende de la longitud de onda y del tipo de cobertura	Nulo

*Fuente:* (Cede et al., 2011)

La reflectividad es una propiedad direccional y la mayoría de las superficies se pueden dividir en reflexión<sup>15</sup> especular y difusa. Para superficies especulares como vidrio o metal, la reflectividad es prácticamente cero en todos los ángulos (Ulaby, 2018), ver Figura 11.



**Figura 11.** Reflexión especular y difusa

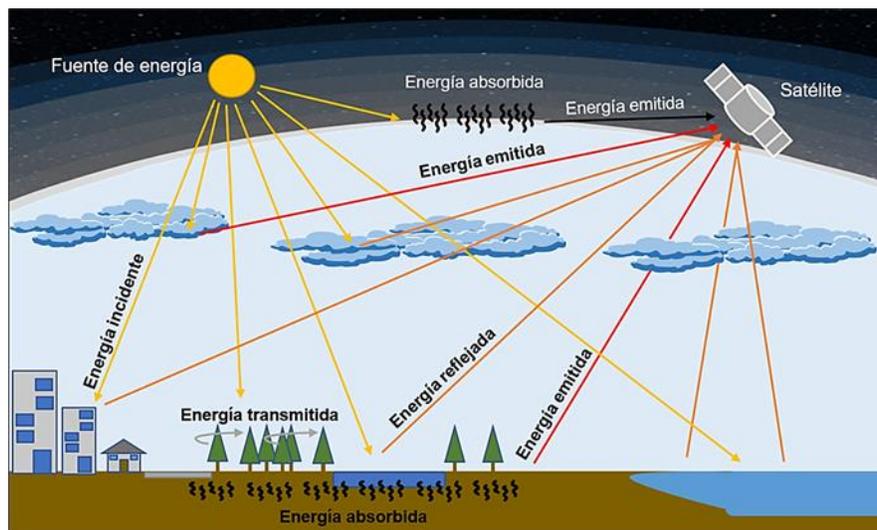
*Fuentes:* Elaboración propia

<sup>14</sup> **Reflectividad:** Es la relación entre la energía electromagnética reflejada por una superficie y la energía que incide sobre ella. <https://es.wikipedia.org/wiki/Reflectividad>

<sup>15</sup> **Reflexión:** Es cuando una onda cambia de dirección cuando entra en contacto con una superficie, son desviadas y devueltas al medio al medio con el mismo ángulo que la luz incidente. [https://es.wikipedia.org/wiki/Reflexi3n\\_\(f3sica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Reflexi3n_(f3sica))

En una superficie difusa o lambertiana como la pintura blanca plana, la reflectividad es uniforme y la radiación se refleja por igual o casi por igual en todos los ángulos (Ulaby, 2018). Pocas superficies son simplemente lambertianas o especulares, pero tienen una combinación de ambas propiedades.

En la Figura 12 se observa los diversos elementos terrestres y atmosféricos que reflejan y emiten radiación. En muchos casos, las características de los objetos de la superficie se distinguen por su firma espectral<sup>16</sup>.



**Figura 12.** Interacción entre la radiación con los objetos presentes en la Tierra

*Fuentes: Elaboración propia*

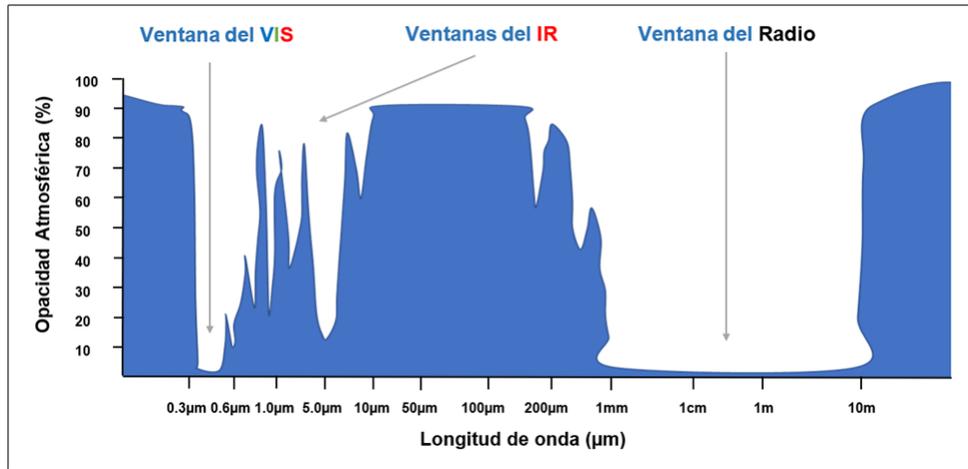
## Interacción entre la radiación y la atmósfera

- **Atmósfera:** Esta compuesta de varios gases (ozono, dióxido de carbono, vapor de agua) que absorben radiación en longitudes de onda específicas. La radiación no absorbida, aunque afectada por el proceso de dispersión<sup>17</sup>, se transmite a la superficie terrestre a través de ventanas atmosféricas, ver Figura 13.

Los problemas causados por las interacciones atmosféricas son más importantes en los estudios multitemporales. Si se utiliza una imagen de fecha única, se supone que la distorsión atmosférica es la misma en todo el espacio.

<sup>16</sup> **Firma espectral:** Es la interacción entre la radiación y los objetos son diferentes, cada objeto absorbe longitudes concretas y reflejan otras longitudes de onda en proporciones específicas. [https://es.wikipedia.org/wiki/Firma\\_espectral](https://es.wikipedia.org/wiki/Firma_espectral)

<sup>17</sup> **Dispersión:** Es un proceso físico asociado con la luz y su interacción con la materia, que afecta a todas las longitudes de onda. <https://es.wikipedia.org/wiki/Dispersi%C3%B3n>



**Figura 13.** Transmisión y absorción atmosférica

*Fuente:* Elaboración propia

- **Nubes:** Estas emiten su propia radiación en el TIR y reflejan la mayor parte de la radiación solar que reciben, ocultando la superficie terrestre en dos regiones del espectro (VIS e IR). La capacidad del vapor de agua para absorber la radiación depende del espesor de la capa de nubes, cubriendo todo el espectro EM a partir de 0,69 μm (Cede et al., 2011).

### Interacción entre la radiación y la superficie terrestre

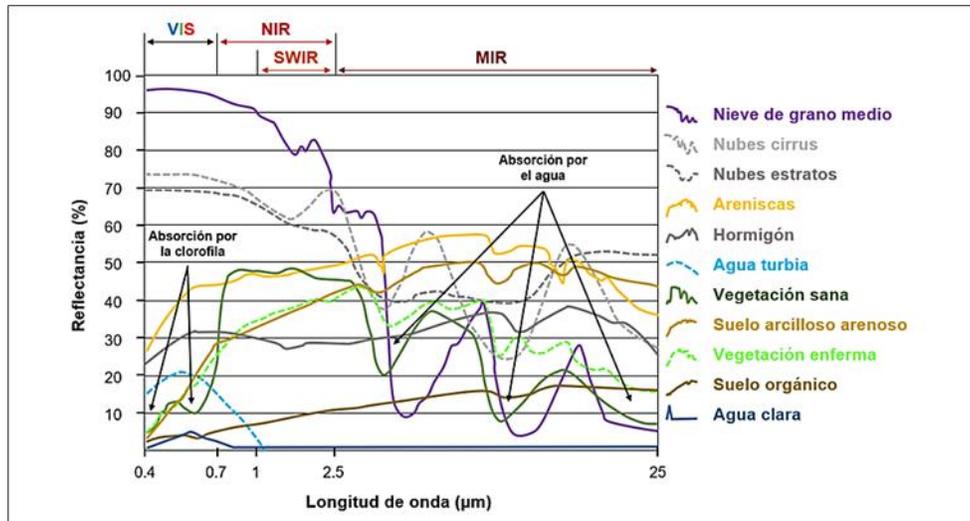
Los objetos reflejan diferentes cantidades de energía en diversas partes del espectro EM. La energía reflejada o reflectividad se puede calcular como:

$$P = \frac{R_{sen}}{R_{sol}} \quad (1)$$

donde  $R_{sen}$  es la radiación recibida por el sensor desde un punto de la superficie terrestre, y  $R_{sol}$  es la radiación emitida por el Sol en la longitud de onda correspondiente al canal en el que se encuentra operando, alcanzando dicho punto de la superficie terrestre (Cede et al., 2011).

En la Figura 14 se observa que las diferencias de reflectancia<sup>18</sup> hacen posible identificar diferentes características o materiales de la superficie terrestre mediante el análisis de sus firmas espectrales (Ulaby, 2018).

<sup>18</sup> **Reflectancia:** Es la relación entre la potencia electromagnética incidente y la potencia reflejada en la interfaz. <https://es.wikipedia.org/wiki/Reflectividad>



**Figura 14.** Firmas espectrales de varias superficies en función de la longitud de onda

Fuente: Elaboración propia

- Agua:** El *agua clara* tiene una baja reflectividad en el VIS y cae a partir de un pico en el verde hasta el IR. La carencia de reflectividad infrarroja permite diferenciar entre zonas de tierra y agua de costas, lagos y ríos. La respuesta espectral del agua depende de la superficie del agua, la columna de agua y el material del fondo; un fondo arenoso claro proporciona mayor reflectancia que un fondo de materia orgánica en descomposición. La profundidad a la que puede penetrar la luz depende de la longitud de onda, a medida que aumenta la profundidad del agua la reflectancia disminuye. La reflectividad del *agua turbia* depende del tipo de turbidez. Si se trata de fitoplancton tiene una reflectividad que aumenta en el Green y disminuye en el Blue; en el caso de depósitos inorgánicos la reflectividad aumenta en el Red.
- Nieve:** La reflectividad de la nieve es mucho mayor que la del agua en todas las longitudes de onda. La reflectividad es alta en el VIS y va reduciéndose drásticamente en NIR y picos en el MIR.
- Vegetación:** La *vegetación sana* tiene baja reflectividad en el VIS, pero alcanza su punto máximo en verde debido a la presencia de clorofila. La reflectividad en el NIR es muy alta por la baja absorción de energía de las plantas. En el MIR existe una disminución en las longitudes de onda donde el agua de la planta absorbe energía. La *vegetación enferma* aumenta la reflectividad en el VIS y baja en el IR. La reflectividad de las plantas depende de su contenido de agua, cuanto aumenta el contenido de agua en las plantas, menor es su reflectividad.

- **Suelo:** La reflectividad del suelo para todas las bandas es muy baja, aunque aumenta hacia el IR. Cuanto mayor sea el contenido de agua en el suelo, mayor será la reflectividad, pero esto cambia en las áreas donde el agua absorbe energía, por lo tanto, a mayor contenido de agua, menor es la reflectividad en estas áreas. La textura del suelo es otro factor que afecta la reflectividad del suelo. El suelo arenoso tiene una reflectividad más alta que en el arcilloso. La materia orgánica también afecta la reflectividad, cuanto mayor es el contenido orgánico y menos descompuesta, más oscuro es el color del suelo y menor es la reflectividad. La composición química y mineral también afecta y aumenta la reflectividad en el Red.

La teledetección en la AP se basa principalmente en la reflectancia de la luz solar en el VIS y la luz en el NIR de los cultivos. Se puede detectar fácilmente diversas tensiones fisiológicas de las plantas, como humedad, nutrientes, compactación, enfermedades de los cultivos y otros problemas de salud de las plantas (Abd El-Kader & El-Basioni, 2021).

#### 1.2.4. Imágenes Satelitales

Las imágenes de satelitales son representaciones visuales obtenidas por sensores instalados en plataformas. Estos sensores capturan información para las diferentes bandas del espectro EM y luego la transmiten a una estación terrestre para su visualización, procesamiento y análisis.

#### Fundamentos de las imágenes satelitales

- **Plataforma:** Se comprende por plataforma un satélite o aeronave equipado de componentes (sensores) importantes para percibir, almacenar y transmitir imágenes a largas distancias (Andreu et al., 2021), ver Figura 15.

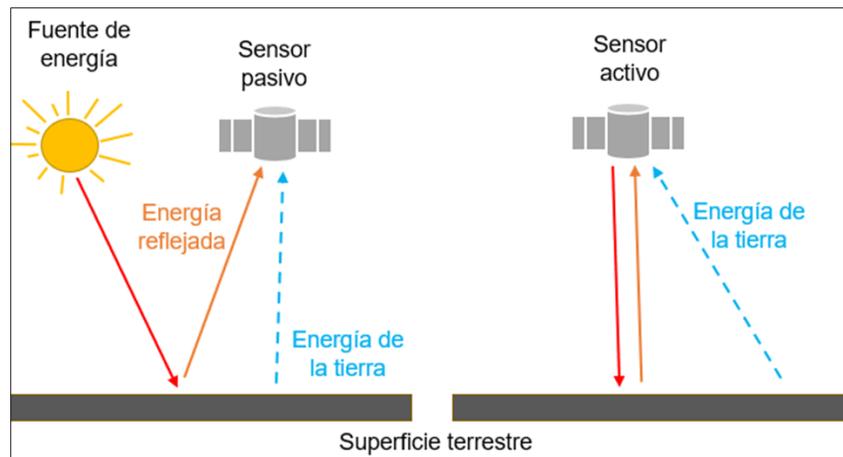


**Figura 15.** Satélites en diferentes órbitas

*Fuente:* (Ulaby, 2018)

Los satélites varían según el tipo de órbita polar<sup>19</sup> y geoestacionaria<sup>20</sup>, los objetivos de la misión y los sensores utilizados para medir la radiación EM (Andreu et al., 2021).

- **Sensores:** Son dispositivos instalados en plataformas que captan y transforman la radiación EM en imágenes. La Figura 16, se observa dos tipos de sensores, los pasivos dependen de la energía solar reflejada o emitida por la superficie (luz VIS, NIR, MIR y TIR) o activos que emiten energía artificial (luz u ondas) que es reflejada por la tierra (Andreu et al., 2021).



**Figura 16.** Adquisición de datos por teledetección activa y pasiva

**Fuente:** Elaboración propia

La energía emitida o reflejada por una superficie es un fenómeno constante en cuatro dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiación). Según (Cede et al., 2011), los sensores muestrean este fenómeno, discretizando cada dimensión y definiendo las cuatro resoluciones utilizadas en la teledetección:

- a) La *resolución espacial* es el tamaño de píxel que representa cada elemento de la imagen.
- b) La *resolución temporal* es el intervalo de tiempo que tarda el satélite en capturar dos imágenes del mismo sitio.
- c) La *resolución espectral* es el número, centro de la longitud de onda y ancho de los canales espectrales que puede distinguir y registrar.

<sup>19</sup> **Órbita polar:** Es una órbita por encima o muy cerca de los polos del planeta. [https://es.wikipedia.org/wiki/Órbita\\_polar](https://es.wikipedia.org/wiki/Órbita_polar)

<sup>20</sup> **Órbita geoestacionaria:** Es una órbita dentro del plano ecuatorial de la Tierra con excentricidad cero, moviéndose de oeste a este. [https://es.wikipedia.org/wiki/Órbita\\_geoestacionaria](https://es.wikipedia.org/wiki/Órbita_geoestacionaria)

- d) La *resolución radiométrica* es la capacidad de distinguir diferencias muy leves de energía que se necesita para aumentar el valor de un píxel digital.

Dada la creciente capacidad de los sensores para capturar información más detallada en términos de resolución. La Tabla 5 resume las características de los principales sensores utilizados en teledetección.

**TABLA 5.** Principales sensores utilizados en teledetección

Plataforma	Sensores	Resolución espacial	Resolución temporal	Resolución radiométrica	Resolución espectral
Lansat-8	OLI	15 m, 30 m, 100 m	16 días	4096 ND	Coastal, VIS, NIR, SWIR, PAN, Cirrus. 35 bandas
	TIRS	100 m	16 días	4096 ND	TIR. 21 bandas
SPOT-6&7	NAOMI	5 m, 8 m	26 días	4096 ND, 65536 ND	VIS, NIR, PAN. 5 bandas
Terra y Aqua	MODIS	200 m, 500 m, 100 m	16 días	256 ND, 65536 ND	Coastal, VIS, NIR, SWIR, PAN, TIR, Cirrus. 36 bandas
Sentinel-2	MSI	10 m, 20 m, 60 m	5 días, 10 días	4096 ND	Coastal, VIS, REV, NIR, VW, WIR, Cirrus. 13 bandas

Coastal: Costera, VIS: Región visible, NIR: Infrarrojo cercano, PAN: Pancromático, SWIR: Infrarrojo de onda corta, TIR: infrarrojo térmico, REV: Borde rojo de la vegetación, VW: Vapor de agua, Cirrus: Nubes cirro, ND: nivel digital<sup>21</sup>.

*Fuente:* (López, 2019)

Según (López, 2019), los sensores deben tener la siguientes características básicas:

- Captar la radiación solar reflejada por las superficies (en longitudes de onda correspondientes a la ventana atmosférica).
  - Captar la radiación solar reflejada por las superficies (en longitudes de onda correspondientes a la ventana atmosférica).
  - Captar la radiación de la banda donde el gas tiene alta capacidad de absorción para estimar la concentración de ese gas. A menor radiación, mayor cantidad de gas.
- Canales:** Son regiones del espectro EM, también conocidas como bandas. Cada banda espectral corresponde a un rango específico longitud de onda que transmite información específica sobre una característica en particular. La Tabla 6 recopila y describe las bandas del satélite Landsat 8.

<sup>21</sup> **Nivel digital:** Es un número que es función de la radiación recibida con un valor entre 0 y  $2^b$ , donde b es la resolución de radiación del sensor. <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema04.pdf>

**TABLA 6.** Características de las bandas del satélite Landsat 8

Sensor	Número de banda	Nombre de banda	Longitud de onda (µm)	Aplicaciones de banda
OLI	1	Coastal	0.43 – 0.45	Estudios costeros y de aerosoles
OLI	2	Blue	0.45 – 0.51	Mapeo batimétrico, distinguiendo el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la conífera
OLI	3	Green	0.53 – 0.59	Enfatiza la vegetación máxima, que es útil para evaluar el vigor de la planta
OLI	4	Red	0.63 – 0.67	Discrimina pendientes de vegetación
OLI	5	NIR	0.85 – 0.88	Enfatiza el contenido de biomasa y las costas
OLI	6	SWIR 1	1.57 – 1.65	Discrimina el contenido de humedad del suelo y la vegetación; penetra nubes delgadas
OLI	7	SWIR 2	2.11 – 2.29	Capacidad mejorada para rastrear el contenido de humedad del suelo, la vegetación y la penetración de nubes delgadas
OLI	8	Pan	0.50 – 0.68	Resolución de 15 metros, definición de imagen más nítida.
OLI	9	Cirrus	1.36 – 1.38	Detección mejorada de la contaminación por cirros
TIRS	10	TIRS 1	10.60 – 11.19	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo
TIRS	11	TIRS 2	11.50 – 12.51	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo

OLI: Lector de imágenes terrestres operacionales; TIRS: Sensor de infrarrojos térmicos.

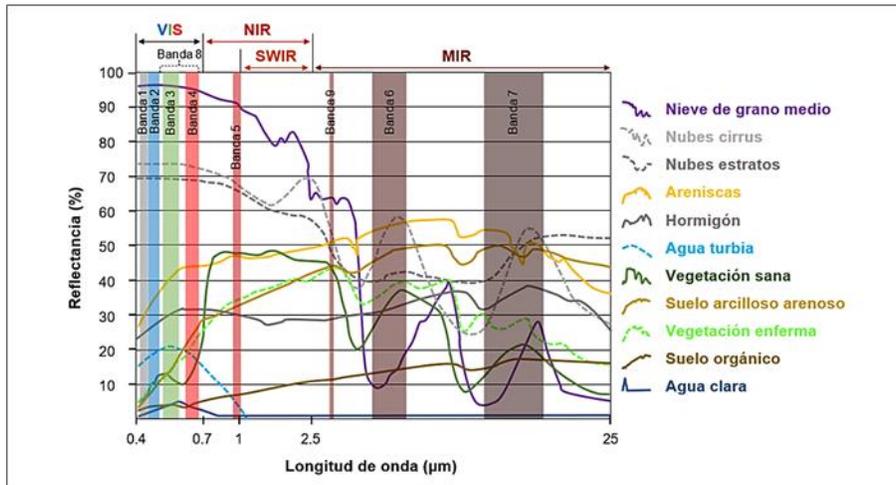
*Fuente: (EOS, 2021a)*

Landsat 8 es una plataforma con dos sensores (OLI, TIRS), el primero tiene 9 bandas y el segundo tiene 2. La Figura 17 muestra la ubicación de las 9 bandas captadas por el sensor OLI dentro de espectro EM de la radiación solar.

Los sensores captan la radiación EM y la convierten en imágenes. Por tanto, una imagen espectral es una imagen que reproduce la figura de un objeto según las longitudes de onda reflejadas por el objeto, es decir, es un conjunto de imágenes de un mismo objeto, cada una representada por una longitud de onda diferente (ALAVA, 2018).

### **Tipos de imágenes satelitales**

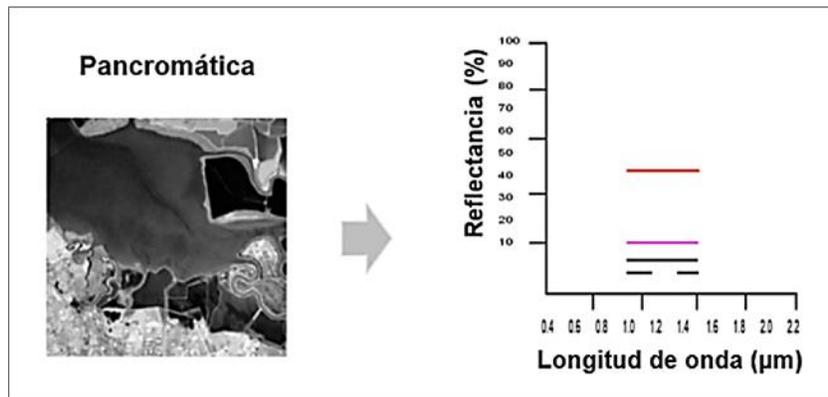
En la actualidad los sensores remotos permiten obtener imágenes reales y actualizadas de la superficie terrestre. Las imágenes de los elementos presentes de la superficie terrestre generalmente se obtienen mediante radiación reflejada en longitudes de onda en el VIS e NIR, mientras que las superficies oceánicas generalmente se obtienen mediante imágenes en el TIR (Ulaby, 2018).



**Figura 17.** Firma espectral de ciertas coberturas en las bandas del sensor OLI

*Fuente:* Elaboración propia

- **Imágenes pancromáticas:** Son imágenes con una sola banda espectral, captadas en un rango amplio de longitudes de onda, generalmente entre la región VIS y NIR. El ancho de banda proporciona datos pancromáticos con resolución espacial y se representa mediante una imagen en blanco y negro. En la Figura 18 se observa la firma espectral de una imagen pancromática.

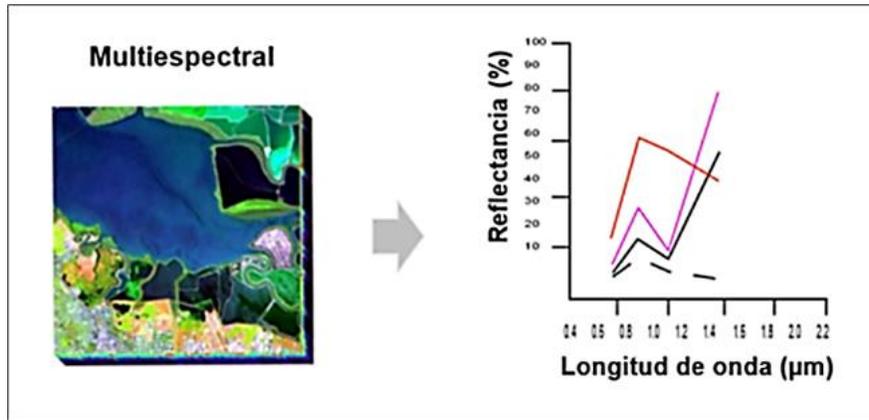


**Figura 18.** Firma espectral de una Imagen pancromática

*Fuente:* (Beck, 2014)

- **Imágenes multispectrales:** Son imágenes compuestas por relativamente pocas bandas (entre 3 y 20), y son bandas que no necesariamente son consecutivas entre sí. Estas bandas se captan en un rango amplio de longitudes de onda, normalmente en las regiones VIS, NIR y SWIR. El ancho de banda proporciona datos multispectrales con resolución espectral y espacial. Estos diferentes valores de reflectancia se combinan para

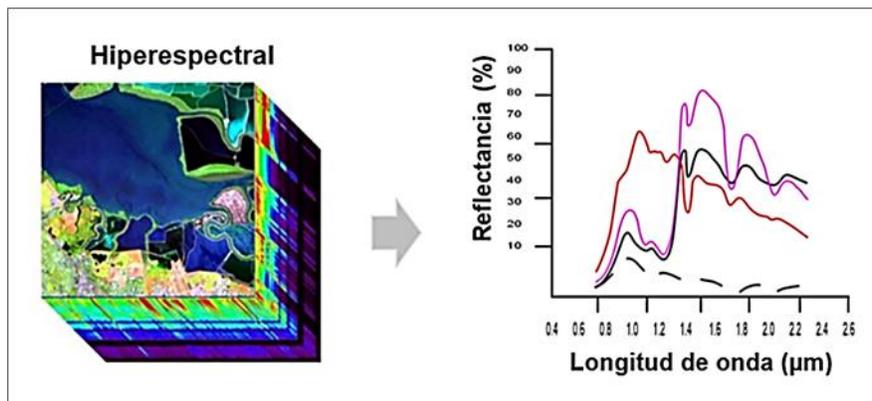
crear una imagen en color. En la Figura 19 se observa la firma espectral de un pequeño conjunto de imágenes espectrales.



**Figura 19.** Firma espectral de un pequeño conjunto de imágenes espectrales

*Fuente:* (Beck, 2014)

- **Imágenes hiperespectrales:** Son imágenes formadas por más bandas (mayores de 100); son bandas más finas o continuas. Estas bandas se capturan en un rango amplio de longitudes de onda, normalmente en las regiones VIS, NIR y SWIR. El ancho de banda proporciona datos hiperespectrales con resolución espacial y espectral. En la Figura 20 se observa la firma espectral de un gran número de imágenes espectrales.



**Figura 20.** Firma espectral de un gran número de imágenes espectrales

*Fuente:* (Beck, 2014)

Las imágenes multiespectrales tienen un alto nivel de resolución espectral, mientras que las imágenes pancromáticas tienen una alta resolución (EOS, 2021b). Las imágenes hiperespectrales tienen un alto nivel de resolución espectral, mientras que las imágenes multiespectrales tienen un alto nivel de resolución espacial.

Las imágenes hiperespectrales proporcionan más información cuantitativa y se utilizan como herramientas de identificación y clasificación espectral, mientras que las imágenes multispectrales contienen menos información, pero son muy útiles para distinguir un material de otro cuando se conocen las longitudes de onda (ALAVA, 2018).

## Índices espectrales

Los índices espectrales se utilizan para determinar la relación entre los objetos en la superficie terrestre y sus respuestas espectrales. La Tabla 7 resume los índices espectrales utilizados para analizar la atmósfera y objetos en la superficie terrestre (Franzpc, 2019).

**TABLA 7.** Índices espectrales utilizados para analizar los elementos de la Tierra

Índice	Formula	Característica
NDVI	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	El NDVI es una métrica numérica está altamente correlacionado con el contenido de vegetación.
GNDVI	$(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$	El GNDVI es una versión modificada de NDVI que lo hace más sensible a los cambios en el contenido de clorofila de los cultivos.
EVI	$G * ((\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + C1 * \text{Red} - C2 * \text{Blue} + L))$	El EVI se puede utilizar para cuantificar el verdor de la vegetación. Los coeficientes C1 y C2 se utilizan para corregir la dispersión de partículas en la atmósfera y el coeficiente L se utiliza para ajustar el suelo y el fondo de la cubierta.
AVI	$[\text{NIR} * (1 - \text{Red}) * (\text{NIR} - \text{Red})] ^{1/3}$	El AVI se usa en estudios de vegetación para monitorear cambios en cultivos y bosques a lo largo del tiempo. A través de la combinación de AVI y NDVI, se pueden distinguir diferentes tipos de vegetación y extraer características fenológicas.
SAVI	$((\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + L)) * (1 + L)$	El SAVI se utiliza para corregir el efecto del NDVI en el brillo del suelo en áreas con poca cobertura vegetal. Tiene un factor de corrección fotométrica del suelo (L) establecido en 0,5 para adaptarse a la mayoría de los tipos de cobertura terrestre.
NDMI	$(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$	Se utiliza el NDMI para determinar el contenido de humedad de la vegetación.
MSI	$\text{SWIR} / \text{NIR}$	El MSI se utiliza para el análisis del estrés del dosel, la predicción de la productividad y el modelado biofísico. El índice puede tomar valores desde 0 hasta arriba de 3, con vegetación verde en el rango habitual de 0,2 a 2.
GCI	$(\text{NIR}) / (\text{Green}) - 1$	El GCI se utiliza para estimar el contenido de clorofila en las hojas de varias plantas y se puede usar como una medida de la salud de las plantas.
NBRI	$(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$	El NBRI utiliza para detectar áreas en llamas y monitorear la restauración del ecosistema.
BSI	$((\text{Red} + \text{SWIR}) - (\text{NIR} + \text{Blue})) / ((\text{Red} + \text{SWIR}) + (\text{NIR} + \text{Blue}))$	El BSI se utiliza para cuantificar los minerales del suelo y para mejorar la presencia de vegetación.
NDWI	$(\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$	El NDWI se utiliza para analizar las masas de agua y junto con el NDVI se puede evaluar el fondo en áreas de cambio significativo.
NDSI	$(\text{Green} - \text{SWIR}) / (\text{Green} + \text{SWIR})$	El NDSI es un indicador numérico que muestra la capa de nieve sobre áreas terrestres. Esta fórmula se usa a menudo en aplicaciones de mapas de cobertura de nieve, así como en el monitoreo de glaciares.

Continúa...

NDGI	$(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$	El NDGI se usa para ayudar a detectar y monitorear los glaciares, además se lo usa comúnmente en aplicaciones de exploración y monitoreo de glaciares.
ARVI	$(\text{NIR} - (2 * \text{Red}) + \text{Blue}) / (\text{NIR} + (2 * \text{Red}) + \text{Blue})$	El ARVI es el primer índice de vegetación que es más susceptible a factores atmosféricos como los aerosoles. ARVI es una corrección NDVI para los efectos de dispersión atmosférica.
SIPI	$(\text{NIR} - \text{Blue}) / (\text{NIR} - \text{Red})$	El SIPI es adecuado para analizar la vegetación con una estructura de dosel variable. Estimación de la relación entre carotenoides y clorofila; además del valor de la señal de vegetación de estrés

NDVI: Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada; GNDVI: Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada Verde; EVI: Índice de Vegetación Mejorado; AVI: Índice de Vegetación Avanzada; SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo; NDMI: Índice de Diferencia Normalizada de Humedad; MSI: Índice de Estrés Hídrico; GCI: Índice de Clorofila; NBRI: Índice de Calcinación Normalizado; BSI: Índice de Suelo Desnudo; NDWI: Índice Diferencial de Agua Normalizado; NDSI: Índice Diferencial Normalizado de Nieve; NDGI: Índice Glaciar Diferencial Normalizado; ARVI: Índice de Vegetación Atmosféricamente Resistente SIPI: Índice de Pigmentación Insensible a la Estructura.

Fuente: (Franzpc, 2019)

## Índices de vegetación

Un índice de vegetación es una combinación de bandas espectrales utilizadas para visualizar la cobertura vegetal y mitigar los detalles de otros componentes según su respuesta espectral. Las imágenes resultantes de las operaciones algebraicas entre diferentes bandas espectrales permiten obtener nuevas imágenes en las que se resaltan gráficamente ciertos píxeles relacionados con parámetros de cobertura vegetal (Ramos, 2020).

- **Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI):** Se lo utiliza para evaluar el desarrollo de la vegetación midiendo la intensidad de radiación que emite o refleja en ciertas bandas del espectro EM, ver Figura 21.

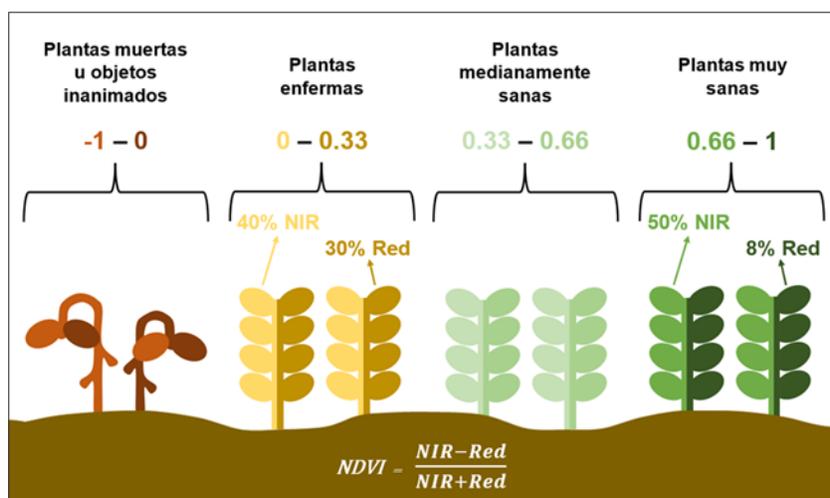


Figura 21. Porcentaje de reflectancia entre una planta sana y una enferma

Fuente: Elaboración propia

El NDVI es la relación de la diferencia entre la banda del NIR y la banda Red y la suma de estas dos bandas donde NIR es la reflectancia en la banda NIR y Red es la reflectancia en la banda visible Red (Yengoh et al., 2014). El algoritmo NDVI aprovecha el hecho de que la vegetación sana refleja menos luz visible Red y más NIR, mientras que la vegetación enferma refleja más luz visible Red y menos NIR. Los valores resultantes varían de -1 a 1, con valores negativos que consisten principalmente en nubes, agua y nieve. Los valores entre 0,2 y 0,3 corresponden a áreas con vegetación enferma o escasa, con una vegetación media que varía entre 0,3 y 0,6, representando cualquier valor entre 0,6 y 1 la mayor densidad de vegetación sana u hojas verdes.

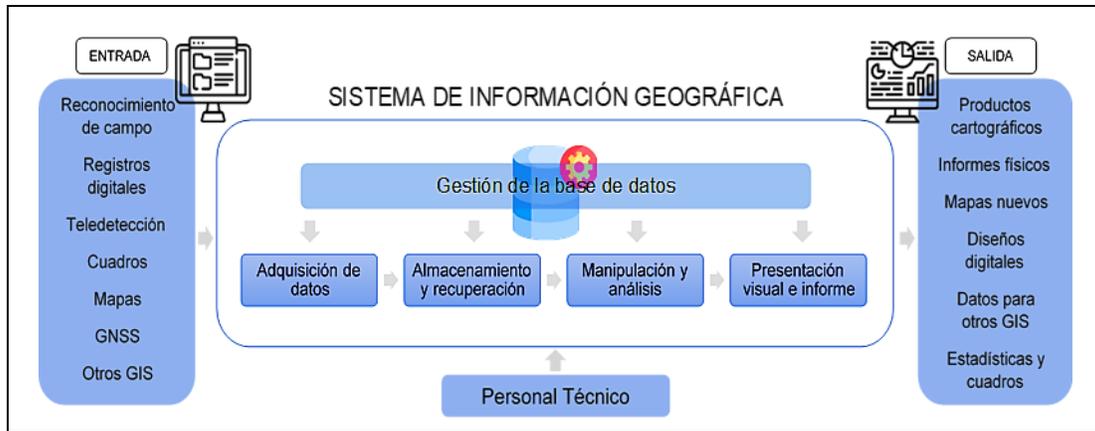
El NDVI es una expresión del vigor de la planta y está relacionado con el rendimiento y la calidad del cultivo, pero es sensible a efectos atmosféricos y del suelo. Se recomienda utilizar otros índices más precisos para mejorar y complementar el análisis NDVI, ver Tabla 7.

#### 1.2.5. Sistemas de información geográfica (GIS)

Un GIS es un sistema que organiza interrelaciones complejas entre diferentes niveles de información al recopilar, analizar, procesar, almacenar y presentar datos espaciales e imágenes disponibles de diferentes fuentes (Pandey & Pathak, 2014). Los GIS revelan información más profunda sobre los datos y permite que los usuarios tomen decisiones más inteligentes (Esri, 2019).

Según (Olaya, 2014), un GIS funcional comprende de cinco componentes clave, ver Figura 22:

- a) Los *datos* son la materia prima necesaria para el trabajo en un GIS y los que contienen la información geográfica esencial para la existencia de los GIS.
- b) Los *métodos* son un conjunto de expresiones y metodologías que se aplican sobre los datos.
- c) El *software* es el soporte lógico que trabaja con los datos e implemente los métodos anteriores.
- d) El *hardware* es el soporte físico necesario para ejecutar el software.
- e) El *personal técnico* que opera, desarrolla, administra y utiliza el software, siendo el factor clave del GIS.



**Figura 22.** Diagrama que ilustra un GIS

*Fuente:* Elaboración propia

### Corrección de imágenes satelitales utilizando un GIS

Una imagen satelital sin procesar consta de un conjunto de matrices, una por cada canal del sensor, con valores que van desde 0 (no llega radiación desde ese punto) hasta 255 (llega la máxima radiación). Estos valores o niveles digitales deben traducirse en alguna variable física (Cede et al., 2011).

Según (Andreu et al., 2021), las imágenes satelitales deben rectificarse realizando las siguientes correcciones:

- **Geométrica:** Se corrigen los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en las imágenes provocadas por la trayectoria de la plataforma que soporta el sensor, los efectos de relieve relacionados con la imagen y errores de paralaje.
- **Georreferenciación:** La información se georreferencia, otorgando a cada píxel una ubicación en un sistema de coordenadas estándar, eliminando la distorsión y posicionando la imagen en el área territorial adecuada.
- **Radiométrica:** Se corrige los problemas mecánicos fallos de calibración de los sensores eliminando imperfecciones en los pixeles, transformando la información digital a radiancia.
- **Atmosférica:** Se elimina la distorsión que introduce la atmósfera en los valores de radiación que llegan al sensor desde la superficie terrestre.

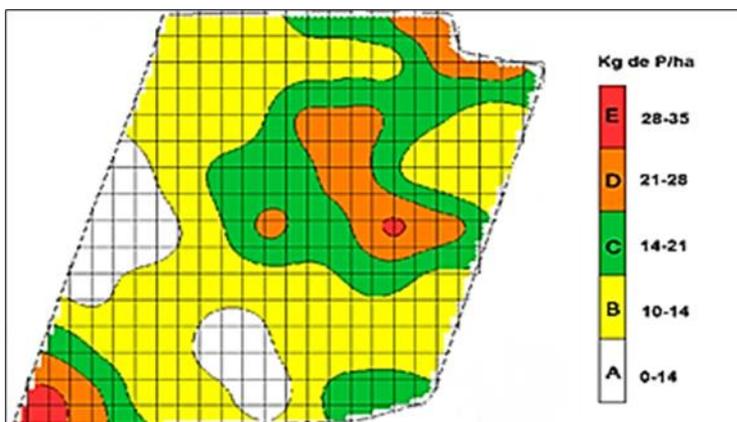
Las imágenes se pueden corregir en función de los objetivos perseguidos mediante la teledetección, pero algunas correcciones no se realizan porque no son necesarias. Además, muchas agencias brindan imágenes satelitales que han sido corregidas a su totalidad o corregidas hasta cierto nivel.

Una función importante de un GIS en el sector agrícola es mantener múltiples capas de información como mapeo y monitoreo de rendimientos, mapas de levantamiento de suelos, datos de teledetección, informes de exploración de cultivos y contenido de nutrientes del suelo (Abd El-Kader & El-Basioni, 2021).

### 1.2.6. Tecnología de aplicación variable de insumos (VRT)

Es una tecnología dedicada a optimizar la distribución automática de insumos (semillas, fertilizantes, productos fitosanitarios, etcétera) para diferentes sitios en un lote, basándose en los datos recopilados de un mapa de rendimiento del lote (Mendez, 2000).

- **Mapa de prescripción:** Es un mapa que se obtiene de diferentes capas de información como mapas de rendimiento de varios cultivos, muestreo de suelo, imágenes satelitales, etcétera. Esto permite identificar sitios dentro del lote con uno o más factores que causan la variación de rendimiento (Mendez, 2000). En la Figura 23 se muestra un mapa de prescripción para la aplicación variable de insumos (P) de acuerdo con las necesidades de cada sitio en el lote, maximizando así la producción, reduciendo costos y protegiendo el medio ambiente (Bongiovanni et al., 2010).



*Figura 23. Mapa de prescripción de fertilización de fósforo (P)*

*Fuente: (Mendez, 2000)*

La idea fundamental en que se basa la AP es que los insumos deben aplicarse en cantidades que se puedan aprovechar en su totalidad, que cada área del lote exprese su máximo potencial económicamente posible. Según esto, se ahorraría insumos en las áreas de bajo rendimiento, para trasladarlo a las áreas de mayor rendimiento, de modo que la producción pueda aumentar mediante el uso correcto de insumos (Bongiovanni et al., 2010).

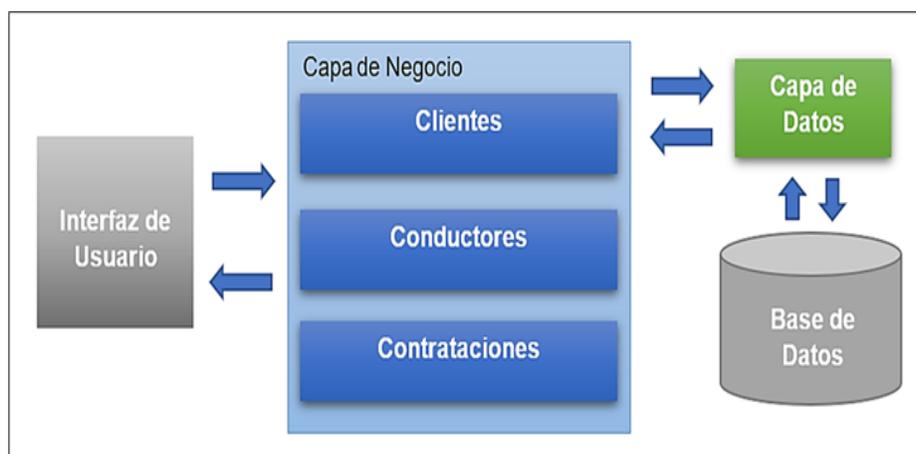
### 1.3. Arquitectura de software

La arquitectura de software es una representación de diseño de alto nivel que promueve la comunicación entre las diferentes partes interesadas, realiza una partición eficaz y un desarrollo paralelo de los sistemas de software, proporciona orientación y métodos de evaluación y, por último, brindan oportunidades de reutilización (Tekinerdoğan & Akşit, 2002). Sin embargo, no existe una definición específica y aceptada. Por esta razón, muchos autores han propuesto algunas definiciones. Por ejemplo, (Cervantes & Kazman, 2016) mencionaron lo siguiente. La arquitectura de software de un sistema es un conjunto de estructuras necesarias para razonar sobre el sistema, incluyendo elementos de software, sus relaciones y atributos de ambos.

Para tener una comprensión general del diseño de software, es necesario desarrollar un sistema basado en una determinada arquitectura, en función de sus requisitos. Existen varios tipos de arquitecturas, las más utilizadas son la arquitectura monolítica, la arquitectura orientada a servicios y la arquitectura de microservicios.

#### 1.3.1. Arquitectura monolítica

En una arquitectura monolítica, las aplicaciones suelen ser grandes y creadas por uno o más equipos, donde toda la lógica de la aplicación está en un solo componente implementado como una sola unidad (Chawla & Kathuria, 2019). En la Figura 24 se presenta un ejemplo de la arquitectura monolítica de un sistema de taxis.



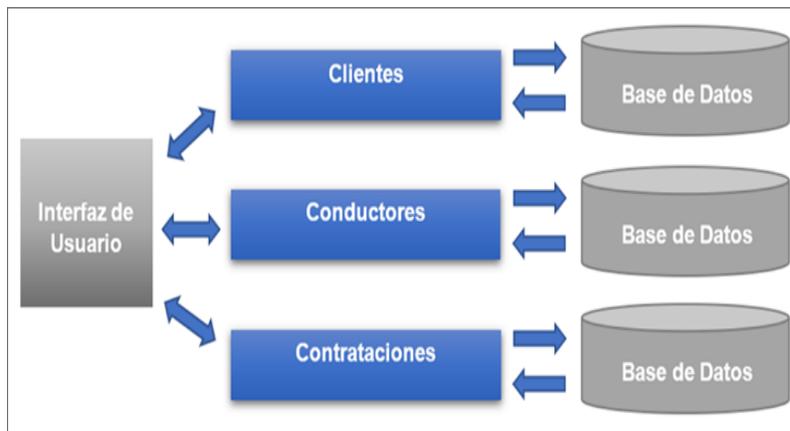
**Figura 24.** Estructura de una arquitectura monolítica

*Fuente:* Elaboración propia

Los componentes (interfaz de usuario, capa de negocio y capa de datos) dependen unos de otros y se complementan entre sí. Sin embargo, si un servicio falla, se limita la disponibilidad de toda la aplicación.

### 1.3.2. Arquitectura microservicios

Los microservicios son una forma de dividir una aplicación en conjuntos más pequeños de servicios que se comunican a través de interfaces ligeras como REST<sup>22</sup>. En la Figura 25 se presenta un ejemplo de una arquitectura microservicios de un sistema de taxis.



**Figura 25.** Estructura de una arquitectura microservicios

*Fuente:* Elaboración propia

El propósito de los microservicios es implementar funciones empresariales específicas, que se pueden desarrollar e implementar fácilmente de forma independiente sin afectar a otros servicios o limitar la usabilidad general de la aplicación. El enfoque de microservicio es más adecuado para aplicaciones de misión crítica grandes, complejas y distribuidas (Chawla & Kathuria, 2019).

### 1.3.3. Arquitectura Orientada a Servicios (SOA)

Una SOA es un estilo de diseño que puede ayudar a crear aplicaciones empresariales impulsadas por servicios y proporcionar soluciones que realmente satisfagan a la organización. (Seth & Seth, 2020).

Según (Pérez & Solar, 2017), SOA se centra en la integración entre aplicaciones monolíticas y utiliza un Bus de Servicio Empresarial (ESB). Las solicitudes llegan al ESB<sup>23</sup> por diferentes vías, y este último decide de dónde obtener los datos. En la Figura 25 se presenta un ejemplo de SOA y ESB de un sistema de taxi.

<sup>22</sup> **REST:** Es una arquitectura de software utilizada para describir cualquier interfaz entre sistemas que usan HTTP directamente para obtener datos o instruir para realizar operaciones en datos. [https://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia\\_de\\_Estado\\_Representacional](https://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia_de_Estado_Representacional)

<sup>23</sup> **ESB:** Bus de Servicio Empresarial. Es un modelo de arquitectura de software para gestionar la comunicación entre servicios web. Es una parte fundamental de una SOA. [https://es.wikipedia.org/wiki/Enterprise\\_service\\_bus#Arquitectura\\_de\\_ESB](https://es.wikipedia.org/wiki/Enterprise_service_bus#Arquitectura_de_ESB)



**Figura 26.** Estructura de un SOA y ESB

*Fuente:* Elaboración propia

A continuación, se presenta algunas características entre la arquitectura monolítica, arquitectura microservicios y SOA, ver Tabla 7.

**TABLA 8.** Características de las arquitecturas monolítica, microservicios y SOA

Parámetro	Arquitecturas		
	Monolítica	Microservicios	SOA
<b>Escalabilidad</b>	La aplicación escala como un grupo y es difícil adaptarse a la demanda del negocio.	Permite que cada servicio de la aplicación se adapte a la demanda del negocio.	Permite que la aplicación se adapte a los crecientes desafíos del mercado, proporcionando una solución a la demanda empresarial actual.
<b>Agilidad</b>	Si se pretende realizar cambios en el código y la funcionalidad se anularía el servicio de la aplicación.	Toda la aplicación está dividida en varios servicios independientes, por lo que al realizar cambios esta no afectaría a toda la aplicación.	Brinda la capacidad de integrar más servicios a la aplicación, esto permite que la aplicación se adapte fácilmente al futuro.
<b>Resiliencia</b>	La aplicación es interdependiente, por lo que si se presenta una falla en la aplicación el servicio de esta se anula	Toda la aplicación está dividida en varios servicios independientes, por lo que si se presenta una falla en algún servicio esta no afecta a otro servicio. Además, facilita la disponibilidad de la aplicación si se implementa o actualiza un servicio.	Todos los servicios de la aplicación se comunican por medio de un ESB, por lo que si se presenta una falla en algún servicio esta no afecta a otro servicio.
<b>Manejabilidad</b>	Es difícil gestionar operaciones de desarrollo e incorporar a nuevos desarrolladores. Sin embargo, el monitoreo es fácil por ser una base de código única.	Es fácil gestionar operaciones de desarrollo e incorporar a nuevos desarrolladores. Sin embargo, el monitoreo es difícil por las diferentes correlaciones entre múltiples servicios.	Gestionar las operaciones de desarrollo e incorporar a nuevos desarrolladores es fácil. Sin embargo, debido a las diferentes correlaciones entre múltiples servicios, es difícil de monitorear.

Escalabilidad: capacidad de una aplicación para adaptarse a las necesidades comerciales; Agilidad: capacidad de una aplicación para adoptar cambios con poca o ninguna interrupción del servicio; Resiliencia: capacidad de manejar fallas sin interrumpir los servicios de la aplicación; Manejabilidad: capacidad de administrar las operaciones de desarrollo.

*Fuente:* Adaptado de (Chawla & Kathuria, 2019)

## 1.4. Metodologías de desarrollo

La metodología de software es el estudio y determinación de un conjunto de herramientas, procedimientos y técnicas que se llevan a cabo de manera rigurosa para que se puedan crear, actualizar o modificar un sistema de información especializada en función de los requisitos del software. Actualmente, se pueden distinguir dos amplias categorías de métodos de desarrollo de software: ágiles y tradicionales. A continuación, se describen sus características.

### 1.4.1. Metodologías tradicionales

Las metodologías tradicionales se caracterizan por definir de manera exhaustiva y estricta los requisitos al inicio del proyecto de ingeniería de software. El ciclo de desarrollo no es flexible y no se permiten cambios.

Según (Santander Universidades, 2020), las principales metodologías tradicionales son:

- **Cascada:** Esta organiza las etapas de arriba a abajo, de ahí el nombre. Las diferentes funciones se desarrollan en etapas y siguen una secuencia estricta. Antes de cada etapa, se debe revisar el producto para ver si está listo para la siguiente etapa. Los requisitos y especificaciones iniciales no cambiarán, por lo que los resultados no se pueden ver hasta que el proyecto avance sin problemas.
- **Prototipado:** Se basa en la construcción de prototipos de software de construcción rápida para que los usuarios puedan probarlos y proporcionar una retroalimentación. Por lo tanto, puede corregir errores e incluir otros requisitos que puedan surgir. Es un modelo iterativo que se basa en prueba y error para comprender las características del producto.
- **Espiral:** Es una combinación de los dos primeros modelos y agrega el concepto de análisis de riesgo. Se divide en cuatro etapas: planificación, análisis de riesgos, desarrollo de prototipos y evaluación de clientes. El nombre de este método lleva el nombre de su funcionamiento, porque las distintas etapas se procesan en forma de espiral. Cuanto más cerca esté del centro, más avanzado será el proyecto.
- **Incremental:** En esta metodología el producto final se construye gradualmente. En cada etapa incremental, se agregan nuevas características y puede ver los resultados más rápido que el modelo en cascada. El software se puede utilizar incluso antes de que esté completamente terminado y es mucho más flexible que otros métodos.

En la Tabla 9 se presenta las ventajas y desventajas de las metodologías de desarrollo de software tradicionales.

**TABLA 9.** Ventajas y desventajas de las metodologías tradicionales

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El comienzo del proyecto comienza con todas las aprobaciones apropiadas	Cierta resistencia al cambio, lo que puede generar altos costos a la hora de implementar cambios
Se planificó todo el proyecto y se definieron los parámetros de control de calidad	El usuario no ve el producto hasta el final
Su objetivo es preservar la documentación detallada de todo el proyecto	Ejecuta la fase solo una vez, el contenido definido en cada fase no es movable y no entrará en la siguiente fase hasta que una fase se complete con éxito
Las etapas y roles de cada etapa están claramente definidos	Varias políticas y regulaciones
Especificaciones basadas en estándares y un proceso más controlado	Hay muy pocos comentarios porque solo hay una entrega final
Nivel de incertidumbre bajo, apto para proyectos de gran envergadura	En muchos casos, establecer metas desde el principio es limitado porque el proyecto es inestable y obligará a tomar muchas decisiones inciertas desde el principio

*Fuente: Adaptado de (López Gil, 2018)*

#### 1.4.2. Metodologías ágiles

Las metodologías ágiles se basan en la metodología incremental, en la que se agregan nuevas funcionalidades a la aplicación final en cada ciclo de desarrollo. Sin embargo, el ciclo es mucho más corto y rápido, por lo que se agregan pequeñas funciones en lugar de grandes.

Según (Santander Universidades, 2020), las principales metodologías ágiles son:

- **Programación extrema (XP):** Esta metodología se enfoca en mejorar la relación interpersonal del equipo de desarrollo a través del trabajo en equipo, el aprendizaje continuo y un buen clima laboral, que es la clave del éxito. Este método enfatiza la retroalimentación continua entre el cliente y el equipo de desarrollo. Además, es muy adecuado para proyectos pequeños y medianos con requisitos cambiantes o no claramente definidos.
- **Scrum:** Es un método que comparte muchas características con XP y está diseñado para una colaboración eficaz en equipo en proyectos, utilizando un conjunto de reglas y artefactos. Además, define el rol que genera la estructura necesaria para su correcto funcionamiento.

En la Tabla 10 se presenta las ventajas y desventajas de las metodologías de desarrollo de software ágiles.

**TABLA 10.** Ventajas y desventajas de las metodologías ágiles

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Es un modelo flexible que puede responder rápidamente a los cambios	Debido a su flexibilidad, la estructura es muy débil
Gestiona las historias que componen la visión	Si trabajamos con el equipo como colaboradores, las exigencias al equipo pueden ser perjudiciales
Parte de exploración y prueba de mercado	Dependencia del mismo equipo de principio a fin
Realice ajustes basados en los resultados de la exploración del mercado	Debido a la falta de documentos de diseño, existe un límite a la escala del proyecto
Entrega parcial del producto	Si el proyecto falla, las lecciones aprendidas de los errores se dejan en manos de los desarrolladores y no hay suficiente documentación
Proceso de intervención del cliente	Necesidad de trabajar en el mismo lugar, porque los métodos ágiles se basan en la comunicación diaria

*Fuente: Adaptado de (López Gil, 2018)*

El desarrollo de software se ha convertido en una de las actividades más importantes de la sociedad moderna. En un mundo donde la tecnología es una parte esencial de nuestras vidas, el desarrollo de software seguro y de alta calidad será cada vez más importante. En la Tabla 11 se presenta una comparación entre de las metodologías de desarrollo de software tradicionales y ágiles.

**TABLA 11.** Metodologías tradicionales vs metodologías ágiles

<b>Metodologías tradicionales</b>	<b>Metodologías ágiles</b>
El desarrollo es predictivo	El desarrollo es adaptativo
Tienen un proceso rígido	Tienen un proceso flexible
Se concibe como un proyecto	Un proyecto es subdividido en varios proyectos más pequeños
Poca comunicación con el cliente	Comunicación constante con el cliente
Se entrega el software al finalizar el desarrollo	Entregas constantes de software
Documentación extensa	Poca documentación
Se basan en normas provenientes de estándares seguidos por el entorno de desarrollo	Se basan en heurística provenientes de prácticas de producción de código
Cierta resistencia a los cambios	Preparados para cambios durante el proyecto
Impuestas externamente	Impuestas internamente por el equipo
Proceso muy controlado, numerosas normas	Proceso menos controlado, con pocos principios
Grupos grandes	Grupos pequeños
Menor énfasis en la arquitectura del software	La arquitectura de software es esencial

*Fuente: Adaptado de (Molina et al., 2018)*

## 1.5. Herramientas tecnológicas

Para desarrollar de manera efectiva la aplicación web basada en el tema de aprendizaje, se debe utilizar las siguientes herramientas básicas:

### 1.5.1. Visual Studio Code (VS Code)

VS Code es un editor de texto ligero y potente creado por Microsoft para sistemas operativos multiplataforma como Linux, Mac y Windows. Este editor de texto admite directamente los lenguajes de programación JavaScript, TypeScript y Node.js, así como otros lenguajes de programación que se pueden instalar a través de extensiones proporcionadas por VS Code (como C ++, C #, Python, Go, Java, etcétera) (Salamah, Gusti, 2021).

### 1.5.2. Visual Studio 2019 (VS 2019)

VS 2019 es un entorno de desarrollo integrado (IDE) que nos permite crear, depurar e implementar fácilmente aplicaciones de escritorio, web y móviles. Este IDE proporciona a los desarrolladores una gran cantidad de herramientas y funciones para hacer frente con éxito a los problemas y tecnologías actuales (Preez, 2019). Esta versión no es multiplataforma porque solo se ejecuta en Windows, pero es compatible con los objetivos de los proyectos .NET "full framework" y .NET Core (multiplataforma). VS 2019 le permite utilizar varios lenguajes de programación (como C, C ++, Visual Basic .NET, C #, F #, JavaScript, TypeScript, Python, Ruby y Node.js) (Schroeder & Cure, 2021).

### 1.5.3. Node.js

Node.js está diseñado como un entorno de tiempo de ejecución de JavaScript asíncrono impulsado por eventos, con el objetivo de crear aplicaciones de red escalables. Además, el motor que utiliza para interpretar y ejecutar código JavaScript pertenece a Google y se llama V8. (Puciarelli, 2020b). Hoy en día, Node.js es muy popular para desarrollar microservicios, APIs, y aplicaciones web Full-Stack<sup>24</sup> (Azaustre, 2016).

- **Node Package Manager (NPM):** Uno de los componentes más importantes de Node.js es su manejador de paquetes NPM. Sin este componente, sería imposible trabajar en un entorno JavaScript usando Node.js, porque es muy útil para administrar, instalar y organizar todas las dependencias de todo el proyecto a desarrollar (Puciarelli, 2020b).

### 1.5.4. Angular

Es un framework de JavaScript de código abierto mantenido por Google, que se utiliza para crear páginas web tipo SPA (Single Page Application), es decir, la página web solo se carga al

---

<sup>24</sup> **Full-Stack:** Es un perfil de desarrolladores informáticos con conocimientos de Frontend y Backend, encargados de coordinar acciones de desarrollo en ambos lados. <https://www.viewnext.com/que-es-un-full-stack-developer/>

principio, y luego las actualizaciones posteriores se realizan de forma asíncrona, sin la necesidad de actualizar la página. Para desarrollar en Angular, se recomienda tener conocimientos sobre HTML, CSS, JavaScript y programación orientada a objetos (Puciarelli, 2020a).

Según (Puciarelli, 2020a), para crear y mantener una aplicación en Angular, se utiliza la siguiente herramienta:

- **Angular CLI:** Es una herramienta de interfaz de línea de comandos que se utiliza para inicializar, desarrollar, construir y mantener aplicaciones Angular directamente desde el Shell de comandos.

### 1.5.5. TypeScript

Es un lenguaje de programación de código abierto creado por Microsoft que implementa muchos mecanismos de programación orientados a objetos. Es un superconjunto de JavaScript, lo que significa que comprende la sintaxis de JavaScript (Puciarelli, 2020a). Sin embargo, los navegadores no pueden interpretar el código TypeScript, por lo que se utiliza un proceso llamado transpilar para generar código JavaScript a partir de TypeScript.

### 1.5.6. .Net Core

Es la plataforma de desarrollo de Microsoft, de código abierto, multiplataforma y de alto rendimiento, que se utiliza para crear diversas aplicaciones. Además, la arquitectura .NET Core le permite incluir solo el contenido necesario en la aplicación que está desarrollando, haciéndola más liviana cuando se implementa y más fácil de actualizar a través de las actualizaciones de NuGet<sup>25</sup> (Díaz, 2020).

### 1.5.7. C#

El lenguaje C # es parte del conjunto de herramientas proporcionado en la plataforma .NET. Parece ser un lenguaje simple, robusto, orientado a objetos, fuertemente tipado y altamente extensible, que permite que las aplicaciones sean independientes de varios dispositivos de hardware, como computadoras, tabletas o cualquier otro dispositivo móvil (Ángel Arias, 2015).

### 1.5.8. SQL Server

Es un sistema de base de datos relacional que se ejecuta en Transact-SQL, esto le permite agregar algunas funciones al programa, como el manejo de errores y excepciones, el

---

<sup>25</sup> **NuGet:** Es una herramienta que permite a los desarrolladores crear, compartir y usar código útil. <https://docs.microsoft.com/es-es/nuget/what-is-nuget>

procesamiento de datos, la extracción de datos directamente de la Web, el uso de diferentes lenguajes de programación, etcétera. SQL Server es un administrador de bases de datos muy completo con múltiples funciones y mejoras, que proporciona un rendimiento revolucionario, seguridad avanzada y funciones integradas de análisis e informes más completas (Varga et al., 2016).

### 1.5.9. Entity Framework (EF)

Es un mapeador de bases de datos de objetos moderno para .NET. Admite consultas LINQ<sup>26</sup>, seguimiento de cambios, actualización y migración de esquemas. EF Core es adecuado para muchas bases de datos, incluidas bases de datos SQL (locales y Azure), SQLite, MySQL, PostgreSQL y Azure Cosmos DB (Microsoft Docs, 2020).

### 1.5.10. Interfaz de programación de aplicaciones (API)

Una API se define como una forma en que dos aplicaciones se comunican entre sí a través de la red (principalmente Internet) utilizando un lenguaje común que ambos entienden. La aplicación accede a los servicios disponibles a través de un contrato en donde se define la estructura, restricciones y reglas establecidas por el proveedor de la API (Daniel Jacobson, Greg Brail, 2012).

- **API REST:** Es una API web que se ajusta al estilo arquitectónico REST. Además, tener una API REST hace que los servicios web sean RESTful (Massé, 2012). Cuando se envía una solicitud de cliente a través de una API RESTful<sup>27</sup>, esta transfiere una representación del estado del recurso requerido a quien lo haya solicitado o al extremo. La información o representación se transmite a través de HTTP en uno de los siguientes formatos: JSON, HTML, XLT, Python, PHP o texto sin formato (RedHat, 2019).
- **API EOS:** Es una API RESTful que permite la integración de datos satelitales en una propia aplicación o en aplicaciones existentes (EOS, 2020b).

### 1.5.11. Scrum

Según (Ken Schwaber & Jeff Suther, 2020), Scrum es un marco ligero que ayuda a las personas, los equipos y las organizaciones a crear valor a través de soluciones adaptables a problemas complejos.

---

<sup>26</sup> **LINQ:** Consulta de lenguaje integrado. Es el nombre de un conjunto de tecnologías basadas en la integración de la funcionalidad de consulta directa en el lenguaje C#. <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/programming-guide/concepts/linq/>

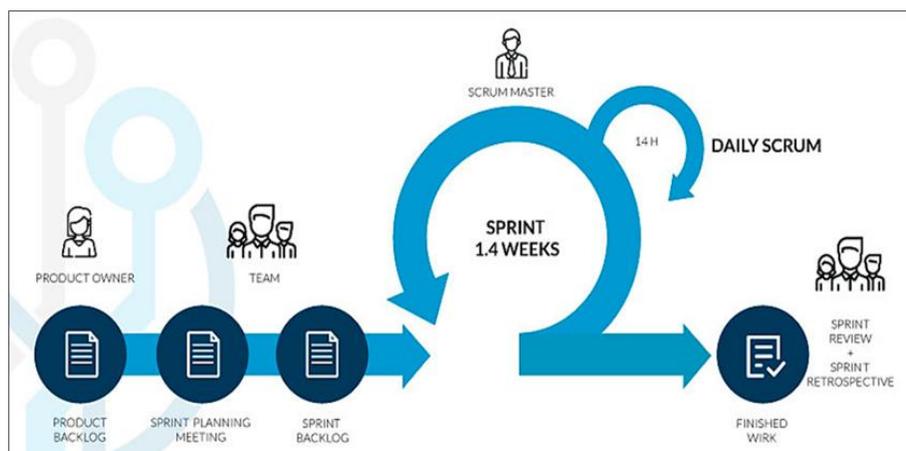
<sup>27</sup> **RESTful:** Se basan en REST. <https://codigonaranja.com/restful-web-service>

Como mencionan (Nonaka & Takeuchi, 2019), SCRUM comprende las siguientes fases:

- **Pre-juego:** En la *Planificación* define nuevos lanzamientos en función de la pila actual, junto con estimaciones de costos y cronogramas. Si se trata de un sistema nuevo, esta fase incluye la visión y el análisis. En el caso de mejoras a los sistemas existentes, se incluye un análisis de alcance más limitado. En la *Arquitectura* se diseña la implementación de la funcionalidad de la pila. Esta fase incluye la modificación de la arquitectura y el diseño general.
- **Juego:** El continuo desarrollo del Sprint, nuevas versiones de características basadas en variables como el tiempo, la demanda, el costo y la competencia. La interacción con estas variables determina el final de esta fase. El sistema evoluciona a través de múltiples iteraciones o sprints de desarrollo.
- **Post-juego:** Preparación para el lanzamiento de la versión, incluyendo la documentación final y pruebas antes del lanzamiento de la versión.

Según (Porra, 2021), el marco técnico de Scrum se forma de eventos, artefactos y roles, ver Figura 26.

- **Eventos de Scrum:** Los eventos en Scrum se utilizan para crear regularidad y minimizar la necesidad de reuniones que no están definidas en Scrum. Todos los eventos están dentro del marco de tiempo. Una vez que comienza el Sprint, su duración es fija y no se puede acortar ni ampliar. Cuando se alcanza el propósito de la actividad, las actividades restantes se pueden finalizar para garantizar que se invierta suficiente tiempo y no se desperdicie en el proceso (Scrum.org, 2020).



**Figura 27.** Desarrollo ágil de software Scrum

Fuente: (Porra, 2021)

Según (Porra, 2021), Scrum se compone de los siguientes eventos principales:

- a) Un *Sprint* es la fase principal de Scrum es el bloque de tiempo entre 2 y 4 semanas durante el desarrollo las tareas.
  - b) En la *Reunión de planificación de Sprint (Spring Planning Meeting)* se planifica el próximo Sprint, tareas y asignaciones. Este es el bloque de planificación del Sprint durante 2 horas a la semana.
  - c) En la *Reunión diaria de Scrum (Daily Scrum)* todo el equipo de desarrollo, cada uno responde ¿Qué hice ayer?, ¿Qué hare hoy?, y ¿Cuáles son mis obstáculos? La reunión tiene una duración máxima es de 15 minutos.
  - d) En la *Revisión de Sprint (Spring Review)* se analiza las tareas completadas y se realiza cambios en la lista del producto (Product Backlog) si es necesario. Es un espacio de 1 hora por semana para el Sprint.
  - e) En el *Retrospectivo del Sprint (Spring Retrospective)* el equipo analiza lo sucedido durante el Sprint. El equipo realiza cambios para mejorar su productividad, y cada Sprint dura hasta 3 horas.
- **Artefactos de Scrum:** Los artefactos Scrum representan trabajo o valor, proporcionando transparencia y oportunidades de inspección y adaptación. Los artefactos definidos por Scrum están diseñados específicamente para maximizar la transparencia de la información clave para que todos tengan la misma comprensión de los artefactos (Scrum.org, 2020).

Según (Menzinsky et al., 2016), Scrum cuenta con los siguientes artefactos:

- a) La *Lista del producto (Product Backlog)* son los requisitos de usuario, que a partir de la visión inicial del proyecto y evoluciona durante el desarrollo, y el propietario del producto (Product Owner) es responsable de obtener esta lista.
  - b) La *Lista de Sprint (Sprint Backlog)* son las tareas del Product Backlog que el equipo debe realizar durante el Sprint en un periodo de tiempo.
  - c) El *Incremento* son una lista de tareas completadas de cada Sprint.
- **Roles de Scrum:** El proyecto Scrum consta de un equipo de trabajo, en el que cada miembro tiene un rol específico, y es responsable de todas las actividades relacionadas con el desarrollo de producto.

Según (Alnoukari, 2011), Scrum identifica los siguientes roles:

- a) El *Product Owner* es la persona responsable de crear y priorizar la Pila del Producto (Product Backlog), es decir, los requisitos. Según la importancia percibida, el propietario del producto elige qué incluir en cada Sprint y revisa el sistema al final del Sprint para controlar la calidad.
- b) El *Scrum Master* es un experto en Scrum que comprende y fortalece las iteraciones y los objetivos del producto, los valores y las prácticas de Scrum, dirige reuniones diarias (Scrum Meeting) y presentación de iteraciones (Spring Review), escucha el progreso, elimina obstáculos y proporciona recursos. Además, es desarrollador y participa en el desarrollo de productos.
- c) El *Development Team* el equipo de Scrum tiene plena autoridad para hacer cualquier cosa para lograr el objetivo principal. El equipo debe completar simultáneamente las tareas especificadas en ciertos planes de actividad predeterminados. Además, trabajan con la colaboración del Scrum Master.

# CAPITULO 2

## Desarrollo

Para construir el producto de software, es importante elegir la mejor manera de satisfacer las necesidades del cliente e incorporarlas en cada función del sistema. Una metodología ayuda a proporcionar una guía importante para lograr los objetivos establecidos y permite cubrir una amplia gama de tareas que incluyen comunicación, análisis de requisitos, modelado de diseño, construcción de software, pruebas y soporte.

Scrum es un marco de trabajo que utiliza herramientas, métodos y modelos que pueden ayudar a mejorar la calidad del producto. En este capítulo se desarrolla e implementa el software “Desarrollo de una aplicación web de monitoreo de cultivos (crop monitoring) mediante el análisis de imágenes multiespectrales”, aplicando las siguientes fases de la metodología Scrum.

### 2.1. Pre-juego

Para la planificación de Sprint, el método Scrum nos proporciona artefactos que ayudan a realizar las tareas planificadas.

#### 2.1.1. Definición del equipo y roles del proyecto

Es importante identificar las funciones principales del equipo de trabajo. En base a los roles utilizados en la metodología Scrum. La Tabla 12 describe las personas que participan en el desarrollo del sistema.

**TABLA 12.** Asignación de roles para el desarrollo del sistema

Nombre	Descripción	Rol
MSc. Fernando Garrido	Es el responsable de brindar la orientación necesaria para el desarrollo del proyecto, principalmente la redacción y estructura de la documentación del sistema.	Propietario del producto (Product Owner)
Christian Quespaz	Responsable de revisar el proyecto para verificar el cumplimiento de las recomendaciones.	Jefe de proyecto (Scrum Master)
Christian Quespaz	Responsable de brindar sugerencias durante el desarrollo de la aplicación.	Equipo de Desarrollo (Development Team)

*Fuente: Elaboración propia*

#### 2.1.2. Planificación del product backlog

Lista de trabajo ordenado por prioridades para el equipo de desarrollo. Los requisitos, las características e incluso las correcciones que se integrarán en el Sprint se enumeran de forma genérica, ver Tabla 13.

**TABLA 13. Product Backlog - Lista general del proyecto**

Nro.	Tarea	Estimación	Responsable
P1	Requerimientos del sistema y estructuración de la base de datos del sistema	Alta	Christian Quespaz
P2	Análisis de las herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema	Alta	Christian Quespaz
P3	Instalación de los ambientes y programas para el desarrollo del sistema	Alta	Christian Quespaz
P4	Desarrollo del Backend basado en microservicios API REST y ORM	Alta	Christian Quespaz
P5	Módulo de seguridades del registro e inicio de sesión del sistema en el backend	Media	Christian Quespaz
P6	Desarrollo del módulo de registro e inicio sesión en el Frontend	Media	Christian Quespaz
P7	Módulo de consulta de NDVIs por fecha grupo y tipo de cultivo	Alta	Christian Quespaz

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.1.3. Descripción de historias de usuario

Una de las características principales de la metodología Scrum es la llamada historia de usuario que se utiliza para definir y especificar los requisitos funcionales o no funcionales que debe tener el sistema, en si describen de manera general la funcionalidad que el cliente necesita en el software.

- **Historia de usuario 1:** Conocer el estado del cultivo

**TABLA 14. Historia de usuario – Ingreso al sistema**

HISTORIA DE USUARIO	
<b>Número:</b> CROP-01	<b>Usuario:</b> Colaborador
<b>Estimación:</b>	<b>Prioridad:</b> Alta
<b>Desarrollador responsable:</b> Christian Quespaz	
<b>Descripción:</b> El sector agrícola necesita utilizar una tecnología que permita a los agricultores monitorear y analizar cualquier tipo de cultivo. La tecnología permitirá a los usuarios comprender el estado de los cultivos y tomar las medidas necesarias para aumentar su productividad.	
<b>Observación:</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

- **Historia de usuario 2:** Ingreso al sistema

**TABLA 15. Historia de usuario – Ingreso al sistema**

HISTORIA DE USUARIO	
<b>Número:</b> CROP-02	<b>Usuario:</b> Administrador, colaborador
<b>Estimación:</b>	<b>Prioridad:</b> Alta
<b>Desarrollador responsable:</b> Christian Quespaz	
<b>Descripción:</b> Para acceder al sistema se requiere un correo electrónico y contraseña, y al ingresar al sistema se despliegan características de acuerdo con el tipo de usuario, ya que existen dos tipos de usuarios.	
<b>Observación:</b> El colaborador o usuario deberá registrarse con un correo válido y no podrá registrarse dos veces con el mismo correo, además la contraseña deberá ser encriptada.	

*Fuente: Elaboración propia*

- **Historia de usuario 3: Registrar de un campo**

*TABLA 16. Historia de usuario – Registro de un campo*

HISTORIA DE USUARIO	
<b>Número:</b> CROP-03	<b>Usuario:</b> Administrador, colaborador
<b>Estimación:</b>	<b>Prioridad:</b> Alta
<b>Desarrollador responsable:</b> Christian Quespaz	
<b>Descripción:</b> Al ingresar al sistema, el usuario o colaborador necesita crear un campo, se lo puede realizar de dos maneras, dibujando en el mapa o ingresando por coordenada (latitud y longitud), posteriormente ingresar la fecha inicio, la fecha final y nombre del cultivo.	
<b>Observación:</b> El colaborador o usuario además de registrar un campo deberá poder crear, leer, actualizar y eliminar más campos.	

*Fuente: Elaboración propia*

- **Historia de usuario 4: Actualizar información**

*TABLA 17. Historia de usuario – Actualizar información*

HISTORIA DE USUARIO	
<b>Número:</b> CROP-04	<b>Usuario:</b> Colaborador
<b>Estimación:</b>	<b>Prioridad:</b> Alta
<b>Desarrollador responsable:</b> Christian Quespaz	
<b>Descripción:</b> Al ingresar al sistema, el usuario o colaborador podrá actualizar su información como sus datos personales y cambiar la contraseña de ingreso al sistema.	
<b>Observación:</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

- **Historia de usuario 5: Reportes del estado de los cultivos**

*TABLA 18. Historia de usuario – Reportes del estado de los cultivos*

HISTORIA DE USUARIO	
<b>Número:</b> CROP-05	<b>Usuario:</b> Colaborador
<b>Estimación:</b>	<b>Prioridad:</b> Alta
<b>Desarrollador responsable:</b> Christian Quespaz	
<b>Descripción:</b> Al ingresar al sistema, el usuario o colaborador podrá seleccionar el campo en observación y ver el estado de este.	
<b>Observación:</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

- **Historia de usuario 6: Administración de colaboradores o usuarios**

*TABLA 19. Historia de usuario – Administración de colaboradores o usuarios*

HISTORIA DE USUARIO	
<b>Número:</b> CROP-06	<b>Usuario:</b> Administrador
<b>Estimación:</b>	<b>Prioridad:</b> Alta

Continúa...

---

**Desarrollador responsable:** Christian Quespaz

---

**Descripción:** Una vez en el sistema, el administrador podrá ver la cantidad de colaboradores registrados, la información de registro de cada colaborador, los campos creados y su información, además, pueden cambiar el rol de colaborador a administrador, actualizar y si es necesario eliminar a los usuarios y por lo tanto su información.

---

**Observación:**

---

*Fuente: Elaboración propia*

#### 2.1.4. Planificación del sprint backlog

El sistema por desarrollar es un proyecto de grado, los recursos y costos asignados para cada Sprint serán costeados por el tesista.

- **Sprint 1: Requerimientos del sistema y estructuración de la base de datos del sistema.**

Se realizará las tareas de análisis y requerimientos del sistema, además se definirá el motor y el gestor de base de datos. Las tareas para el presente Sprint son priorizadas acorde al proceso del sistema en base a la línea de desarrollo, se detalla en la Tabla 20.

*TABLA 20. Sprint 1 - Requerimientos del sistema y estructuración de la base de datos del sistema*

<b>[P1] Requerimientos del sistema y estructuración de la base de datos del sistema</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
<b>S1</b>	1	Instalación y configuración del motor y gestor de base de datos	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S2</b>	1	Creación del diseño físico y lógico de la base de datos, incluyendo la relación de claves primarias y foráneas	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S3</b>	1	Normalización de la base de datos	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S4</b>	1	Validación de la base de datos de acuerdo con la necesidad del sistema	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

- **Sprint 2: Análisis de las herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema.**

Se analizan las herramientas utilizadas para el Backend y Frontend. Para el Backend se utilizará el IDE de programación de Visual Studio 2019 con las siguientes herramientas ASP NET Core 5 y Entity Framework 5. Para el Frontend, se utilizará el IDE de programación de Visual Studio Code para usar las siguientes herramientas de Angular CLI. Las tareas para el presente Sprint son priorizadas acorde al proceso del sistema en base a la línea de desarrollo, se detalla en la Tabla 21.

**TABLA 21. Sprint 2 - Análisis de las herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema**

<b>[P2] Análisis de las herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
S5	2	Investigación y análisis de las herramientas del lado del backend (ASP NET Core)	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S6	2	Investigación y análisis de las herramientas del lado del Frontend (Angular CLI)	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

- **Sprint 3: Instalación de los ambientes y programas para el desarrollo del sistema.**

Se realiza la instalación y configuración de dependencias necesarias para el entorno de desarrollo, se genera la estructura de la aplicación ASP NET Core 5 juntamente con el servidor IIS EXPRESS y conexión a la base de datos SQL SERVER. Se crearán las rutas de acceso mediante API REST para ser consumidas desde el Frontend.

Para el lado del Frontend se genera la estructura de la aplicación Angular juntamente con sus respectivas librerías que ayudarán a la conexión con el API REST construido en el Backend. Se crearán cada ruta de acceso a las vistas necesarias para el sistema. Las tareas para el presente Sprint son priorizadas acorde al proceso del sistema en base a la línea de desarrollo, se detalla en la Tabla 22.

**TABLA 22. Sprint 3 - Instalación de los ambientes y programas para el desarrollo del sistema**

<b>[P3] Instalación de los ambientes y programas para el desarrollo del sistema</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
S7	3	Instalación y configuración del entorno de desarrollo para el Frontend y Backend	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S8	3	Conexión con la base de datos desde Backend	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S9	3	Configuración del servidor IIS EXPRESS	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S10	3	Creación de rutas para el acceso a las APIs del Backend	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S11	3	Creación de la conexión mediante servicios entre el Frontend y Backend	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S12	3	Creación de rutas para el acceso a las vistas del Frontend	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

- **Sprint 4: Desarrollo del backend basado en microservicios API REST y ORM.**

Se realiza la creación de las entidades que representarán cada table en la base de datos y la creación de microservicios que serán expuestos mediante API para ser consumidos por el Frontend. Las tareas para el presente Sprint son priorizadas acorde al proceso del sistema en base a la línea de desarrollo, se detalla en la Tabla 23.

**TABLA 23.** *Sprint 4 - Desarrollo del backend basado en microservicios API REST y ORM*

<b>[P4] Desarrollo del backend basado en microservicios API REST y ORM</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
<b>S13</b>	4	Creación de las entidades de acuerdo con la base de datos	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S14</b>	4	Creación de modelos que interactuaran con la base de datos	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S15</b>	4	Creación de los modelos que interactuarán con las APIs que se utilizarán para la gestión de cultivos	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S16</b>	4	Creación de servicios que encapsularán la lógica de los modelos	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S17</b>	4	Creación de controladores de objetos RESTful (POST, GET, PUT y DELETE)	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

- **Sprint 5: Módulo de seguridad del registro e inicio de sesión del sistema en el Backend.**

Se realiza la autenticación y creación de usuarios utilizando Entity Framework y LINQ para las sentencias SQL.

Las tareas para el presente Sprint son priorizadas acorde al proceso del sistema en base a la línea de desarrollo, se detalla en la Tabla 24.

**TABLA 24.** *Sprint 5 - Módulo de seguridad del registro e inicio de sesión del sistema en el Backend*

<b>[P5] Módulo de seguridades del registro e inicio de sesión del sistema en el Backend</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
<b>S18</b>	5	Creación del modelo que contendrá la lógica de autenticación y registro de usuarios	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S19</b>	5	Creación del servicio que encapsulará la lógica del modelo de usuarios	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S20</b>	5	Creación del controlador que permitirá el acceso y registro a la plataforma	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

- **Sprint 6: Desarrollo del módulo de registro e inicio sesión en el Frontend.**

Se realiza las tareas de inicialización del sistema como el control de acceso o login en base a las credenciales del usuario. Las tareas para el presente Sprint son priorizadas acorde al proceso del sistema en base a la línea de desarrollo, se detalla en la Tabla 25.

**TABLA 25.** *Sprint 6 - Desarrollo del módulo de registro e inicio sesión en el Frontend*

<b>[P6] Desarrollo del módulo de registro e inicio sesión en el Frontend</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
S21	6	Creación de la página de registro al sistema	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S22	6	Creación de la página de acceso al sistema mediante credenciales	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S23	6	Autenticación y creación de usuarios con conexión al backend	Christian Quespaz	Alta	Realizado
S24	6	Logout del sistema	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

- **Sprint 7: Módulo de consulta de NDVI por fecha de grupo y tipo de cultivo.**

La tarea de consulta de NDVI se realiza con polígonos dibujados en el mapa, esto generará una imagen espectral basada en fecha y tipo de cultivo, también mostrará un gráfico de promedios de NDVI en el campo seleccionado. Las tareas para el presente Sprint se detallan en la Tabla 26.

**TABLA 26.** *Sprint 7 - Módulo de consulta de NDVI por fecha de grupo y tipo de cultivo*

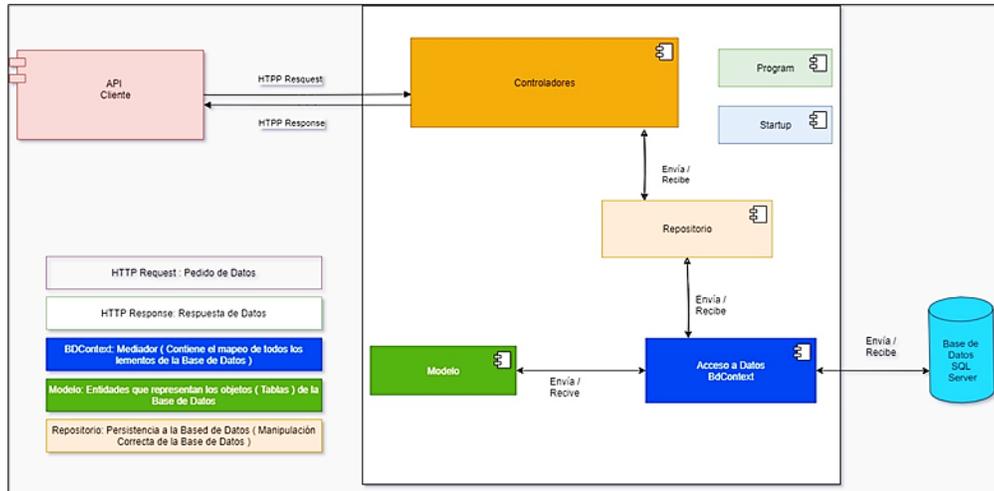
<b>[P7] Módulo de consulta de NDVIs por fecha grupo y tipo de cultivo</b>					
<b>Nro.</b>	<b>Sprint</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Estimación</b>	<b>Observación</b>
<b>S24</b>	7	Desarrollo del mapa y creación de polígonos en el mismo	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S25</b>	7	Llamado a la API que generará el polígono con sus respectivas coordenadas	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S26</b>	7	Creación de la lista de polígonos/campos generados por el usuario	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S27</b>	7	Creación de la lista de imágenes espectrales de cada polígono/campo generado por el usuario	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>S28</b>	7	Creación de la gráfica que mostrará los valores promedios de NDVIs	Christian Quespaz	Alta	Realizado
<b>Fecha inicio:</b>			<b>Fecha final:</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2. Juego

### 2.2.1. Esquema del desarrollo del sistema

Comprender la estructura de implementación del sistema es necesario para desarrollar cada sprint en la secuencia funcional del sistema. La solución se basa en la arquitectura SOA, como se muestra en la Figura 28, donde los clientes o usuarios envían solicitudes o acceden a los datos publicados por los servidores.



**Figura 28.** Esquema de la solución del sistema

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.2.2. Arquitectura de la interfaz

La Figura 29 muestra la interfaz utilizada para acceder al sistema, al mismo tiempo que enfatiza los diferentes roles necesarios.



**Figura 29.** Interfaz utilizada para acceder al sistema

*Fuente: Elaboración propia*

- **Rol Administrador del sistema:** El siguiente rol se encarga de realizar lo siguiente.
  - a) Gestión de usuarios.
  - b) Historial de búsquedas.
  - c) Consultas en general.
  - d) Visualización de las consultas.
  
- **Rol Usuario colaborador del sistema:** El siguiente rol se encarga de lo siguiente.
  - a) Creación de polígonos en el mapa.
  - b) Búsqueda de NDVIs por parámetros de fecha y coordenadas.
  - c) Lista de campos gestionados por el usuario.
  - d) Lista de imágenes NDVIs de cada campo con respectivo cultivo.
  - e) Visualización de la gráfica con valores promedio de NDVIs.

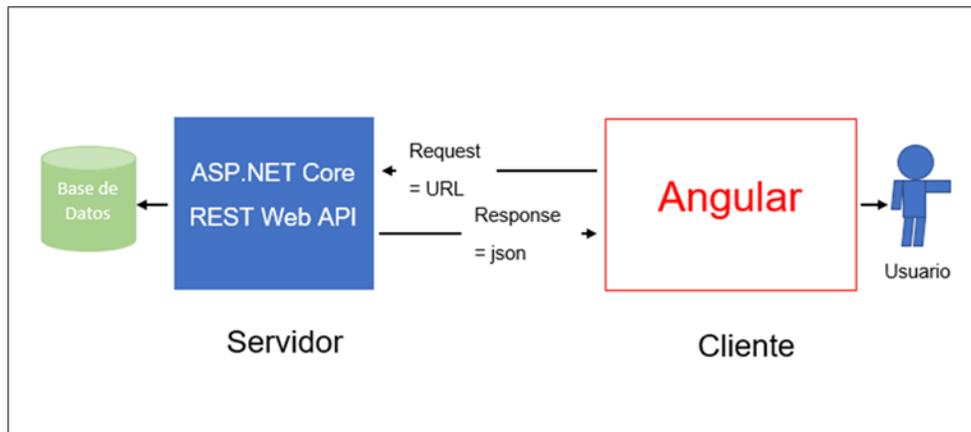
### 2.2.3. Estructura de la base de datos

Se define el modelo de base de datos del sistema Cultivos, que consta de 6 tablas que están debidamente asociadas y 2 de información para conexión al sistema.

- **Instalar y configurar herramientas para diseñar y administrar bases de datos:** Descargar el motor de la base de datos de SQL Server en el enlace <https://go.microsoft.com/fwlink/?linkid=866658>, luego ejecutar el instalador y mantener la configuración predeterminada; finalizada la instalación, descargar el administrador de SQL Server Management Studio (SSMS) en el enlace <https://go.microsoft.com/fwlink/?linkid=866658>, ejecutar el instalador, una vez que se complete la instalación, iniciar el SSMS para administrar la base de datos.
  
- **Crear y diseñar de la base de datos:** Para el análisis, diseño y construcción de bases de datos se utiliza Navicat SQL Server, una herramienta para modelos de datos a nivel físico y conceptual. El administrador se lo descarga en el siguiente enlace <https://www.navicat.com/en/download/navicat-for-sqlserver#win>. Para la instalación, se deben seguir las configuraciones predeterminadas proporcionadas por el asistente de instalación. La creación de la base de datos se diseña de acuerdo con los requerimientos del cliente, además se describe cada tabla, los atributos y tipos de datos, ver Anexo B.

## 2.2.4. Estructura de herramientas de desarrollo

- **Análisis de las herramientas para el desarrollo del Backend y Frontend:** Previo al análisis de las herramientas de desarrollo, las utilizadas son SQL Server, ASP.NET Core y Angular. La Figura 30 describe el esquema de desarrollo del sistema utilizando las herramientas.



*Figura 30. Esquema de desarrollo del sistema utilizando las herramientas*

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2.5. Desarrollo de Backend

- **Conexión a la base de datos:** Se requiere un ORM<sup>28</sup> para establecer una conexión a una base de datos de SQL Server desde Entity Framework NET Core, ver Figura 32.

```
{
  "Logging": {
    "LogLevel": {
      "Default": "Information",
      "Microsoft": "Warning",
      "Microsoft.Hosting.Lifetime": "Information"
    }
  },
  "AllowedHosts": "*",
  "ConnectionStrings": {
    "CultivosConnectionString": "Server=DESKTOP-977FATP;Database=Cultivos;User Id=sa;Password=1234"
  }
}
```

*Figura 31. Conexión a la SQL Server utilizando ORM*

*Fuente: Elaboración propia*

- **Análisis y creación de controladores de objetos:** El servidor contiene las configuraciones para las cabeceras y CORS, esto permite que las aplicaciones cliente de otros dominios usen el API Server, ver Figura 32.

<sup>28</sup> **ORM:** Mapeo objeto-relacional. Es una técnica para mapear estructuras de bases de datos relacionales utilizando lenguajes de programación orientados a objetos. [https://es.wikipedia.org/wiki/Asignaci%C3%B3n\\_objeto-relacional](https://es.wikipedia.org/wiki/Asignaci%C3%B3n_objeto-relacional)

```

/// <summary>
/// Configuración de de los servicios de la aplicación
/// </summary>
/// <param name="services">Contrato de colección de servicios</param>
0 referencias
public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
{
    services.AddCors(o => o.AddPolicy("TodosLosOrigenes", builder =>
    {
        builder.AllowAnyOrigin()
            .AllowAnyMethod()
            .AllowAnyHeader();
    }));

    services.AddControllers();
    services.AddSwaggerGen(c =>
    {
        c.SwaggerDoc("v1", new OpenApiInfo { Title = "eos_api", Version = "v1" });
    });

    services.AddDependencyDeclaration();

    ConfigDatabaseConnection(services);
}

/// <summary>
/// Configuración del proyecto
/// </summary>
0 referencias
public void Configure(IApplicationBuilder app, IWebHostEnvironment env)
{
    if (env.IsDevelopment())
    {
        app.UseDeveloperExceptionPage();
        app.UseSwagger();
        app.UseSwaggerUI(c => c.SwaggerEndpoint("/swagger/v1/swagger.json", "eos_api v1"));
    }

    app.UseCors("TodosLosOrigenes");

    app.UseRouting();

    app.UseAuthorization();

    app.UseEndpoints(endpoints =>
    {
        endpoints.MapControllers();
    });
}

```

**Figura 32.** Análisis y creación de controladores de objetos

*Fuente: Elaboración propia*

- **Crear rutas:** En cada uno de los controladores se declaran los métodos con las rutas por las que pueden acceder. Una vez configurada la conexión de BDD y la del servidor IIS EXPRESS, se ejecuta el servidor. Si las configuraciones son validadas entonces se iniciará el servidor con su respectivo Swagger<sup>29</sup>, y por ende se puede hacer uso de las APIs, ver Figura 33.

```

[ApiController]
[Route("*/controller")]
1 referencia
public class EOSController : ControllerBase
{
    private readonly IApiEOSService apiEOSService;
    0 referencias
    public EOSController(IApiEOSService apiEOSService)
    {
        this.apiEOSService = apiEOSService;
    }

    [HttpGet]
    [Route("generarConsulta")]
    0 referencias
    public IActionResult generarConsulta()
    {
        var resultado = apiEOSService.saveHistoric();
        return Ok(resultado);
    }
}

```

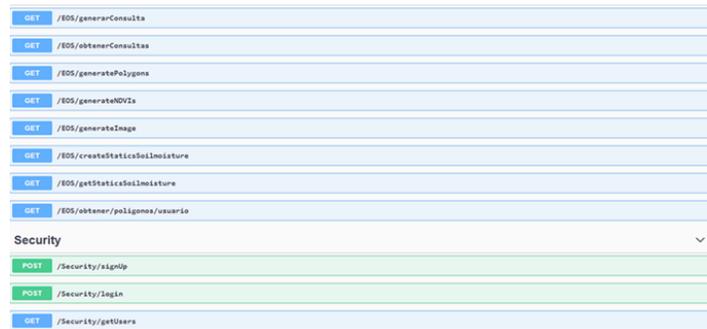
**Figura 33.** Ilustración de creación de rutas

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Análisis, desarrollo y registro de API y verificación de inicio de sesión:** De acuerdo con el desarrollo del proyecto se realizar un test a las rutas creadas, mediante la

<sup>29</sup> **Swagger:** Es un conjunto de herramientas de software de código abierto para diseñar, construir, documentar y consumir servicios web RESTful. [https://es.wikipedia.org/wiki/Swagger\\_\(software\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Swagger_(software))

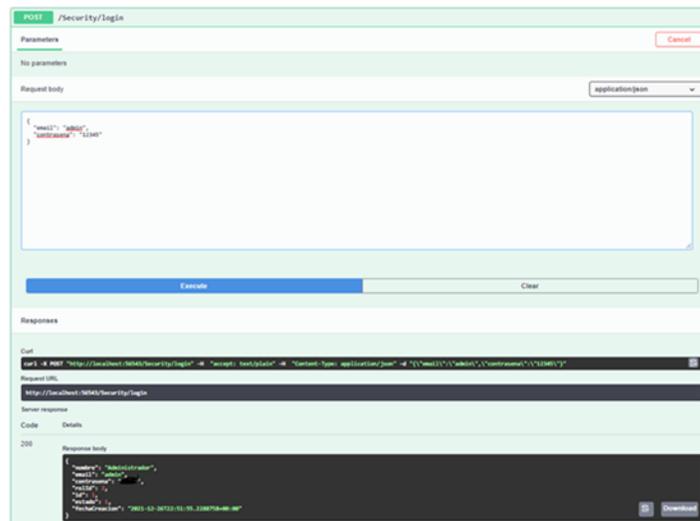
herramienta Swagger, dicha herramienta devuelve un objeto en formato JSON y se interpreta del lado Frontend, ver Figura 34.



**Figura 34.** Validación de rutas creadas mediante la herramienta Swagger

*Fuente: Elaboración propia*

- **Análisis y desarrollo de seguridad de usuarios:** Parte de la seguridad del sistema se da en el módulo de Login y genera resultados de autenticación a través de las funciones creadas, ver Figura 35.

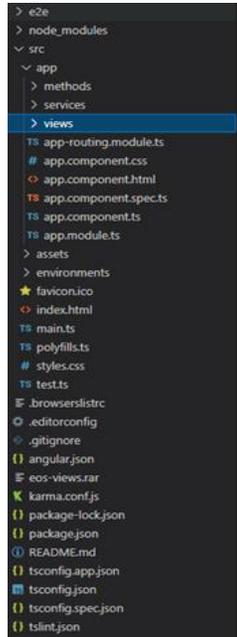


**Figura 35.** Seguridad de ingreso del usuario en el módulo Login

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2.6. Desarrollo del Frontend

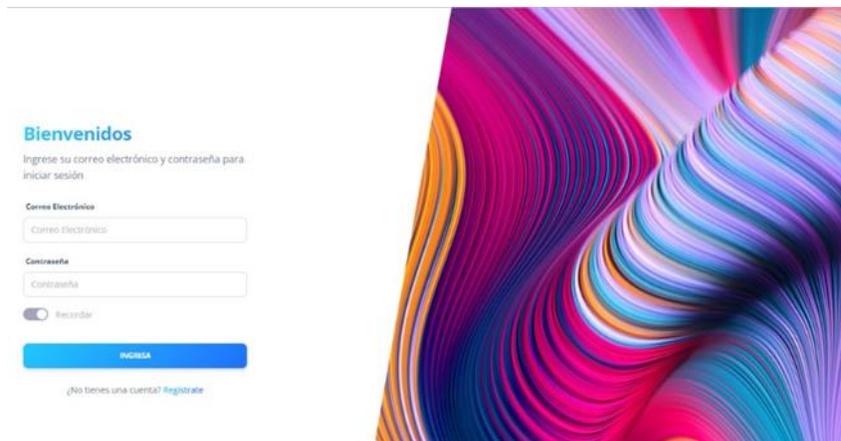
- **Instalación y configuración de herramientas:** Usando la línea de comandos cmd, en el directorio del proyecto escribir el comando `ng new [nombre del proyecto]` para inicializar el proyecto Angular. Una vez que se verifica el archivo de configuración de `package.json`, se instalan los módulos, ingresa el comando `npm install` en la línea de comandos cmd, y finalmente, inicia el servidor Frontend con el comando `ng serve`, ver Figura 36.



**Figura 36.** Ilustración de la creación del proyecto en Angular

**Fuente:** Elaboración propia

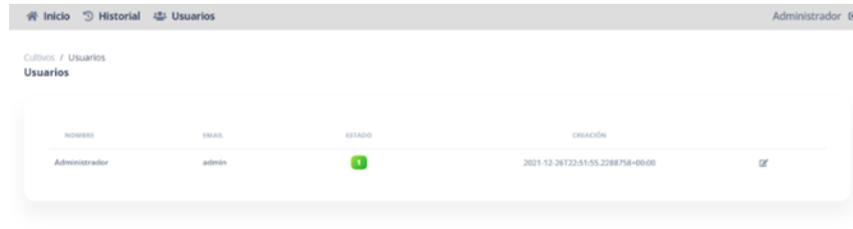
- **Módulo de seguridad de registro e inicio de sesión del sistema:** La interfaz principal está desarrollada con las validaciones necesarias, ver Figura 37.



**Figura 37.** Módulo de seguridad e inicio de sesión

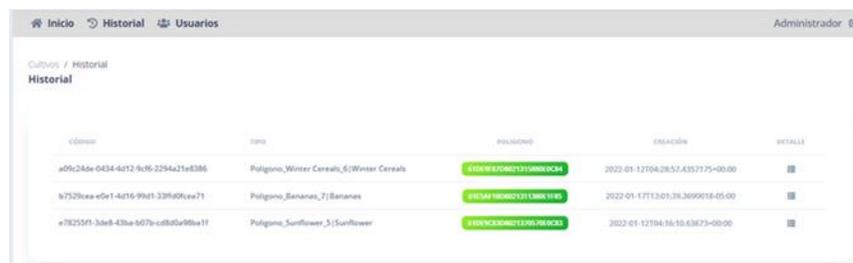
**Fuente:** Elaboración propia

- **Módulo de usuario y roles:** Módulo que permite administrar los usuarios del sistema en base a roles, listando los usuarios existentes en la plataforma, ver Figura 38.



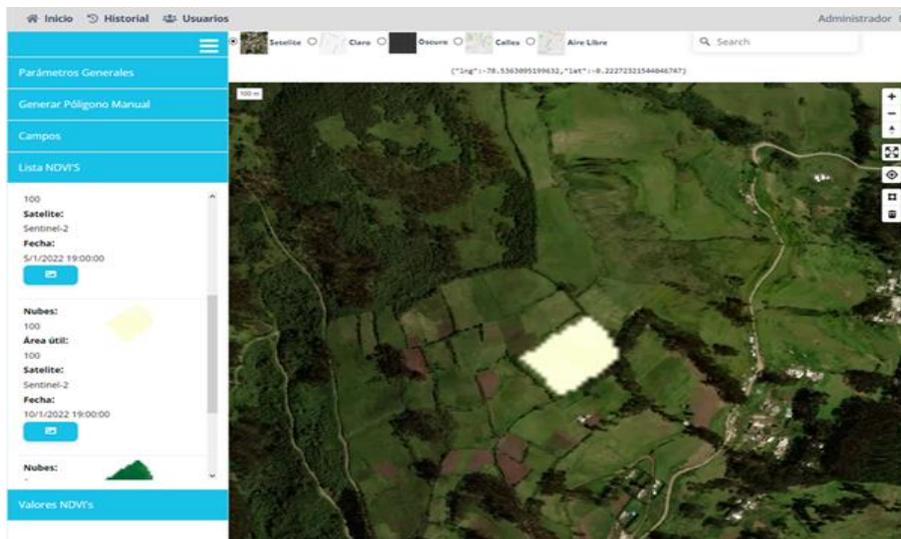
**Figura 38.** Módulo de usuario y roles  
**Fuente:** Elaboración propia

- **Modulo historial:** Este módulo permite visualizar el historial de consultas de los usuarios, así como las imágenes espectrales resultantes, ver Figura 39.



**Figura 39.** Módulo de historial de campos con su respectivo cultivo  
**Fuente:** Elaboración propia

- **Módulo de inicio:** Este módulo permite generar polígonos en el mapa y mostrar imágenes espectrales, así como un historial de consultas de campo realizadas por el usuario y una gráfica del NDVI promedio por campo, ver Figura 40.



**Figura 40.** Módulo de consulta de cultivos  
**Fuente:** Elaboración propia

## 2.3. Post-Juego

### 2.3.1. Análisis y estructuración de la base de datos

**TABLA 27.** Análisis y estructuración de la base de datos

ID	Variabes	Se espera	Se obtuvo
1	Configuración e instalación de las herramientas	Las herramientas se ajusten a las necesidades del desarrollador	Las herramientas se instalaron y configuraron de manera correcta
2	Modelamiento y diseño de la base de datos del sistema.	La base de datos debe tener un diseño correcto para que se pueda acceder a las relaciones y operaciones de forma correcta	La base de datos se implementó con relaciones y condiciones eficientes y seguras
3	Validación y normalización de la base de datos.	La base de datos debe contar con un análisis detallado que permita perfeccionar la información.	La base de datos contó con un análisis detallado de la información.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.2. Análisis y estructuración de las herramientas Backend y Frontend

**TABLA 28.** Análisis y estructuración de las herramientas Backend y Frontend

ID	Variabes	Se espera	Se obtuvo
1	Investigación y análisis las herramientas ASP NET Core 5 del lado del Backend	El desarrollador debe tener en claro el lenguaje de programación así también las ventajas y desventajas.	El desarrollador determinó los requerimientos de las herramientas a utilizarse.
2	Investigación y análisis las herramientas Angular y Angular CLI del lado Frontend.	El desarrollador debe tener el conocimiento adecuado de las herramientas y los componentes necesarios.	El desarrollador contó con el conocimiento necesario en base a la documentación del presente tema de investigación.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.3. Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Backend

**TABLA 29.** Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Backend

ID	Variabes	Se espera	Se obtuvo
1	Instalación y configuración de dependencias.	Las herramientas por utilizarse en el Backend deben estar instaladas y configuradas	Las herramientas y dependencias iniciales por utilizarse se instalaron y configuraron correctamente.
2	Análisis del entorno de desarrollo	Tener en claro la mayor parte del entorno de desarrollo y sus funcionalidades.	El desarrollador contó con el conocimiento adecuado e identificó las funcionalidades del entorno de desarrollo.
3	Conexión con la base de datos desde el servidor backend	Crear una conexión a la base de datos desde el servidor mediante una cadena de conexión segura	Se creó la conexión a la base de datos configurando un estándar de las respuestas a peticiones http.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.4. Análisis de APIs, validaciones de registro y login del Backend

**TABLA 30.** Análisis de APIs, validaciones de registro y login del Backend

ID	Variables	Se espera	Se obtuvo
1	Prueba de API's REST mediante Swagger	Analizar los objetos JSON para posteriormente testear en Swagger	Se identificó el formato y variables que conforman el objeto JSON, antes y después de realizar el test.
2	Registro y login	El registro y login en el Backend debe permitir realizar las peticiones básicas	Registro y login permite realizar un análisis a la respuesta en el Backend

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.5. Análisis y desarrollo de seguridades del usuario en el Backend

**TABLA 31.** Análisis y desarrollo de seguridades del usuario en el Backend

ID	Variables	Se espera	Se obtuvo
1	Cabeceras HTTP y acceso CORS	Desarrollar un middleware <sup>30</sup> para manejar el acceso CORS <sup>31</sup> en ASP NET Core 5 y HTTP del sistema.	El sistema utilizó la función del middleware para validar el acceso de CORS y cabeceras HTTP.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.6. Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Frontend

**TABLA 32.** Análisis de instalación y configuración de las herramientas para el Frontend

ID	Variables	Se espera	Se obtuvo
1	Instalación y configuración de dependencias.	Se deberá instalar los módulos necesarios, de igual manera la instalación de la línea de comandos	La estructura básica del directorio de archivos del sistema
2	Análisis del entorno de desarrollo	Tener en claro configuraciones del entorno de desarrollo y sus funcionalidades.	El desarrollador contó con el conocimiento adecuado e identificó las funcionalidades del entorno de desarrollo con la ayuda de la documentación del presente tema de investigación.
3	Crear módulos, componentes y servicios.	Se deberá tener un nivel considerable de conocimiento de la línea de comandos	Se utilizó la línea de comandos identificando las banderas básicas, con el comando respectivo se creó los módulos, componentes y servicios acorde a la secuencia del desarrollo del sistema
4	Bootstrap y Maquetación Web	Mostrar un interfaz agradable al usuario	Se implementó una plantilla utilizando Bootstrap y maquetación CSS

*Fuente: Elaboración propia*

<sup>30</sup> **Middleware:** Es un software que actúa como una capa de traducción oculta, lo que permite la comunicación y la gestión de datos en aplicaciones distribuidas. <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-middleware/>

<sup>31</sup> **CORS:** Intercambio de Recursos de Origen Cruzado. Es un mecanismo que utiliza encabezados HTTP adicionales para permitir que los agentes de usuario obtengan acceso a recursos seleccionados desde un servidor que reside en un dominio que no es el suyo. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/CORS>

### 2.3.7. Pruebas de módulo de seguridad del registro y login del Frontend

**TABLA 33.** Pruebas de módulo de seguridades del registro y login al sistema del Frontend

ID	Variabes	Se espera	Se obtuvo
1	Usuario incorrecto	El sistema muestra un mensaje de acceso incorrecto	El sistema mostró el mensaje de alerta correspondiente
2	Contraseña incorrecta	El sistema muestra un mensaje de acceso incorrecto	El sistema mostró el mensaje de alerta correspondiente
3	Usuario y Clave correctos	El sistema permitirá el acceso al módulo correspondiente según el rol del usuario	El sistema permitió el ingreso con su respectivo rol

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.8. Pruebas de módulo usuario y roles

**TABLA 34.** Pruebas de módulo usuario y roles

ID	Variabes	Se espera	Se obtuvo
1	Lista de usuarios	El sistema muestra una lista con los usuarios registrados	Una lista de usuario con sus respectivos atributos y datos
2	Creación de usuario	El sistema cree usuarios con sus respectivos datos y rol	Creación de usuarios y vista preliminar de los datos en la lista
3	Modificación de usuario	El sistema permitirá modificar los datos del usuario	La modificación de los datos y visualizarlos en la lista
4	Cambio de contraseña	El sistema restee la contraseña	El sistema permitió registrar una nueva contraseña

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.9. Pruebas de módulo historial

**TABLA 35.** Pruebas de módulo historial

ID	Variabes	Se espera	Se obtuvo
1	Lista de consultas	El sistema mostrará una lista de todas las consultas realizadas por los usuarios	Un listado de los campos del usuario
2	Visualización de campos	El sistema mostrará una lista con los campos consultados por los usuarios, así como cada dato correspondiente	Una lista de campos con sus respectivos datos y gráficos
3	Visualización de gráficos	El sistema mostrará un gráfico estadístico	Muestra un gráfico estadístico de acorde a la fecha de consulta del campo

Fuente: Elaboración propia

# CAPITULO 3

## Resultados

### 3.1. Análisis previos a los resultados

Para analizar los resultados, seleccionamos la finca El Esparragal en la provincia de Almería en el sur de España. Tiene unas 330 hectáreas de terreno para el cultivo de cítricos. El área tiene un clima favorable para una investigación óptima sobre las condiciones de cultivo. La Figura 41 muestra el área de estudio seleccionada para el análisis.



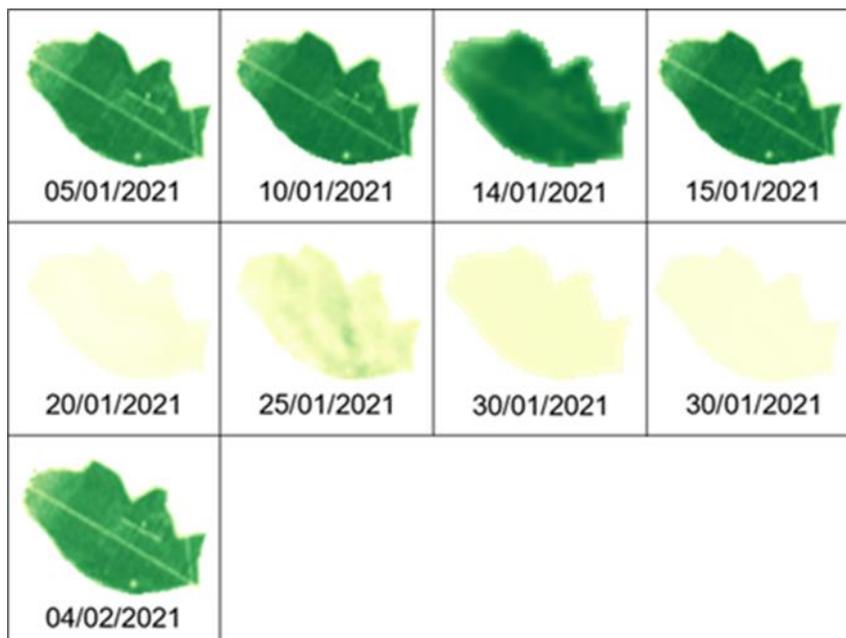
**Figura 41.** área seleccionada para realizar el análisis

*Fuente:* Elaboración propia

Los satélites Landsat 8 y Sentinel-2 capturan imágenes espectrales del cultivo, que luego son transmitidas a la estación terrestre EOS y procesadas de acuerdo con la solicitud del usuario; en este caso la información requerida está relacionada con el desarrollo de los cultivos, por lo que el índice de vegetación utilizado es el NDVI. La información obtenida es una expresión del vigor de la planta, que está relacionado con el rendimiento y la calidad del cultivo. Los resultados se analizarán en términos de porcentaje de reflectancia entre plantas sanas y enfermas que se muestran en la Figura 21. Un aspecto importante para considerar es que las expresiones varían dependiendo de la resolución del satélite utilizado, y algunas tienen errores debido a la atmósfera. A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos por cada mes de seguimiento:

### 3.1.1. Resultados primer mes (05/01/2021 – 04/02/2021)

Durante el primer mes se obtuvieron 9 expresiones de NDVI y varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 42 muestra la expresión para el primer mes.



**Figura 42.** Expresiones NDVIs del primer mes de observación

*Fuente:* Elaboración propia

La Tabla 36 muestra las características de cada expresión en el primer mes de observación.

**TABLA 36.** Características de cada expresión en el primer mes de observación

Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
1	05/01/2021	Sentinel-2	1.64	0.59
2	10/01/2021	Sentinel-2	0.35	0.58
3	14/01/2021	Landsat 8	0.44	0.56
4	15/01/2021	Sentinel-2	0.31	0.60
5	20/01/2021	Sentinel-2	100	0.01
6	25/01/2021	Sentinel-2	99.82	0.10
7	30/01/2021	Landsat 8	100	0.01
8	30/01/2021	Sentinel-2	100	0.01
9	04/02/2021	Sentinel-2	2.83	0.58

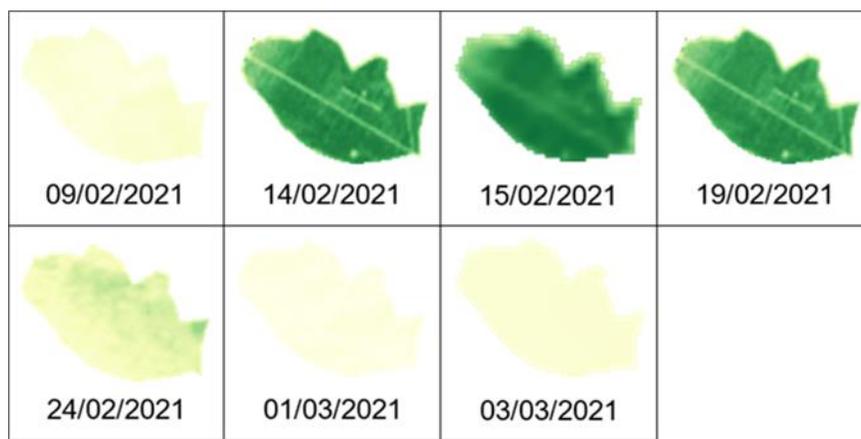
*Fuente:* Elaboración propia

Los números (5, 6, 7 y 8) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se consideran. Los números (1, 2, 3, 4 y 9) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado

para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.5 y 0.6, y estos resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.1.2. Resultados segundo mes (09/02/2021 – 03/03/2021)

Durante el segundo mes se obtuvieron 7 expresiones de NDVI varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 43 muestra la expresión para el segundo mes.



**Figura 43.** Expresiones NDVIs del segundo mes de observación

*Fuente:* Elaboración propia

La Tabla 37 muestra las características de cada expresión en el segundo mes de observación.

**TABLA 37.** Características de cada expresión en el segundo mes de observación

Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
10	09/02/2021	Sentinel-2	100	0.03
11	14/02/2021	Sentinel-2	1.15	0.52
12	15/02/2021	Landsat 8	12.02	0.56
13	19/02/2021	Sentinel-2	1.24	0.54
14	24/02/2021	Sentinel-2	100	0.13
15	01/03/2021	Sentinel-2	100	0.01
16	03/03/2021	Landsat 8	100	0.01

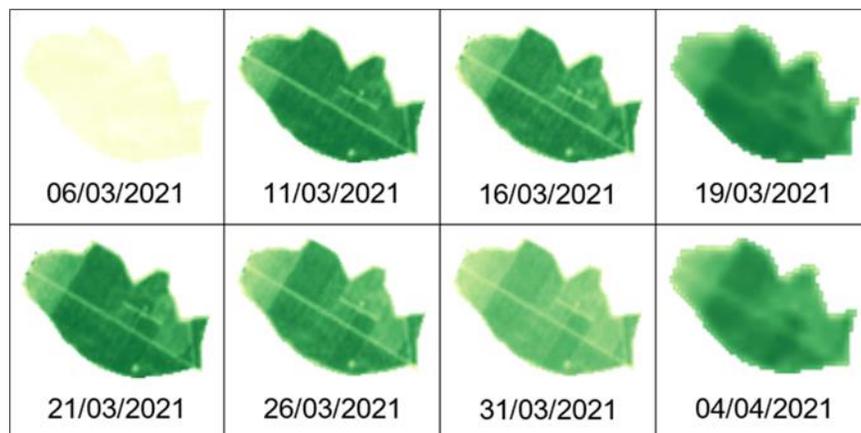
*Fuente:* Elaboración propia

Los números (10, 14, 15 y 16) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se consideran. Los números (11, 12 y 13) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.5 y 0.6, y estos

resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.1.3. Resultados tercer mes (06/03/2021 – 04/04/2021)

Durante el tercer mes se obtuvieron 8 expresiones de NDVI y varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 44 muestra la expresión para el tercer mes.



**Figura 44.** Expresiones NDVI del tercer mes de observación

*Fuente: Elaboración propia*

La Tabla 38 muestra las características de cada expresión en el tercer mes de observación.

**TABLA 38.** Características de cada expresión en el tercer mes de observación

Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
17	06/03/2021	Sentinel-2	100	0.02
18	11/03/2021	Sentinel-2	0.02	0.58
19	16/03/2021	Sentinel-2	0.53	0.57
20	19/03/2021	Landsat 8	0	0.57
21	21/03/2021	Sentinel-2	0.04	0.53
22	26/03/2021	Sentinel-2	0.71	0.58
23	31/03/2021	Sentinel-2	1.49	0.56
24	04/04/2021	Landsat 8	0	0.58

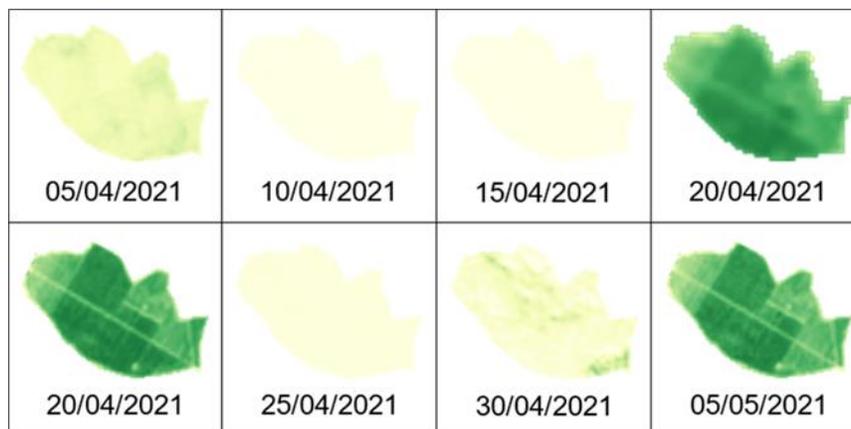
*Fuente: Elaboración propia*

El número (17) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se considera. Los números (18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.5 y 0.6, y estos

resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.1.4. Resultados cuarto mes (05/04/2021 – 05/05/2021)

Durante el cuarto mes se obtuvieron 8 expresiones de NDVI y varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 45 muestra la expresión para el cuarto mes.



**Figura 45.** Expresiones NDVIs del cuarto mes de observación

*Fuente: Elaboración propia*

La Tabla 39 muestra las características de cada expresión en el cuarto mes de observación.

**TABLA 39.** Características de cada expresión en el cuarto mes de observación

Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
25	05/04/2021	Sentinel-2	100	0.11
26	10/04/2021	Sentinel-2	100	0.10
27	15/04/2021	Sentinel-2	100	0.11
28	20/04/2021	Landsat 8	0.44	0.51
29	20/04/2021	Sentinel-2	0.44	0.50
30	25/04/2021	Sentinel-2	100	0.02
31	30/04/2021	Sentinel-2	97.09	0.05
32	05/05/2021	Sentinel-2	0.44	0.46

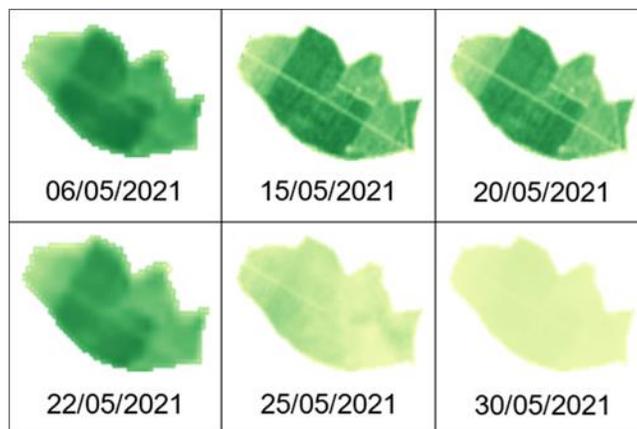
*Fuente: Elaboración propia*

El número (25, 26, 27, 30 y 31) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se considera. Los números (28, 29 y 32) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.4 y 0.6, y estos

resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.1.5. Resultados quinto mes (06/05/2021 – 30/05/2021)

Durante el quinto mes se obtuvieron 6 expresiones de NDVI, varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 46 muestra la expresión para el quinto mes.



**Figura 46.** Expresiones NDVIs del quinto mes de observación

*Fuente:* Elaboración propia

La Tabla 40 muestra las características de cada expresión en el quinto mes de observación.

**TABLA 40.** Características de cada expresión en el quinto mes de observación

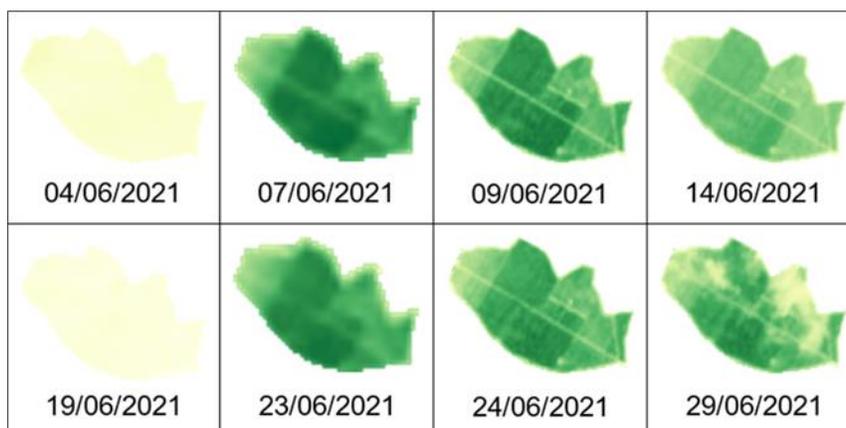
Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
33	06/05/2021	Landsat 8	0	0.51
34	15/05/2021	Sentinel-2	0.67	0.45
35	20/05/2021	Sentinel-2	1.02	0.43
36	22/05/2021	Landsat 8	0.53	0.45
37	25/05/2021	Sentinel-2	62.25	0.22
38	30/05/2021	Sentinel-2	100	0.16

*Fuente:* Elaboración propia

Los números (37 y 38) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se considera. Los números (33, 34, 35 y 36) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.4 y 0.6, y estos resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.1.6. Resultados sexto mes (04/06/2021 – 29/06/2021)

Durante el sexto mes se obtuvieron 8 expresiones de NDVI, varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 47 muestra la expresión para el sexto mes.



**Figura 47.** Expresiones NDVIs del sexto mes de observación

**Fuente:** Elaboración propia

La Tabla 41 muestra las características de cada expresión en el sexto mes de observación.

**TABLA 41.** Características de cada expresión en el sexto mes de observación

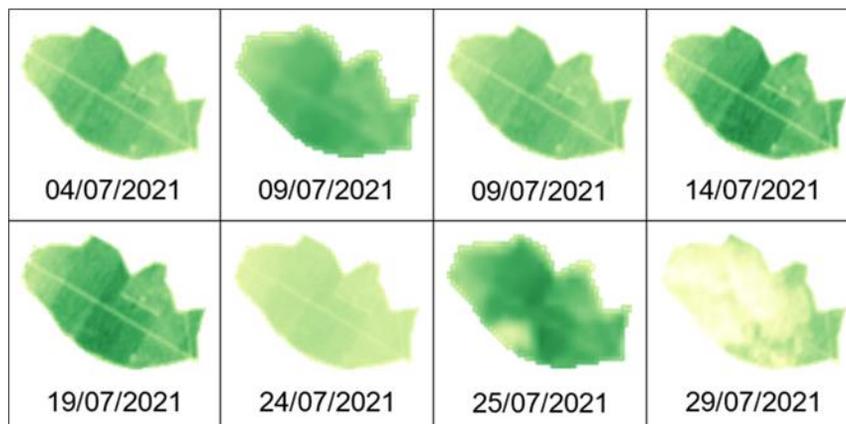
Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
39	04/06/2021	Sentinel-2	100	0.01
40	07/06/2021	Landsat 8	0.18	0.54
41	09/06/2021	Sentinel-2	0.82	0.45
42	14/06/2021	Sentinel-2	1.38	0.36
43	19/06/2021	Sentinel-2	100	0.01
44	23/06/2021	Landsat 8	0.35	0.51
45	24/06/2021	Sentinel-2	1.24	0.46
46	29/06/2021	Sentinel-2	26.23	0.39

**Fuente:** Elaboración propia

Los números (39, 43 y 46) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se considera. Los números (40, 41, 42, 44 y 45) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.4 y 0.6, y estos resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.1.7. Resultados séptimo mes (04/07/2021 – 29/07/2021)

Durante el séptimo mes se obtuvieron 8 expresiones de NDVI, varían en un rango de 5 a 6 días. Algunas expresiones exhibieron variaciones debido a la atmósfera, lo que cambió los parámetros de cobertura vegetal. La Figura 48 muestra la expresión para el séptimo mes.



**Figura 48.** Expresiones NDVIs del sexto mes de observación

**Fuente:** Elaboración propia

La Tabla 42 muestra las características de cada expresión en el sexto mes de observación.

**TABLA 42.** Características de cada expresión en el séptimo mes de observación

Nro.	Fecha	Satélite	Nubes (%)	Valor NDVI
47	04/07/2021	Sentinel-2	1.64	0.35
48	09/07/2021	Landsat 8	1.06	0.37
49	09/07/2021	Sentinel-2	2.44	0.37
50	14/07/2021	Sentinel-2	1.84	0.43
51	19/07/2021	Sentinel-2	2.69	0.43
52	24/07/2021	Sentinel-2	100	0.23
53	25/07/2021	Landsat 8	26.61	0.45
54	29/07/2021	Sentinel-2	99.47	0.10

**Fuente:** Elaboración propia

Los números (49, 51, 52, 53 y 54) tienen errores debido al alto porcentaje de nubosidad y no se considera. Los números (47, 48 y 50) representan el porcentaje mínimo de nubes adecuado para el análisis. Las expresiones apropiadas exhibieron rangos de NDVI entre 0.3 y 0.6, y estos resultados indicaron que las plantas de cultivo se encontraban en un estado moderadamente saludable.

### 3.2. Análisis de resultados

La información que se presentan a continuación son los resultados de las expresiones no válidas y expresiones válidas.

#### 3.2.1. Resultados de expresiones validas

La Tabla 37 presenta los resultados de las expresiones válidas por la presencia de nubosidad menor al 2%.

**TABLA 43.** Expresiones validas por la presencia de nubosidad menor al 2%

Nubosidad menor (2%)									
Nro.	Fecha	Satélite	Expresión NDVI		Nro.	Fecha	Satélite	Expresión NDVI	
			Valor	Imagen				Valor	Imagen
1	05/01/2021	Sentinel-2	0.59		14	20/04/2021	Sentinel-2	0.50	
2	10/01/2021	Sentinel-2	0.58		16	05/05/2021	Sentinel-2	0.46	
3	14/01/2021	Landsat 8	0.56		17	06/05/2021	Landsat 8	0.51	
4	15/01/2021	Sentinel-2	0.60		18	15/05/2021	Sentinel-2	0.45	
5	14/02/2021	Sentinel-2	0.52		19	20/05/2021	Sentinel-2	0.43	
6	19/02/2021	Sentinel-2	0.54		20	22/05/2021	Landsat 8	0.45	
7	11/03/2021	Sentinel-2	0.58		21	07/06/2021	Landsat 8	0.54	
8	16/03/2021	Sentinel-2	0.57		22	09/06/2021	Sentinel-2	0.45	
9	19/03/2021	Landsat 8	0.57		23	14/06/2021	Sentinel-2	0.36	
10	21/03/2021	Sentinel-2	0.53		24	23/06/2021	Landsat 8	0.51	
11	26/03/2021	Sentinel-2	0.58		25	24/06/2021	Sentinel-2	0.46	
12	31/03/2021	Sentinel-2	0.56		26	04/07/2021	Sentinel-2	0.35	

Continúa...

13	04/04/2021	Landsat 8	0.58		27	09/07/2021	Landsat 8	0.37	
14	20/04/2021	Landsat 8	0.51		28	14/07/2021	Sentinel-2	0.43	

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2. Resultado de expresiones no validas

La Tabla 38 presenta los resultados de las expresiones no válidas por la presencia de nubosidad mayor al 2%.

**TABLA 44.** Expresiones no validas por la presencia de nubosidad mayor al 2%

Nubosidad mayor (2%)									
Nro.	Fecha	Satélite	Expresión NDVI		Nro.	Fecha	Satélite	Expresión NDVI	
			Valor	Imagen				Valor	Imagen
1	20/01/2021	Sentinel-2	0.01		14	15/04/2021	Sentinel-2	0.11	
2	25/01/2021	Sentinel-2	0.10		15	25/04/2021	Sentinel-2	0.02	
3	30/01/2021	Landsat 8	0.01		16	30/04/2021	Sentinel-2	0.05	
4	30/01/2021	Sentinel-2	0.01		17	25/05/2021	Sentinel-2	0.22	
5	04/02/2021	Sentinel-2	0.58		18	30/05/2021	Sentinel-2	0.16	
6	09/02/2021	Sentinel-2	0.03		19	04/06/2021	Sentinel-2	0.01	
7	15/02/2021	Landsat 8	0.56		20	19/06/2021	Sentinel-2	0.01	
8	24/02/2021	Sentinel-2	0.13		21	29/06/2021	Sentinel-2	0.39	
9	01/03/2021	Sentinel-2	0.01		22	09/07/2021	Sentinel-2	0.37	
10	03/03/2021	Landsat 8	0.01		23	19/07/2021	Sentinel-2	0.43	

Continúa...

11	06/03/2021	Sentinel-2	0.02		24	24/07/2021	Sentinel-2	0.23	
12	05/04/2021	Sentinel-2	0.11		25	25/07/2021	Landsat 8	0.45	
13	10/04/2021	Sentinel-2	0.10		26	29/07/2021	Sentinel-2	0.10	

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Comparación de expresiones validas y no validas

Los resultados que se presentan a continuación son una comparación de expresiones no válidas debido a la presencia de nubosidad superior al 2% y expresiones válidas con un porcentaje de nubes inferior al 2%. La Tabla 39 detalla los resultados de expresiones validas y no validas.

**TABLA 45.** Resultados de expresiones validas y no validas

Fecha	Satélite	Expresiones validas		Expresiones no validas	
		Sensor	Cantidad	(%)	Cantidad
Del 05/01/2021 al 29/07/2021	Landsat 8	9	16.66	4	7.14
	Sentinel-2	19	35.19	22	40.74

Fuente: Elaboración propia

La Figura 49 presenta la gráfica de valor NDVI en relación con el tiempo de estudio. Los puntos más bajos son los valores NDVI menor que 0.3 por la presencia de nubosidad mayor al 3% y no son válidos, mientras que los puntos altos, superior a 0.3 son valores NDVI aceptados con un porcentaje menor al 2% de nubosidad.



**Figura 49.** Grafica de los valores NDVI valido y no validos

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- ❖ La agricultura de precisión ayuda a mejorar la calidad y cantidad del cultivo, de modo que se puedan plantar y vender productos agrícolas adecuados, mejorando la rentabilidad. Permite que los agricultores implementen soluciones técnicas a los problemas diarios y proporciona métodos agrícolas económicamente viables y respetuosos con el medio ambiente.
- ❖ Como resultado de la investigación de las técnicas de la agricultura de precisión, la que se utiliza en este proyecto es la teledetección. Esta técnica me permite observar, analizar e interpretar las características fisicoquímicas de la superficie en este caso de la cobertura vegetal, que es el objetivo principal de este proyecto.
- ❖ La detección de las imágenes satelitales depende de muchos factores, los más importantes están relacionados con los elementos presentes en la atmósfera y la resolución del satélite. El porcentaje de nubes afecta la precisión del análisis, las nubes no permiten visualizar la cobertura vegetal por ende el resultado va a ser erróneo, así mismo la resolución del satélite, a mayor resolución mejor la visualización de los resultados.
- ❖ En este proyecto se desarrolló una aplicación web que utiliza imágenes multiespectrales, y su aplicación ha demostrado ser eficiente en muchas regiones que tienen un clima favorable para una investigación óptima sobre las condiciones de cultivo. Un estudio en regiones con mucha humedad presenta resultados erróneos por lo tanto minimiza la precisión del análisis.
- ❖ Los resultados obtenidos son expresiones del vigor de las plantas representados con una imagen y un valor NDVI que permite al agricultor visualizar fácilmente áreas dentro del campo donde existen plantas sanas y enfermas, pero no indica las causas de estas, el agricultor deberá realizar un muestreo para buscar las causas e implementar soluciones.
- ❖ Angular permite el desarrollo de aplicaciones más confiables y eficientes. Permite un procesamiento de sintaxis repetitiva y expresiva para crear código complejo, además funciona con otras herramientas para facilitar el diseño y desarrollo de software.
- ❖ El uso de la metodología SCRUM facilita la organización con respecto al desarrollo de la aplicación web, permitiendo una participación constante en todo el proceso de trabajo.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Para mejorar el estudio del cultivo se recomienda implementar más técnicas de AP como el monitoreo de rendimiento que provee a los agricultores información más detallada del vigor de la planta ayudándoles a tomar decisiones estratégicas para mejorar el manejo del campo.
- ❖ Para minimiza errores por causa de la atmosfera se recomienda realizar una investigación más profunda sobre los satélites activos ya que su función principal es emitir energía artificial que luego es reflejada por la tierra sin que esta sea afectada por la atmosfera, permitiendo tener resultados más eficientes.
- ❖ El NDVI utilizado para el estudio permite tener una expresión del vigor de la planta que está relacionado con el rendimiento y la calidad del cultivo, pero es sensible a efectos atmosféricos y del suelo. Se recomienda utilizar otros índices más precisos para mejorar y complementar el análisis NDVI.
- ❖ Es recomendable utilizar la documentación presentada en el sitio web oficial de Angular, la información presentada es de gran utilidad para comprender el funcionamiento, diseño y actualizaciones del Framework.
- ❖ Para el desarrollo de aplicaciones, se recomienda Angular, ya que es una solución completa que incluye casi todo lo que se podría necesitar para crear una aplicación del lado del cliente en JavaScript. Esto incluye la generación de vistas, el enrutamiento, la organización de componentes en módulos y la comunicación con servidores.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Kader, S. M., & El-Basioni, B. M. M. (2021). *Precision Agriculture Technologies for Food Security and Sustainability* (S. M. Abd El-Kader & B. M. Mohammad El-Basioni (eds.)). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5000-7>
- Agroecología Tornos. (2018). *Agricultura de precisión, la revolución silenciosa*. <https://www.agroecologiatornos.com>
- ALAVA. (2018). *¿Qué diferencia una imagen multiespectral de una hiperespectral?* 3. [www.alavaingenieros.com](http://www.alavaingenieros.com)
- Alnoukari, M. (2011). Business Intelligence and Agile Methodologies for Knowledge-Based Organizations: Cross-Disciplinary Applications. *CEPIS Digital Journal UPGRADE*, XII(3), 56–59. [https://play.google.com/books/reader?id=fArG4ZgjyUC&pg=GBS.PA23&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=fArG4ZgjyUC&pg=GBS.PA23&hl=es_419)
- Andreu, A., Carpintero, E., & González, M. (2021). Teledetección para la Agricultura. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA)*, 1–41. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj1YqVg9LwAhUxElkFHYQzALoQFjAEegQIExAD&url=https%253A%252F%252Fwww.juntadeandalucia.es%252Fagriculturaypesca%252Fifapa%252Fservifapa%252Fregistro-servifapa%252Fbdac6055-21a9-4dd7-8c>
- Ángel Arias. (2015). *Aprende a Programar ASP .NET y C#: 2ª Edición - Ángel Arias - Google Libros*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9WnjCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=c%23++lenguaje+de+programacion&ots=khBaZaNke7&sig=pgl35LrxGReslrSuDmOf8vK0G5M#v=onepage&q=c%23+lenguaje+de+programacion&f=false>
- Awange, J. (2018). GNSS Environmental Sensing: Revolutionizing Environmental Monitoring. *Environmental Science and Engineering (Subseries: Environmental Science)*, 9783319584171, 462. [https://play.google.com/books/reader?id=KBo0DwAAQBAJ&hl=es\\_419&pg=GBS.PR8](https://play.google.com/books/reader?id=KBo0DwAAQBAJ&hl=es_419&pg=GBS.PR8)
- Azaustre, C. (2016). Aprendiendo JavaScript Desde cero hasta ECMAScript 6. *Aprendiendo JavaScript: Desde Cero Hasta ECMAScript 6*, 9–10. [https://play.google.com/books/reader?id=cnjhCwAAQBAJ&pg=GBS.PA10&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=cnjhCwAAQBAJ&pg=GBS.PA10&hl=es_419)
- Beck, A. (2014). *The differences in spectral resolution and its impact on detection*.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Arbeck?uselang=es>

- Bongiovanni, R., Mantovani, E. C., & Best, S. (2010). AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. In *AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. [www.iica.int](http://www.iica.int).
- Cede, R., Cabrera, E., Vargas, D. M., Galindo, G., García, M. C., Ordoñez, M. F., & Alonso, F. (2011). Fundamentos de la teledetección. *Introducción a La Percepción Remota y Sus Aplicaciones Geológicas*, 4, 181–218. [http://www.um.es/geograf/sigmur/%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo\\_para\\_la\\_cuantificacion\\_Deforestacion\\_Nivel\\_Nacional.pdf](http://www.um.es/geograf/sigmur/%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo_para_la_cuantificacion_Deforestacion_Nivel_Nacional.pdf)
- Cervantes, H., & Kazman, R. (2016). *Designing Software Architecture: A Practical Approach*. [https://books.google.pt/books?id=G30JDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Software+Architecture+in+Practice+third+edition&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjLkqz3ieLIAhV85-AKHWLEBoMQ6AEIRjAD#v=onepage&q=Software Architecture in Practice third edition&f=false](https://books.google.pt/books?id=G30JDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Software+Architecture+in+Practice+third+edition&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjLkqz3ieLIAhV85-AKHWLEBoMQ6AEIRjAD#v=onepage&q=Software%20Architecture%20in%20Practice%20third%20edition&f=false)
- Chartuni, E., & Magdalena, C. (2014). Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. *Procisur*, 12–20. <http://www.iica.int>
- Chawla, H., & Kathuria, H. (2019). Building Microservices Applications on Microsoft Azure: Designing, Developing, Deploying and Monitoring. In *Building Microservices Applications on Microsoft Azure*. [https://play.google.com/books/reader?id=bEGjDwAAQBAJ&pg=GBS.PA2.w.3.0.7.0.5\\_107&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=bEGjDwAAQBAJ&pg=GBS.PA2.w.3.0.7.0.5_107&hl=es_419)
- CropOM. (2019). *Cómo la agricultura de precisión está revolucionando el sector agrícola*. <https://cropom.com/articles/how-precision-agriculture-is-revolutionizing-the-agricultural-sector>
- Cuesta, N., & López, M. (2020). *Agricultura de Precisión, El futuro ya llegó*. Agroecuador.Org. <http://www.agroecuador.org/index.php/blog-noticias/item/435-agricultura-de-precision-el-futuro-ya-llego>
- Daniel Jacobson, Greg Brail, D. W. (2012). *APIs: A Strategy Guide: Creating Channels with Application Programming Interfaces*. [https://play.google.com/books/reader?id=om5tNwKW4xkC&pg=GBS.PA4.w.2.0.0\\_199&hl=](https://play.google.com/books/reader?id=om5tNwKW4xkC&pg=GBS.PA4.w.2.0.0_199&hl=)

es\_419

- Díaz, C. (2020). *Qué es .NET Core*. OpenWebinars. <https://openwebinars.net/blog/que-es-net-core/>
- edX. (2019). *Curso | ODS101x | edX*. <https://courses.edx.org/courses/course-v1:UPValenciaX+ODS101x+1T2018/course/>
- EOS. (2020a). *Agricultura De Precisión: De La Teoría A La Práctica*. Earth Observing System. <https://eos.com/es/blog/agricultura-de-precision/>
- EOS. (2020b). *API | EOS Documentation*. Earth Observing System. <https://doc.eos.com/api/#authorization-api>
- EOS. (2020c). *Tipos De Cultivos Agrícolas: Elegir Bien Maximiza El Beneficio*. Earth Observing System. <https://eos.com/es/blog/tipos-de-cultivos-agricolas/>
- EOS. (2021a). *Landsat 8: imágenes satelitales, descripción general y características*. Earth Observing System. <https://eos.com/find-satellite/landsat-8/>
- EOS. (2021b). *Refinado Pancromático En Imágenes De Observación Remota*. Earth Observing System. <https://eos.com/es/make-an-analysis/natural-color-pansharpen/>
- Espinoza, M. M., Isaías, R., Andrade, M., & Rojas, J. A. (2017). Tecnologías de la información y comunicación en la agricultura Information and communication technologies in agriculture. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1), 105–116. <http://45.238.216.13/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/516>
- Esri. (2019). What is GIS? | Geographic Information System Mapping Technology. In *Esriuk.Com* (p. What is GIS). [https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview#:~:text=A geographic information system \(GIS,using maps and 3D scenes.%0Ahttps://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview%0Ahttps://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview%0Ahttps://www.esriuk.com/en-gb/what-](https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview#:~:text=A geographic information system (GIS,using maps and 3D scenes.%0Ahttps://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview%0Ahttps://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview%0Ahttps://www.esriuk.com/en-gb/what-)
- Fayech, D., & Tarhouni, J. (2020). Climate variability and its effect on normalized difference vegetation index (NDVI) using remote sensing in semi-arid area. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00896-6>
- Feng, D., Xu, W., He, Z., Zhao, W., & Yang, M. (2019). Advances in plant nutrition diagnosis based on remote sensing and computer application. *Neural Computing and Applications*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3932-0>

- Franzpc. (2019). *Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat | El blog de franz.* 1–5. <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-y-landsat/>
- García, E., & Flego, F. (2001). Agricultura de precisión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3), 7–10.
- Georgi, C., Spengler, D., Itzerott, S., & Kleinschmit, B. (2018). Automatic delineation algorithm for site-specific management zones based on satellite remote sensing data. *Precision Agriculture*, 19(4), 684–707. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9549-y>
- Ken Schwaber & Jeff Suther. (2020). *Scrum Guide | Scrum Guides.* <https://scrumguides.org/scrum-guide.html#scrum-definition>
- Kpienbaareh, D., Kansanga, M., & Luginaah, I. (2019). Examining the potential of open source remote sensing for building effective decision support systems for precision agriculture in resource-poor settings. *GeoJournal*, 84(6), 1481–1497. <https://doi.org/10.1007/s10708-018-9932-x>
- Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario. (2016). *Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario.* [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- López, C. (2019). *Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental.* 50. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20684.44161>
- López Gil, A. (2018). *Estudio comparativo de metodologías tradicionales y ágiles para proyectos de Desarrollo de Software.* 139. <https://agileexperience.es/wp-content/uploads/2020/06/TFG-I-1015.pdf%0Ahttp://uvadoc.uva.es/handle/10324/32875>
- Massé, M. (2012). *REST API Design Rulebook: Designing Consistent RESTful Web Service Interfaces* - Mark Masse - Google Books. [https://play.google.com/books/reader?id=eABpzyTcJNIC&pg=GBS.PA6.w.9.0.49\\_33&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=eABpzyTcJNIC&pg=GBS.PA6.w.9.0.49_33&hl=es_419)
- Mendez, M. B. A. M. A. (2000). *Tecnología de aplicación variable de insumos (vrt).* 1–7.
- Menzinsky, A., Gertrudis López, J. P., Iubaris, López, G., & Palacio, J. (2016). *Scrum Manager.*
- Microsoft Docs. (2020). *Documentación de Entity Framework.* <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/>
- Molina, B., Vite, H., & Dávila, J. (2018). Metodologías ágiles frente a las tradicionales en el proceso de desarrollo de software. *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación,*

2(17), 114–121. <http://revistaespirales.com/index.php/es/article/view/269/225>

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (2019). *Modelo original de Scrum para desarrollo de software - Scrum Manager* BoK.

[https://www.scrummanager.net/bok/index.php?title=Modelo\\_original\\_de\\_Scrum\\_para\\_desarrollo\\_de\\_software](https://www.scrummanager.net/bok/index.php?title=Modelo_original_de_Scrum_para_desarrollo_de_software)

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.

Pandey, J., & Pathak, D. (2014). *Geographic information system*.

Pérez, C., & Solar, P. (2017). *PHP microservices : transit from monolithic architectures to highly available, scalable, and fault-tolerant microservices*.

PNUD. (2019). *Objetivos de Desarrollo Sostenible, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.

<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#industria-innovacion-e-infraestructura>

Porra, J. (2021). *Primeros pasos scrum*. SynApptica. <https://synapptica.net/metodologia-scrum.html>

Preez, O. J. Du. (2019). *Visual Studio 2019 in Depth : Discover and Make Use of the Powerful Features of the Visual Studio 2019 IDE to Develop Better and Faster Mobile, Web, and Desktop Applications*.

Puciarelli, L. (2020a). *Angular: TypeScript – Arquitectura – Instalación – Directivas y Bindings – Forms – Ruteo y más*.

[https://play.google.com/books/reader?id=6aHTDwAAQBAJ&pg=GBS.PA7&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=6aHTDwAAQBAJ&pg=GBS.PA7&hl=es_419)

Puciarelli, L. (2020b). *Node JS - Vol. 1: Instalación - Arquitectura - node y npm - Luciano Puciarelli - Google Libros*.

[https://play.google.com/books/reader?id=GOfqDwAAQBAJ&pg=GBS.PT7&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=GOfqDwAAQBAJ&pg=GBS.PT7&hl=es_419)

Ramos, D. A. (2020). *Los 6 Índices de Vegetación para completar el NDVI*. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>

RedHat. (2019). *¿Qué es una API de REST?* In *RedHat*. <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-is-a-rest-api>

Sakal, A. (2019). *Las barreras de entrada*. Wise AGROTECNOLOGÍA. <https://wiseagrotecnologia.com/blog-es/234-las-barreras-de-entrada-a-la-agricultura-de->

precision

- Salamah, Gusti, U. (2021). *Tutorial Visual Studio Code*.  
[https://play.google.com/books/reader?id=LHomEAAAQBAJ&pg=GBS.PP1&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=LHomEAAAQBAJ&pg=GBS.PP1&hl=es_419)
- Santander Universidades. (2020). *Metodologías de desarrollo software | Blog Becas Santander*.  
Santander-Becas. <https://www.becas-santander.com/es/blog/metodologias-desarrollo-software.html>
- Schroeder, P., & Cure, A. (2021). *Visual studio 2019 Tricks and Techniques: A developer's guide to writing better code and maximizing productivity*.
- Scrum.org. (2020). ¿Qué es Scrum? *Scrum.Org*, 3–5. <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>
- Seth, A., & Seth, K. (2020). *Understanding Service-Oriented Architecture: Designing Adaptive Business Model for SMEs*.  
[https://play.google.com/books/reader?id=muPJDwAAQBAJ&pg=GBS.PP15.w.2.0.53.0.1\\_291&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=muPJDwAAQBAJ&pg=GBS.PP15.w.2.0.53.0.1_291&hl=es_419)
- Tekinerdoğan, B., & Akşit, M. (2002). Classifying and Evaluating Architecture Design Methods. *Software Architectures and Component Technology*, 3–27. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0883-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0883-0_1)
- Teunissen, P. J. G., & Montenbruck, O. (2017). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. In P. J. G. Teunissen & O. Montenbruck (Eds.), *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1>
- Ulaby, F. (2018). Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land, and Cryosphere Applications [Book Review]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 6(4), 109–110. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2018.2873040>
- Varga, S., Cherry, D., & D'Antoni, J. (2016). *Introducing Microsoft SQL Server 2016 - Mission-Critical Applications, Deeper Insights, Hyperscale Cloud*.  
[https://play.google.com/books/reader?id=su5sDAAAQBAJ&pg=GBS.PT12&hl=es\\_419](https://play.google.com/books/reader?id=su5sDAAAQBAJ&pg=GBS.PT12&hl=es_419)
- Wallace, L. (2017). Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach 2e. *Journal of Spatial Information Science*, 14. <https://doi.org/10.5311/josis.2017.14.359>
- Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J. (2014). *The use of the*

*Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations.*  
[https://play.google.com/books/reader?id=IPnpCgAAQBAJ&hl=es\\_419&pg=GBS.PA10.w.1.0.178.0.1](https://play.google.com/books/reader?id=IPnpCgAAQBAJ&hl=es_419&pg=GBS.PA10.w.1.0.178.0.1)

Zhou, J., Khot, L. R., Boydston, R. A., Miklas, P. N., & Porter, L. (2018). Low altitude remote sensing technologies for crop stress monitoring: a case study on spatial and temporal monitoring of irrigated pinto bean. *Precision Agriculture*, 19(3), 555–569.  
<https://doi.org/10.1007/s11119-017-9539-0>

# ANEXOS

## Anexo A: Código fuente de la aplicación web

[https://github.com/chrisalex18/crop\\_monitoring.git](https://github.com/chrisalex18/crop_monitoring.git)

## Anexo B: Diseño y descripción de tablas generadas para el desarrollo del sistema

