



**Decanato de Ingeniería en Informática
Escuela de Informática**

**Modelo de sistema gestión para cultivo de precisión de raíces y
tubérculos con sistemas GIS en el valle de Constanza, República
Dominicana, 2018**

Sustentantes

Eliezer Herrera	2009-1027
Gabriel Lugo	2010-1096
Edward González	2013-2487

Asesor

Prof. Santo Rafael Navarro

**Monografía para optar por el título de
Ingeniería en Sistemas de Información e Ingeniería de Software**

Distrito Nacional, República Dominicana

2018



**Decanato de Ingeniería en Informática
Escuela de Informática**

**Modelo de sistema gestión para cultivo de precisión de raíces y
tubérculos con sistemas GIS en el valle de Constanza, República
Dominicana, 2018**

Sustentantes

Eliezer Herrera	2009-1027
Gabriel Lugo	2010-1096
Edward González	2013-2487

Asesor

Prof. Santo Rafael Navarro

**Monografía para optar por el título de
Ingeniería en Sistemas de Información e Ingeniería de Software**

Distrito Nacional, República Dominicana

2018

Los datos expuestos en esta investigación es
responsabilidad del autor

**Modelo de sistema gestión para cultivo de
precisión de raíces y tubérculos con sistemas GIS
en el valle de Constanza, República Dominicana,
2018**

ÍNDICE

RESUMEN.....	v
PALABRAS CLAVE	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	x
INTRODUCCIÓN....	xiii
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES	2
1.1 Cultivo de Precisión.....	2
1.1.1 Origen y evolución.....	2
1.1.2 Etapas del cultivo de precisión	4
1.1.3 Beneficios fundamentales de la Cultivo de precisión	6
1.2 Sistemas de información geográfica (SIG) para cultivo de precisión	8
1.2.1 Sistemas de información geográfica.....	8
1.2.2 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica.....	9
1.2.3 Componentes de un Sistemas de Información Geográfica.	11
1.3 Diagnóstico y situación actual en la agricultura de raíces y tubérculos en el valle de Constanza	12
1.3.1 Tendencias en la agricultura de raíces y tubérculos en el valle de Constanza	14
1.3.2 Uso de sistemas de información geográfica en el valle de Constanza	16
CAPÍTULO 2. VALORES Y METRÍCAS DE CONSULTA PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN....	18
2.1 Cartas de suelo y delimitado espacio de cultivo	18
2.2 Factores ambientales en cultivo de precisión	18
2.2.1 Requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos de raíces y tubérculos.....	21
2.2.2 Condiciones de suelo	22
2.2.3 Sistemas de información geográficos para mapeo y seguimiento de suelos.....	23
CAPÍTULO 3. ALCANCE, ARQUITECTURA Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PROPUESTO.....	26
3.1 Alcance del sistema.....	26
3.1.1 Descripción del objeto de automatización.....	26

3.1.2	Requisitos funcionales.....	28
3.1.3	Casos de uso de la aplicación	29
3.2	API (Interfaz de programación de aplicación)	31
3.2.1	API Abierta (pública)	31
3.2.2	API Privada	31
3.3	Aplicación Móvil.....	32
3.3.1	Historia.....	33
3.3.2	Tipos de aplicaciones móviles	34
3.4	Modelos de datos geográficos y bases de datos de la aplicación.....	37
3.4.1	Bases de datos relacionales.....	37
3.4.2	Estructura de datos para datos geográficos	37
3.5	Arquitectura del software	38
3.5.1	Arquitectura multicapas	39
3.5.2	Arquitectura Multinivel	39
3.6	Transporte y representación de datos del sistema	41
3.6.1	HTTP como protocolo de comunicación	41
3.6.2	Servicios REST	41
3.6.3	Consulta a Sistemas de Información Geográfica.	42
CONCLUSIONES.....		xvi
REFERENCIAS DE INFORMACIONES		xviii
ANEXOS.....		xxii
	Mapa conceptual.....	xxii
	Diagrama de datos preliminar	xxiii
	Propuesta financiera	xxiv

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ETAPAS PARA LA APLICACIÓN DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN (ADAPTADO DE USDA, 1998)	5
TABLA 2. REQUERIMIENTOS DE TEMPERATURA EN EL CULTIVO DE PAPA DE ACUERDO A SU ETAPA DE DESARROLLO.....	16
TABLA 3. RANGO DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA MEDIAS.	21
TABLA 4. TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO CONSTANZA.	22
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	24
TABLA 6. CASO DE USO: CAPTURAR DELIMITACIÓN DE ZONA GEOGRÁFICA.....	29
TABLA 7. CASO DE USO: REGISTRAR POSICIÓN DE MUESTRAS.....	29
TABLA 8. CASO DE USO: GESTIONAR INFORMACIÓN EDAFOLÓGICA.	30
TABLA 9. CASO DE USO: CONSULTAR DATOS METEOROLÓGICOS DE ZONA GEOGRÁFICA DELIMITAD.	30
TABLA 10. CASO DE USO: GESTIONAR CULTIVOS.....	30
TABLA 11. CASO DE USO: GESTIONAR REGISTRO DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS.	31
TABLA 12. APP NATIVA VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	35
TABLA 13. WEB APP VENTAJAS E INCONVENIENTES	36
TABLA 14. WEB APP NATIVA VENTAJAS E INCONVENIENTES.	36
TABLA 15. ENDPOINT	44
TABLA 16. ENCABEZADO.....	45
TABLA 17. INFORMACIÓN DE PAGINACIÓN	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. COMPONENTES DE LOS SIG	11
ILUSTRACIÓN 2. EXTENSA PLANTACIÓN DE PAPAS, VALLE DE CONSTANZA.....	15
ILUSTRACIÓN 3. METODOLOGÍA DE DELIMITADO DEL SUELO.....	18
ILUSTRACIÓN 4. POLÍGONO GEOGRÁFICO.....	38
ILUSTRACIÓN 5. ARQUITECTURA MULTINIVEL	40
ILUSTRACIÓN 6. TRIANGULO DE LAS BERMUDAS.	42
ILUSTRACIÓN 7. ARCGIS API.....	47
ILUSTRACIÓN 8. ESQUEMA INICIAL BÁSICO DE BASE DE DATOS DEL SISTEMA	XXIII

RESUMEN

El presente trabajo describe el modelado de un sistema de información geográfico para apoyar el cultivo de raíces y tubérculos en el valle de Constanza.

Este sistema consume interfaces de programación de aplicaciones (APIs) de sistemas de información geográficos abiertos, como ESRI o Google Maps para brindar información climática y de terreno, como humedad en las diferentes estaciones del año, radiación solar, temperaturas, entre otros indicadores que pueden servir a la hora de cultivar en una zona geográfica determinada del valle.

La función del sistema será la de brindar datos para toma de decisión a la hora de cultivar, y evitar la improvisación de siembra sobre el terreno, evitar pérdidas por interrupción o pérdida del cultivo, arrojar datos para la prevención temprana.

.

PALABRAS CLAVE

- **SIG:** Sistema de información Geográfica; conjuntos de herramientas que integra diferentes tipos de componentes, que permiten el almacenamiento, análisis, manipulación, modelización y organización de grandes cantidades de datos que están vinculados a una referencia espacial. (*Glosario para el análisis geoespacial, 2006*)
- **API:** Es un conjunto de funciones, métodos y/o procedimientos que cumplen una o varias funciones, con el fin de ser utilizadas por otro software. (*Glosario para el Análisis Geoespacial, 2006*)
- **Base de datos:** Es un banco de datos que pertenecen a un mismo esquema, que son almacenados sistemáticamente para un uso posterior. ("Definición ABC", 2017)
- **Computación en la nube:** es un paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, normalmente Internet. (*Hernandez Quintero & Florez Fuente, 2014*)
- **Sistema de información:** Es un conjunto de elementos que se orientan a la administración y tratamiento de datos e información, de manera organizada y listos para un uso posterior.
- **Sensores:** Es un dispositivo o un subsistema o módulo cuyo propósito es detectar eventos o cambios en su entorno y enviar dicha información a otros dispositivos, como una computadora. (Mendez, K, (2012))
- **Servidor:** Es un dispositivo que permite atender las peticiones de un cliente y devolver una respuesta en sintonía. (Areatecnologia, 2007)

AGRADECIMIENTO

Unas de las cualidades más valiosas del ser humano es ser agradecido, citando al filósofo Lao-tse: “El agradecimiento es la memoria del corazón”, y por tal razón este es espontáneo y sincero.

Por tanto, le agradezco **a Dios**, por haberme permitido terminar esta etapa de mi trayecto educativo, porque en cada nuevo día me daba la energía, la disposición de continuar.

A mi Familia, en especial le agradezco **a mi padre**, por haber puesto todo su esfuerzo y dedicación para mostrarme el camino a seguir. A mi amada y adorada **madre**, por siempre haber confiado en mí, por darme sus consejos, anécdotas, y demás para hacerme ver que puedo llegar a donde me proponga.

A mis hermanos, por ayudarme en esos momentos en que los necesite.

Le agradezco muy especialmente **a mi novia** por ayudarme, dándome apoyo en todo momento, por constantemente mostrarme que todo es disposición. Por estimularme a esforzarme y por siempre estar ahí todo momento, en las buenas y en las malas.

Gracias a todo aquel que se mostró interesado en mi desarrollo intelectual y que de una u otra forma dijo presente en el transcurso de mi vida tanto personal como universitaria.

Eliezer Herrera

Agradecimiento

Quisiera agradecerle **a Dios** por permitirme haber llegado hasta aquí. A **mis padres** que siempre han estado conmigo en todo momento brindado su apoyo incondicional.

También, quisiera agradecer a todos los profesores por haberme guiado por este gran recorrido de mi vida aportando de su conocimiento en cada clase.

Gabriel Lugo

Agradecimiento

Primeramente, le agradezco **a Dios** por permitirme llegar hasta aquí y acompañarme en todo momento. También quisiera agradecerles **a mis padres** por llevarme hasta donde estoy ahora mismo. Por último, **a los profesores** de la universidad que me guiaron y orientaron a lo largo de mi carrera.

Edward González

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este proyecto a DIOS, por regalarme la vida, guiarme en los caminos del bien y darme la fuerza de voluntad necesaria para seguir adelante y completar este largo recorrido.

A mi padre **Alfredo Herrera**, por haber puesto todo su esfuerzo y dedicación para mostrarme el camino a seguir.

A mi amada y adorada madre **Nidia Arias**, por siempre haber confiado en mí, por darme sus consejos, anécdotas, y demás para hacerme ver que puedo llegar a donde me proponga.

A Mis hermanos, para que este esfuerzo les dé ejemplo y motivación para no detenerse en su camino profesional. A mi abuela.

Por ser esa persona especial que siempre me acompaña en todo momento y por demostrarme que en todo momento puedo contar con Ella. Quiero dedicarte este trabajo **Estefany Ramirez**, que este logro te incentive a culminar siempre tus metas en la vida sin importar obstáculos.

Eliezer Herrera

Dedicatoria

Quisiera dedicarles este trabajo a mis padres **Franklin Lugo** y **Claudia Humeau**, que, si no hubiera sido por ellos, hubiera sido imposible sin sus consejos y soporte en cada momento de mi vida.

Gabriel Lugo

Dedicatoria

Quisiera agradecerles a mis padres **Sara Virginia Peña** y **Mariano Del Valle** por suministrarme todo lo que necesito y brindarme apoyo en todo momento. Sin sus palabras y consejos no hubiese llegado hasta donde estoy.

Edward González

INTRODUCCIÓN

La agricultura en República Dominicana es uno de los sectores que más aporta a la económica del país. A pesar de ser un sector próspero, también tiene altos y bajos, debido a que es un sector que compite en el mercado local con productos de importación, y a su vez también compite en el extranjero en calidad y precio con otros productos que suelen llevar la delantera en muchas ocasiones.

Aplicar técnicas de cultivo de precisión para obtener métricas para tomas de decisiones es vital para la mejora de producción y ahorro de costes. Sin embargo, ciertamente buena parte del sector agrícola todavía sigue empleando técnicas empíricas y sin criterio alguno para el cultivo.

El presente trabajo describe el modelado de un sistema de información geográfico para apoyar el cultivo de raíces y tubérculos en el valle de Constanza.

Este sistema consume interfaces de programación de aplicaciones (APIs) de sistemas de información geográficos abiertos, como ESRI o Google Maps para brindar información climática y de terreno, como humedad en las diferentes estaciones del año, radiación solar, temperaturas, entre otros indicadores que pueden servir a la hora de cultivar en una zona geográfica determinada del valle.

La función del sistema será la de brindar datos para toma de decisión a la hora de cultivar, y evitar la improvisación de siembra sobre el terreno, evitar pérdidas por interrupción o pérdida del cultivo, arrojar datos para la prevención temprana.

La agricultura de precisión consiste en un conjunto de estrategias que se apoyan en software y las telecomunicaciones con el objeto de extraer métricas de diferentes fuentes para la toma de decisiones en el sector de producción de cultivo. Este trabajo también se apoyará fuertemente en el concepto de agricultura de precisión.

La utilización de las tecnologías de vanguardia, considerando la diversidad del suelo, clima, entorno ambiental y las necesidades de los cultivos, con el fin de optimizar el uso de insumos para la producción (semillas, fertilizantes, riego, entre otros) y de esta forma se pueden obtener productos de forma más rentable, con mejor calidad y además tener un cultivo medible en cuanto a presupuesto y de poco impacto ambiental.

Desde un punto de vista teórico, esta investigación tiene como objetivo principal proveer un diseño de un sistema que permita la optimización de la gestión de una parcela desde distintos puntos de vistas, como son: Agronómica, Medioambiental y Económico.

Este sistema tiene como propósito, además, poner a disposición numerosas informaciones que pueden constituir una memoria real del campo, mejorar la calidad inherente de los productos agrícolas. Así mismo, ayudar la toma de decisiones como ir en la dirección de las necesidades de trazabilidad.

Para lograr el mismo se pretende diseñar un sistema web y móvil que cumplan con estos requisitos. Estos buscan conectarse a un sistema en la nube, que a su vez consume diferentes tipos de servicios que persigan y provean un mejor manejo para el objetivo del mismo. Por lo tanto, será necesario implementar una conexión segura con una base de datos en la que se almacenarán las informaciones. Con esto podremos brindar al usuario precisiones y métricas exactas para un cultivo óptimo y de calidad.

Para llevar a cabo los requisitos y objetivos planteados, del estudio de la investigación, se usarán diferentes tipos de técnicas de levantamiento de datos entre los cuales podemos mencionar; encuestas y entrevistas.

Así mismo, se emplea la observación para comprender el funcionamiento de la agricultura de precisión, el comportamiento del terreno, plantas y demás. Luego se analizarán los componentes que se ven involucrados desde el punto de vista del diseño y desarrollo de sistemas informáticos.

Desde un punto de vista práctico, mediante esta investigación se persigue obtener un diseño de alto nivel, así como también una documentación técnica

que logren la puesta de ejecución de un proyecto que ponga en marcha la solución propuesta y que por consiguiente sea auto sostenible a través del tiempo y sea utilizable para la sociedad.

Evidentemente es un sector con mucho potencial, a pesar de las carencias en tecnología. Al sumar al sector de cultivo tecnología y métricas extraíbles del entorno, este modelo puede ser empleado en cualquier lugar del país, ya que la tecnología puede ser capaz de determinar qué cultivo de raíces o tubérculos puede ser conveniente para la zona en cuestión.

El siguiente trabajo se estructura de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se desarrolla los aspectos generales respecto al cultivo de precisión, sistema de información geográfico para este tipo de cultivo, su aplicación, componentes. Se muestra un diagnóstico de la situación actual del valle de Constanza respecto a su agricultura.

En el segundo capítulo se plantean los valores y métricas de consulta para la agricultura de precisión. El tercer capítulo muestra el alcance, arquitectura y componentes del sistema propuesto, se plantea los casos de usos y requisitos funcionales a igual que la base de dato relacionales.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Cultivo de Precisión

La agricultura o cultivo de precisión (AP) es una tecnología que ha revolucionado la forma de cultivar en el mundo y poco a poco ha logrado un lugar importante en el ámbito de las investigaciones. Es una estrategia holística y ambientalmente amigable, en la cual los agricultores pueden variar las entradas y métodos de cultivos, incluyendo la aplicación de semillas, fertilizantes, pesticidas, agua, selección variable, siembra, labranza, riego y cosecha para manejar la variabilidad del suelo y las condiciones del cultivo a lo largo del campo. Esta metodología busca aplicar insumos agrícolas en el lugar y el instante adecuados para mejorar la producción, disminuir sus costos y reducir el uso de agroquímicos. (Srinivasan, 2006)

La Agricultura o cultivo de Precisión (AP), permite medir y manejar la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental. (IICA, 2006)

La definición más simple de Agricultura de Precisión establece que esta corresponde a un grupo de tecnologías que permiten la aplicación de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas, plaguicidas, etc., en forma variable dentro de una granja, de acuerdo con los requerimientos y/o potencial productivo de varios sectores homogéneos, predefinidos dentro del mismo.

1.1.1 Origen y evolución

A partir de la década del '70 se comenzó a delinear un nuevo concepto de agricultura o cultivo con los estudios sobre automatización de máquinas agrícolas. En forma complementaria, a fines de la década del '80 y comienzo del '90, con la liberación del sistema de posicionamiento global por satélite (GPS) para el uso civil, fue posible desarrollar equipos inteligentes que permiten el manejo localizado de las prácticas agrícolas, con una mayor eficiencia de aplicación de insumos, reduciendo el impacto sobre el medio ambiente y, en consecuencia, disminuyendo los costos de la producción de

alimentos. A ese conjunto de procesos y sistemas aplicados se los denomina Agricultura de Precisión (AP) o Cultivo de Precisión. (IICA, 2006)

Se puede describir dos líneas de desarrollo de la agricultura de precisión para entender mejor sus antecedentes y su evolución hasta el día de hoy: la agronómica y la de la ingeniería agrícola.

- La línea agronómica, citada por Robert (1999), refiere a los trabajos del ´70 y ´80, en Minnesota, Estados Unidos, sobre la utilización de métodos de investigación de campo para conocer mejor la variabilidad de los factores de suelo y planta, incluyendo análisis de suelo, muestreo del suelo, fotografía del área y análisis de cultivos. Gracias a la unión de esfuerzos de las empresas CENEX, FARMERS Union Central Exchange Inc. Y la compañía de computadoras Control Data Corporation, ambas con sede en Saint Paul y Minneapolis, Minnesota, Estado Unidos (EE. UU.), fue posible establecer el primer concepto de variabilidad de suelo y planta en los campos, así como los potenciales beneficios del gerenciamiento de estos campos por zona de manejo, en vez de toda el área sembrada.
- La línea de la ingeniería agrícola se refiere a la evolución de las máquinas agrícolas, utilizando sensores y sistema de posicionamiento global (GPS) para mapeo y aplicación de insumos con dosis variada. De acuerdo con Blackmore (1997), la empresa Massey Ferguson fue, en 1982 la primera compañía en producir una cosechadora comercial con sistema de mapeo de productividad de granos. Luego, ya al comienzo de los años ´90, aparecieron los proyectos de John Deere, Case, AGCO y New Holland.

En la mayoría de las cosechadoras disponible en el mercado mundial, que operan dentro del concepto de agricultura de precisión, encontramos los siguientes componentes del sistema de monitoreo de rendimiento (Morgan & Ess, 1997):

- Sensores para medir el flujo de la cosecha

- Humedad
- Velocidad de cosecha
- Indicador de posición de la plataforma de corte de la cosechadora
- Monitor de funciones de las operaciones
- GPS

Los mapas de rendimiento se elaboran a partir de la información recibida por esos sensores y procesada por un software como, por ejemplo, un sistema de información geográfica (SIG).

1.1.2 Etapas del cultivo de precisión

Las prácticas de Manejo Sitio-Específico (MSE) serían recomendables en situaciones donde, en la granja, exista una alta variabilidad de los factores de producción (fertilidad, malezas, agua, etc.) y los rendimientos varíen en función de ellos. Bajo estas condiciones, idealmente debieran aplicarse manejos diferenciales dentro del sitio en términos de fertilización, control químico de malezas, etc., en vez del tradicional manejo promedio utilizado en la actualidad.

El área de mayor desarrollo dentro de la AP es el Manejo de Nutrientes Sitio-Específico (MNSE), también llamado Tecnología de Dosis Variables (TDV), que corresponde a la aplicación variable de dosis de fertilizantes de acuerdo con el nivel de fertilidad de cada sector de manejo homogéneo dentro del potrero, lo cual significa que no se trabaja, necesariamente con una sola dosis de fertilizante, sino que con tantas dosis como áreas significativamente homogéneas existan en la explotación.

Existen numerosas prácticas o actividades de manejo consideradas parte de la AP, en sus diferentes etapas de aplicación. Estas prácticas son realizadas a través de diferentes tecnologías e incluyen tanto actividades de terreno como de oficina.

En la tabla 1 se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de AP, las tecnologías involucradas y las actividades realizadas.

Etapas	Recolección e ingreso de datos	Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	Aplicación diferencial de insumos.
TECNOLOGÍA INVOLUCRADA	• Sistemas de posicionamiento global (GPS). • Sistemas de información geográfica (SIG). • Instrumentos topográficos. • Sensores remotos. • Sensores directos.	• Programas de SIG. • Sistemas expertos. • Programas estadísticos. • Experiencia del operador	• Tecnología de dosis variables. • Pulverización asistida por GPS. • Programas computacionales
ACTIVIDADES	• Medición de la topografía del suelo. • Muestreo de suelos en grilla. • Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. • Monitoreo de rendimientos. • Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. • Sensoriamiento remoto de suelos y cultivos. • Digitalización de mapas.	• Análisis de dependencia espacial. • confección de mapas de evaluación. • confección de mapas de prescripción.	• Aplicación variable de nutrientes. • Aplicación variable de plaguicidas. • Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas.

Tabla 1. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Adaptado de USDA, 1998)

En AP existen dos aproximaciones para la aplicación variable de insumos. La primera de ellas se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos (fertilizantes, herbicidas, etc.). La segunda aproximación es el

sensoria miento directo del suelo y/o el cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. El uso de una u otra dependerá del nivel tecnológico disponible y del costo de operación involucrado.

1.1.3 Beneficios fundamentales de la Cultivo de precisión

La agricultura de precisión se compone de una serie de instrumentos que, combinados, nos permiten llevar a cabo actividades agrícolas con un nivel de precisión mucho mayor de lo que normalmente tenemos.

El uso de estos elementos mejorará el proceso de toma de decisiones, ya que se basarán en datos numéricos de diferentes variables (clima, suelo, tipo de cultivo, etc.) que se pueden representar en un mapa. Se espera que dentro de unos años esté disponible una base de datos que recopilará toda esta información agrícola para el beneficio de los procesos de toma de decisiones en el sector agrícola.

La agricultura de precisión puede mejorar la eficiencia de la siembra, la de los suscriptores y la de la aplicación de productos fitosanitarios, a través de la operación automática de tractores mediante GPS. También es posible calcular el rendimiento, analizar el nivel de estrés de la planta y la situación de las plagas. Además, esto traerá beneficios ambientales y será una parte importante de la lucha de nuestro país contra el cambio climático.

Se estima que la agricultura de precisión comenzará a crecer rápidamente gracias a la expansión del uso de drones. Estos simplifican y mejoran la precisión y el cálculo, gracias a que el nivel de precisión en la toma de medidas es mucho mayor que el obtenido a través de los satélites.

Esta tecnología es más común en algunas comunidades españolas que en otras, debido a los diferentes tipos de cultivos producidos en cada una de ellas. Además, es más ventajoso implementar esta metodología en los cultivos extensivamente, por ejemplo, en el caso de los cereales, porque en mayor medida la reducción en los costos sería más significativa y el aumento en la eficiencia y la rentabilidad más significativo.

Cooperativas, asociaciones, empresas o incluso profesionales son quienes tienen la última palabra sobre el precio y la cantidad mínima de tierra, necesaria

para su implementación y aplicación. En áreas como Valencia, donde la mayoría de los agricultores tienen pequeñas parcelas, uno puede pensar que la agricultura de precisión no será factible. Pero si en lugar de analizar la trama de un agricultor, analizamos la trama de todos los que pertenecen a la misma cooperativa o asociación, podría ser muy beneficioso para todos, ya que los costos serían más baratos y se llegarían a mejores conclusiones sobre la efectividad de este tipo de agricultura cuando se comparan los resultados de diferentes agricultores.

En algunos países de América del Sur, la agricultura de precisión ha estado funcionando durante muchos años y se está volviendo cada vez más popular. En nuestro país, sin embargo, no es tan común, pero es cierto que en los últimos meses este tipo de herramientas ha estado cada vez más presente.

Los agricultores obtienen resultados y obtienen precios que pueden satisfacer tanto a los técnicos como a los agricultores, esta metodología agrícola podría ser muy atractiva para todos, ya que los agricultores serán mucho más eficientes, tanto en el uso como en el uso de fertilizantes. y fertilizantes, como en la lucha contra las plagas, la reducción de costos y la mejora de la gestión de sus recursos. Además, se creará un nuevo nicho de mercado para técnicos agrícolas, agrónomos, ecologistas, geógrafos, pilotos de drones, expertos en SIG, etc.

Si se siguen confirmando los buenos resultados logrados hasta el momento en las experiencias piloto, se espera un futuro prometedor para la agricultura de precisión.

1.5. ORGANIZACIONES

Existen empresas encargadas de dirigir las políticas agropecuarias de acuerdo, a modo que los productores aprovechen las diferentes ventajas competitivas y comparativas en los mercados, para así garantizar la seguridad alimentaria de la población nacional, así como la generación de empleos productivos, y por último mejorar las condiciones de vida de la población.

Estas organizaciones serán portadoras de la aplicación, a modo que puedan manejar informaciones generales referente a Agricultura nacional.

1.2 Sistemas de información geográfica (SIG) para cultivo de precisión

1.2.1 Sistemas de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una tecnología que se aplica cada vez más a un mayor número de disciplinas.

Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Según Peña Llopis (2010) explicar el concepto de SIG es realmente complejo y no hay un consenso a la hora de definir un SIG, debido a que integra dentro de un mismo concepto tanto los componentes como las funciones. Asimismo, existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones; pero todas coinciden en que se trata de un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas del conocimiento.

La primera referencia al término SIG aparece por Tonlinson en 1967, referida a “una aplicación informática cuyo objetivo es desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada”. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canadá.

En 1987, Berry definió un Sistema de Información Geográfica como “un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial”.

También, en 1987, el Departamento de medio ambiente de Estados Unidos lo expresó como “un sistema para capturar, almacenar, chequear, manipular, analizar y representar datos que están espacialmente referenciados en la tierra”.

En el 1990, el Centro Nacional de Información y Análisis Geográfico de Estados Unidos lo define como “sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espaciales referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Llopis revela que tal como se observa, estas definiciones no sólo son sucesivas en el tiempo, sino que además cada una supone un mayor nivel complejidad respecto a la anterior, La primera hace referencia únicamente a las bases de datos espaciales; la segunda a las herramientas (software) de tratamiento de estos datos (el típico paquete de módulos de SIG); finalmente, las demás incluyen el hardware utilizado y los procedimientos complementarios que puedan ser necesarios.

Mediante estos sistemas se puede realizar operaciones entre las capas, y así obtener resultados en formato imagen o en tablas. Todos estos resultados pueden utilizarse para la elaboración de análisis y modelos. Por lo tanto, no hay que considerar a los SIG como una herramienta sólo de captura, almacenamiento, manejo y presentación de mapas.

1.2.2 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica

Como expone Peña Llopis (2010), un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tal motivo cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

- Científicas: ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio, desarrollo de modelos empíricos, modelización cartográfica, modelos dinámicos y teledetección.
- Gestión: cartografía automática, información pública, catastro, planificación física, ordenación territorial, planificación urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones.

- Empresarial: marketing, estrategias de distribución, planificación de transportes y localización óptima.

Aunque, todas estas disciplinas utilicen los SIG para resolver cuestiones distintas, todas realizan y ejecutan tareas comunes, siendo estas:

Organización de datos, almacenar datos con el fin de sustituir una mapoteca analógica por una digital.

Visualización de datos: la posibilidad de seleccionar los niveles de información deseando; de acuerdo con el contexto, permite acoplar los mapas temáticos elegidos superándose cualquier producto en papel.

Producción de mapa: en general los SIG, poseen herramientas completas para la producción de mapas, siendo bastante simples la inclusión de rejillas de coordenadas, escala gráfica y numérica, leyenda, flecha norte y texto diversos, siendo mucho más indicados para la cartografía que los simples sistemas C.A.D. (Computer-Aided Design).

Consulta espacial: posiblemente la función más importante de los SIG es la posibilidad de preguntar cuáles son las propiedades de un determinado objeto, o en qué lugares tienen tales propiedades. La interacción entre el usuario y los datos se convierte en dinámica y extremadamente poderosa.

Análisis espacial: consiste en el uso de un conjunto de técnicas de combinación entre los niveles de información (capas), con el fin de evidenciar patrones o establecer relaciones dentro de los datos que quedaban anteriormente ocultos al analista. Es una manera de inferir significado a partir del cruce de los datos.

Previsión: uno de los propósitos de los SIG es el de verificación de escenarios, modificando los parámetros para evaluar cómo los eventos, naturales o no, ocurrirían si las condiciones fuesen diferentes, obteniendo un conocimiento más general de los objetos o el área en estudio.

Creación de modelos: la capacidad de almacenamiento, recuperación y análisis de datos espaciales convierte a los SIG en plataformas ideales para

el desarrollo y aplicación de modelos distribuidos espacialmente, y para la validación de escenarios hipotéticos.

1.2.3 Componentes de un Sistemas de Información Geográfica.

Según Peña Llopis (2010), los componentes necesarios para llevar a cabo las tareas de un SIG son los siguientes:

Usuarios: Las tecnologías SIG son de valor limitado sin los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desfasa y se maneja erróneamente, provocando que el hardware y el software no se manipule con toda su potencia.

Software: Los programas SIG proporcionan las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica.

Los componentes principales del software SIG son:

- Sistema de manejo de base de datos
- Una interfaz gráfica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas.
- Herramienta para captura y manejo de información geográfica.
- Herramientas para soporte de consulta, análisis y visualización de datos geográficos.



Ilustración 1. Componentes de los SIG

Actualmente la mayoría de los proveedores de software SIG distribuyen productos fáciles de usar y pueden reconocer información geográfica estructurada en muchos formatos distintos.

Hardware: Los SIG funcionan en un amplio rango de tipo de ordenadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red.

Datos: El componente, más importante para el SIG es la información. Se requieren buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver de los

problemas y contestar a las preguntas de las formas más acertadas posibles. Mantener, organizar y manejar los datos debe ser política de la organización.

Métodos: Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y en unas reglas de actividad definidas, que son los modelos y las prácticas operativas exclusivas en cada organización.

1.3 Diagnóstico y situación actual en la agricultura de raíces y tubérculos en el valle de Constanza

De acuerdo con el Centro de Exportación e Inversión de la República Dominicana (CEI-RD, 2012), la República Dominicana es un país con gran potencial agrícola, y fue dotado por la naturaleza con suelos de gran fertilidad, este país de la región del Caribe posee tierras aptas para cultivos en los diferentes renglones o productos. Estos atributos colocan la agricultura dominicana en condiciones de producir bienes agropecuarios de diferentes tipos en las distintas regiones del país.

En la zona Norte se produce café, uno de los productos tradicionales de exportación al igual que el tabaco en la zona de Santiago de los Caballeros, tubérculos en la provincia Espaillat, arroz y oleaginosa en La Vega y Bonao. En la zona Norte, a 150 kilómetros de distancia de Santo Domingo, se encuentra el valle de Constanza, éste es un centro natural de producción de todo tipo de productos de huerta. Los agricultores de este valle se dedican a la horticultura cultivando papas, ajo y hortalizas en general.

La agricultura del valle de Constanza registra avances técnicos y productivos muy significativos en cultivos como ajo, papa, zanahoria, repollo y flores, resultado de la aplicación de tecnología moderna y de la voluntad de los productores por mejorar su eficiencia y productividad.

Cultivos como ajo, la papa y zanahoria, de los cuales se siembra anualmente un promedio de 13,000, 26,500 y 8,500 tareas en el valle, fruto de estas innovaciones tecnológicas, registra incrementos productivos y de calidad

extraordinarias, al compararlos con los que obtienen los agricultores de estos mismos cultivos que no aplican los paquetes tecnológicos iguales.¹

Aunque todavía hay un gran número de productores que no han accedido a la mayoría de las innovaciones tecnológicas, Rafael Gómez, Enrique Durán y Rafael Vinicio, quienes tienen invernaderos individuales en producción, muestran aumentos que van desde un 250% hasta un 300% en cultivos de tomate de mesa, tomate cherry y ajíes morrones, cuya producción de primera calidad está vendida mediante contrato para la exportación, incluso antes de comenzar la siembra.

José Herrera, un productor de ajo de muchos años, después que empezó a aplicar los avances tecnológicos, tales como sistema de fertirrigación computarizado por goteo, ha logrado aumentar los rendimientos de 9 a 18 quintales en promedio, lo cual ha ido acompañado de una mejora sustancial en la calidad del bulbo, una disminución de hasta un 35% en el costo de producción y un ahorro en agua de hasta un 60%.

En el cultivo de papa, la aplicación de los avances tecnológicos expresados en siembra de semilla certificada, sistema de fertirrigación por goteo y mecanización a la hora de la cosecha, ha permitido que los agricultores alcancen rendimientos promedios de 36 quintales, con un tubérculo de excelente calidad, contrario a aquellos productores que utilizan las mismas técnicas cuyo promedio ronda los 18 quintales por tarea.

Estos rendimientos en la mayoría de los cultivos agrícolas del valle de Constanza, en los que se aplican los avances tecnológicos, fueron dados a conocer por los propios productores y ratificados por el encargado de la zona agrícola de Constanza y Tireo, ingeniero Daniel Lora y por el doctor Victoriano Sarita, técnico investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), quienes, junto a productores, acompañaron a los participantes en la “Ruta de Vegetales, Hortalizas y Flores”, organizada por el comité de ecoturismo de la Junta Agro empresarial Dominicana (JAD).

¹ (Hoy, 2004)

En el valle de Constanza, con una elevación de aproximadamente 1,150 metros sobre el nivel del mar, hay una agricultura intensiva en tecnología, mano de obra y capital, con una superficie agrícola de 29,000 tareas, fundamentalmente cultivada de vegetales, hortalizas, flores y otros, cuyo ciclo de producción oscila de dos a seis meses, los cuales se destinan principalmente a abastecer el mercado local.

Aquí la agricultura representa la base de la economía, sirviendo de sostén para una población que ronda los 65,000 habitantes, la cual cada día crece, no solamente por efecto del aumento natural, sino también de gente atraída por la posibilidad de hacer negocios en esta misma actividad, la agroindustria, turismo, banca, comercio y otras áreas.

1.3.1 Tendencias en la agricultura de raíces y tubérculos en el valle de Constanza

En República Dominicana, la papa es uno de los productos con mayor presencia en los mercados nacionales. Actualmente, las principales zonas de siembra son Constanza (80%) y San José de Ocoa (15%), debido a sus climas frescos, pero existe potencial en regiones como San Juan, Montecristi y otras provincias, ya que su adaptación a otros climas ha ido mejorando con la investigación genética. Además, el riego es muy importante en este cultivo. Las principales variedades cultivadas en el país son Granola, Arnova, Maranca y Cai White.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, la producción de papa no ha aumentado considerablemente en los últimos 10 años, pues en 2002 se produjeron unos 1,071,000 quintales y para 2012 la cosecha alcanzó 1,336,210 quintales, para un incremento del 24.8%. Por otra parte, el área cosechada disminuyó en el mismo período, por lo que todo el aumento de la producción se debe a un mayor rendimiento por tarea. En el año 2012 se cosecharon alrededor de 39,719 tareas, de acuerdo con la misma fuente. (VICINI, 2013)



Ilustración 2. Extensa plantación de Papas, Valle de Constanza

1.3.1.1 Requerimientos para su cultivo

La papa se cultiva en prácticamente todos los países, esencialmente en áreas templadas, aunque también en países subtropicales y tropicales. Para su producción, la temperatura representa el límite principal pues las inferiores, a 10°C y superiores a 30°C, inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción se logra en un promedio de 18° a 20°C. Por estas razones, la papa se siembra a principios de la primavera en las zonas templadas y en los lugares de clima tropical se cultiva durante los meses más frescos del año. Las papas pueden crecer en casi todos los tipos de suelos, salvo donde son salinos o alcalinos. Los suelos que ofrecen menor resistencia al crecimiento de los tubérculos son los suelos arcillosos y abundante materia orgánica, con buen drenaje y ventilación.

ETAPA	TEMPERATURA
EN EL AMBIENTE	
Dos semanas después de la siembra	13 °C
Desarrollo foliar	12 ^a 14 °C
Elongación de tallo y floración	18 °C
Formación de tubérculos	16 a 20 °C

EN EL SUELO	
Emergencia y crecimiento Foliar	21 a 24 °C
Formación de tubérculos	15 a 24 °C

Tabla 2. Requerimientos de temperatura en el cultivo de papa de acuerdo a su etapa de desarrollo.²

1.3.2 Uso de sistemas de información geográfica en el valle de Constanza

En noviembre 2017 con la finalidad de seguir avanzando en la implementación de un modelo de agricultura de precisión apropiado para el país, el Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF) imparte un ciclo de conferencias sobre ese tema en las universidades nacionales.³

El director de CONIAF, Juan Chávez, explicó que el propósito de esa capacitación es crear una masa crítica de profesionales y técnicos del sector agroalimentario, capaz de elaborar, junto al CONIAF, una propuesta de agricultura de precisión adaptada a la realidad del país, que tiene un 75% de pequeños y medianos predios agrícolas.

Al disertar sobre el tema en el “Congreso sobre el uso de los drones” en la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), en la provincia Sánchez Ramírez, Chávez dijo que el modelo de agricultura de precisión en el país debe constituirse por profesionales y técnicos locales usando la variabilidad de su suelo, planificar las simientes, programar el manejo de plagas y enfermedades, el tiempo de riego, la fertilización, cosecha, empaque, agro-procesamiento y comercialización.

Esto nos muestra que en la actualidad los sistemas de información geográfica no son aplicados por los agrónomos de la zona.

² Fuente: (Rubio C., et al., 2000)

³ (Listin Diario, 2017)

CAPÍTULO II

VALORES Y METRÍCAS DE CONSULTA PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

CAPÍTULO 2. VALORES Y METRÍCAS DE CONSULTA PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

2.1 Cartas de suelo y delimitado espacio de cultivo

Las cartas de suelo proporcionan una serie de mapas con indicadores o señales de los distintos tipos de suelo dentro de un área determinada, donde se describen las características de esos suelos. Se clasifican de acuerdo con sus capacidades o limitaciones para el cultivo.

El delimitado del suelo, que contendrá la forma exacta del terreno, para generar el mapa donde se referencian los tipos de suelo en la aplicación se genera mediante un cliente móvil, aprovechando así el hardware de triangulación del mismo para la toma de vértices que conformarán el polígono que delimita geográficamente el terreno sobre un mapa.

La metodología se describe en el siguiente mapa:

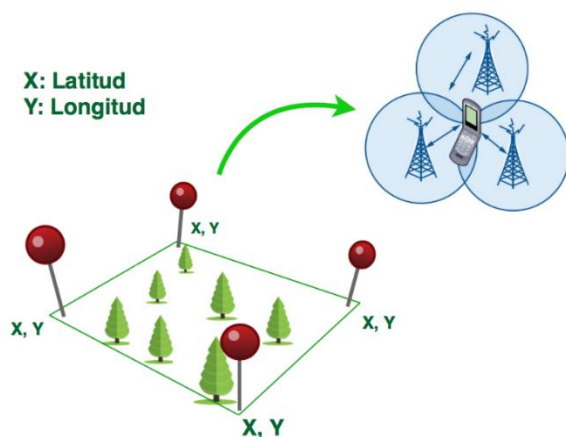


Ilustración 3. Metodología de delimitado del suelo.

2.2 Factores ambientales en cultivo de precisión

En los cultivos, los factores ambientales como la temperatura, lluvia, radiación, entre otros factores tiene gran parte de la responsabilidad de las cosechas productivas logradas, para reducir o minimizar el efecto negativo o positivo que esto pueda tener en las cosechas, es necesario también la recolección de datos atmosféricos que ayuden en la toma de decisiones al emplear cultivo de precisión.

Para determinar la influencia que la aplicación de la práctica llamada "agricultura de precisión" puede tener en el medio ambiente, debemos definir en qué consiste esta actividad. La agricultura de precisión es una serie de herramientas y estrategias que permiten un manejo detallado de la producción agrícola y los factores involucrados en el proceso de producción, facilitando una serie de soluciones integradas, maximizando el uso de los recursos y el rendimiento de los cultivos. (Vazquez Chacón, 2014)

Según Vázquez, la aplicación de agricultura de precisión le permite aplicar fertilizantes, pesticidas e irrigación de acuerdo con las necesidades específicas de cultivo, en cualquier espacio dado, en lugar de aplicarse de la misma manera para todo el campo, reduciendo la cantidad de insumos aplicados y ahorrando recursos, mejorando estrategias de control de enfermedades y plagas en productos.

De esta forma, mediante la aplicación de tratamientos localizados, es posible reducir los gastos y aumentar los rendimientos, además de ser precisos en las prácticas agrícolas y en dosis de fertilizantes, riego y pesticidas, es posible reducir la acción sobre el medio ambiente. Hoy en día, la agricultura de precisión tiene tecnologías como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que nos permiten estimar, evaluar y comprender diferentes variables, así como la información procesada y analizada haga más fácil y más preciso determinar la densidad de siembra óptima, estimar los fertilizantes y otros insumos necesarios y predecir la producción de cultivos de manera más precisa.

Asimismo, podemos determinar que la aplicación de la agricultura de precisión reducirá los problemas de erosión, compactación, salinización y acidificación del suelo, ya que reduce el impacto de las prácticas agrícolas sobre el medio ambiente, convirtiéndose en una de las bases de una agricultura sostenible, respetuosa con los cultivos, tierra y agricultores. En resumen, la agricultura de precisión es una gestión agrícola que proporciona al agricultor la tecnología

para producir cultivos de calidad, altamente rentables y lograr niveles óptimos de protección ambiental.

Por medio de mapas multiespectrales de alta precisión. De su estudio comparativo, podemos obtener una opinión que lo ayudará a determinar y / o mejorar su estado. (Riera & Barrionuevo, 2015)

Puntos fuertes:

- Ahorro constante en fertilizantes y productos fitosanitarios para localizar las áreas donde se necesita la aplicación.
- Permite anticipar la propagación de plagas, evitando situaciones de mayor estrés para las plantaciones.
- Se puede usar para eliminar los centros de propagación si es necesario.
- Permite un control exhaustivo de las áreas estudiadas, llevando la información a la precisión en su trabajo. Hasta ahora, las evaluaciones
- de los bosques y las plantas deberían basarse en el estudio de la imposibilidad de estudiar todas las áreas a seguir. Con aviones no tripulados, el estudio puede ser completo.
- El costo es infinitamente menor que el uso de aviones tripulados.
- El tiempo necesario para publicar los planes se reduce drásticamente, pudiendo obtener resultados completos y confiables.

Como ejemplos de uso podemos mencionar lo siguiente:

- Control de cultivos: necesidades de riego, nutrientes e identificación de enfermedades tempranas que ocurren visualmente, lo que permite un tratamiento temprano.
- Control forestal: identificación de parásitos de árboles, control del progreso de los mismos, tratamiento aéreo localizado contra parásitos por medios aéreos.
- Reforestación a través de la difusión de las semillas tratadas a su peligro.
- Tipología de especies de plantas.

- Control fitosanitario con aplicaciones para el control de la siembra y grados de afección de las heladas, el granizo u otros daños. Peritaciones.

2.2.1 Requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos de raíces y tubérculos.

Según Álvaro Montaldo, (1991) en su libro cultivo de raíces y tubérculos tropicales, los rangos de variación de temperaturas propicias para la siembra de raíces y tubérculos son los mostrados en la siguiente tabla:

Cultivo	Máxima	Media	Mínima
Apio	20	17	10
Papa	26	18	8
Batata	28	25	10
Yuca	30	26	15
Taro y Ocumo	30	25	18
Ñames	30	28	20

Tabla 3. Rango de variación de temperatura medias.⁴

Al confrontar con los datos climáticos de Constanza, es evidente que, dependiendo del mes en el año, su temperatura es propicia para la producción la mayor parte de los tubérculos y raíces listados en la tabla anterior.

⁴ (Montaldo, 1991)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	16.2	16.7	17.5	18.3	19.1	19.5	19.5	19.8	19.7	19.2	18.1	16.9
Temperatura min. (°C)	9.4	9.7	10.4	11.8	13	13.3	13.2	13.4	13.2	12.9	11.8	10.5
Temperatura máx. (°C)	23.1	23.7	24.6	24.9	25.2	25.8	25.9	26.3	26.3	25.6	24.5	23.3
Temperatura media (°F)	61.2	62.1	63.5	64.9	66.4	67.1	67.1	67.6	67.5	66.6	64.6	62.4
Temperatura min. (°F)	48.9	49.5	50.7	53.2	55.4	55.9	55.8	56.1	55.8	55.2	53.2	50.9
Temperatura máx. (°F)	73.6	74.7	76.3	76.8	77.4	78.4	78.6	79.3	79.3	78.1	76.1	73.9
Precipitación (mm)	45	34	35	79	194	121	74	93	128	119	79	61

Tabla 4. Tabla climática // datos históricos del tiempo Constanza.⁵

La confrontación de valores es un factor importante que tomar en cuenta a la hora de decidir cultivar en cualquier zona geográfica.

Existen sistemas de información geográficos especializados en meteorología y climatología que ofrecen en detalle toda la información necesaria para estos fines.

La última fila de la tabla mostrada arroja también datos de precipitación que bien pueden ser tomados en cuenta. Existe tan solo 160 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. En el caso de la temperatura, la variación en la temperatura anual está alrededor de 3.6 ° C.

2.2.2 Condiciones de suelo

Hay que tener en claro sobre qué tipo de suelo se cultiva, ya que cada tubérculo o raíz se produce mejor o peor dependiendo del tipo de suelo donde se esté sembrando.

⁵ (CLIMATE-MODEL, 2012)

Según Álvaro Montado (1991, p. 37), en su libro cultivo de raíces y tubérculos tropicales, los tubérculos deben sembrarse en terrenos con características adecuadas para los mismos. La siguiente, tabla detalla aquellas características

Los suelos se componen fundamentalmente por tres componentes, los cuales son, limo, arena y arcilla. La presencia de los tres elementos constituye un terreno franco, más una nomenclatura adicionada a su nombre según la composición.

2.2.3 Sistemas de información geográficos para mapeo y seguimiento de suelos

Las condiciones de suelo necesariamente deben ser tomadas en cuenta en este proceso de clasificación en cartas de suelo. Apoyándose en sistemas de información geográficos para la mejora de distintos procesos.

Las cartas de suelo, manejadas por mapas geográficos que indiquen el calibrado de la profundidad del arado es uno de los mejores aportes de los sistemas de información al proceso agrícola.

Para convertir la representación geográfica en información útil, se debe generar un modelo de mapa que permita saber mediante color los espesores de horizontes de suelo y así mantener la integridad de los suelos al ser bien tratados al momento del arado.

Para esto, es necesario la elaboración de los mapas, para estos fines Arc GIS, mediante su herramienta de manipulación de color de dataset ráster permite la creación de archivos de color (.clr). En el caso de Google Maps, es posible con la creación de nuevos estilos de mapa con herramientas como mapstyle, perteneciente a del mismo modo a Google.

Cultivo	Característica de Suelo
Papa	Suelo franco, franco arenoso, sueltos, profundos, friables, bien drenados
Ñame	Suelo franco, franco-arcillo-arenosos con algo de materia orgánica. Buen drenaje. No se produce bien en suelos arenosos o arcillosos.
Batata	Suelo franco, franco-arenosos, fresco y con buen drenaje
Yuca	Suelo franco, franco-arenosos, franco-arcillo-arenosos, profundos, con buen drenaje todo el año.
Taro	Suelo franco, franco-arcilloso-arenosos. Es el único cultivo de raíces y tubérculos que soporta humedad estancada e incluso puede cultivarse bajo inundación, caso muy frecuente en sabanas del trópico
Ocumo	Suelos arenosos, sueltos, friables, en lo posible con buena proporción de materia orgánica. No arcillosos. Buen drenaje

Tabla 5, Características del Suelo

CAPÍTULO III
ALCANCE, ARQUITECTURA Y COMPONENTES
DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
PROPUESTO

CAPÍTULO 3. ALCANCE, ARQUITECTURA Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PROPUESTO.

3.1 Alcance del sistema

Se define como alcance, todas las funcionalidades listadas en el presente tema. Esta lista será la que compondrán los requisitos funcionales que deberá tener la implementación de este sistema. A su vez, cada requisito aquí listado, tendrá su respectivo caso de uso en conformidad con los requisitos planteados en los capítulos anteriores.

Dado a los puntos anteriores del segundo capítulo, como factores y condiciones ambientales en el cultivo, métricas climáticas, cartas de suelo, entre otros puntos que al ser tomados en cuenta ofrecen mejores condiciones cosecha, en el sistema propuesto se listaran requisitos funcionales y casos de uso que servirán de modelo para la construcción de un sistema que dé soporte a la agricultura de precisión al ofrecer métricas que ayuden a la toma de decisiones.

3.1.1 Descripción del objeto de automatización.

Hay diferentes enfoques en la agricultura de precisión, el enfoque que se ha decidido tomar es el aquel que se centra en el estudio de suelos, nutrientes y seguimiento de cultivos a través de registros continuos en un sistema, apoyado en información geográfica. Bajo este enfoque se pueden aprovechar terrenos con el adecuado tratamiento, y costes precisos de producción.

Este enfoque hace uso de cartas de suelo para determinar fertilidad, tratamiento, arado y siembra.

Como se ha descrito previamente, las cartas de suelo brindan una serie de mapas donde es posible ver la distribución geográfica de los diversos tipos de suelo dentro de un área determinada, donde se ven descritos los rasgos de suelo.

El sistema deberá responder al registro de los horizontes de suelo, y de forma periódica datos nutricionales del mismo.

Partiendo de los insumos de datos previamente descritos, el sistema dispondrá de valores y métricas para el apoyo de tomas de decisiones.

Además de estas informaciones generadas para métricas, el sistema brindará informaciones de interés que serán consultadas a plataformas de acceso a datos abiertos e informaciones ya cargadas en el sistema. Entre estas informaciones están la climatológica. Debido también a la información concerniente a nutrientes de suelo registrada en el sistema, el sistema, según una tabla de condiciones de cultivos con datos con los que ya viene el sistema, se confrontara con los datos introducidos para generar alertas en el sistema.

Este deberá registrar el lugar exacto y las características de suelo del lugar donde se hizo la recolección. La data recabada de los registros de horizonte y clasificación de los suelos será posteriormente utilizada para apoyar mediante reportes y métricas el proceso de arado.

El sistema deberá permitir, el registro nutricional de suelo y la captura de la posición geográfica de dicha muestra.

Debido a la información concerniente a nutrientes de suelo registrados en el sistema, el sistema, según la tabla de condiciones de tierra para cultivo, deberá mostrar.

Este deberá ser en formato de mapas geográficos útiles para el operador en el proceso de calibrado de la maquinaria de arado, las zonas a manejar con diversos tipos de arado los diferentes lotes en los que se segmenta el terreno.

El sistema deberá permitir la inserción de información edafológica del suelo de forma periódica, con el fin de generar métricas de consumo y producción de nutrientes.

3.1.2 Requisitos funcionales

1. Capturar delimitación de zona geográfica

- a. El cliente móvil del sistema deberá permitir la captura de la zona geográfica a consultar
- b. El sistema debe permitir mostrar en un mapa geográfico la zona previamente capturada

2. Registrar posición de muestras

- a. El sistema debe permitir el registro del lugar exacto de la recolección de muestra de horizontes de suelo.

3. Gestionar información edafológica

- a. El sistema permitirá el ingreso de datos nutricionales de cada lugar de muestra.
- b. El sistema dispondrá del registro del tipo de suelo del lugar de la muestra
- c. El sistema deberá permitir el ingreso de horizontes de suelo

4. Consultar datos meteorológicos de zona geográfica delimitada

- a. Los clientes del sistema deberán permitir la consulta de la altura de la zona delimitada.
- b. El sistema deberá permitir la consulta del clima de la zona delimitada.
- c. El sistema debe permitir la consulta de la velocidad y direcciones del viento en la zona seleccionada.
- d. El sistema proporciona información de precipitaciones en la zona geográfica delimitada.

5. Gestionar cultivos

- a. El sistema permitirá el registro del inicio y fin de cultivos relacionándolos con información edafológica y un lote existente.
- b. El sistema proporcionará la captura de cantidad de semillas o estacas sembradas en un terreno existente en el sistema.
- c. El sistema proporcionará el registro de cultivo producido asociado a su correspondiente cultivo registrado.

6. Gestionar registro de raíces y tubérculos

- a. El sistema deberá permitir el registro de raíces y tubérculos.

3.1.3 Casos de uso de la aplicación

Caso de Uso	Capturar delimitación de zona geográfica
Actores	Usuario
Descripción	El usuario registra los vértices del terreno usando el cliente móvil del sistema, conformando un polígono que será la representación de la tierra delimitada en los mapas del sistema. Culminado este, el usuario podrá ver en un mapa y confirmar la delimitación geográfica

Tabla 6. Caso de uso: Capturar delimitación de zona geográfica.

Caso de Uso	Registrar posición de muestras
Actores	Usuario
Descripción	Durante el proceso de toma de muestras de suelo, se registra en el sistema mediante el cliente móvil, el lugar donde se está tomando la prueba. El usuario identifica las muestras de forma física, tal como se ingresan en el sistema.

Tabla 7. Caso de uso: Registrar posición de muestras.

Caso de Uso	Gestionar información edafológica
Actores	Usuario
Descripción	El usuario registra en el sistema información nutricional del relacionando con uno de los puntos de muestra realizados en el sistema. Usuario también selecciona el tipo de suelo y los horizontes que contiene.

Tabla 8. Caso de uso: Gestionar información edafológica.

Caso de Uso	Consultar datos meteorológicos de zona geográfica delimitada
Actores	Usuario, Sistema
Descripción	El usuario selecciona el terreno a consultar. El sistema consulta con APIs de NOAA, y trae la información meteorológica concerniente.

Tabla 9. Caso de uso: Consultar datos meteorológicos de zona geográfica delimitada.

Caso de Uso	Gestionar cultivos
Actores	Usuario, Sistema
Descripción	El usuario registra el inicio y fin de cultivos, proporcionándoles relacionándolos con información edafológica y un lote existente. A su vez la cantidad de semillas a utilizar en el cultivo que se está registrando El sistema proporcionará la captura de cantidad de semillas o estacas sembradas en un terreno existente en el sistema. El sistema proporcionará el registro de cultivo producido asociado a su correspondiente cultivo registrado.

Tabla 10. Caso de uso: Gestionar cultivos.

Caso de Uso	Gestionar registro de raíces y tubérculos
Actores	Usuario
Descripción	El usuario registra raíces y tubérculos en el sistema, según tipo.

Tabla 11. Caso de uso: Gestionar registro de raíces y tubérculos.

3.2 API (Interfaz de programación de aplicación)

Es un conjunto de definiciones de sub-rutinas, herramientas y protocolos para crear aplicaciones de software. De manera general, es un conjunto de métodos que provocan comunicación entre la aplicación y el pedazo de software. Las API simplifican el desarrollo de una aplicación y/o programa, agregando piezas de códigos que permiten un mejor funcionamiento en los mismos.

Una API puede ser para un sistema basado en web, sistema operativo, sistema de base de datos, hardware de computadora o biblioteca de software. Una API específica puede tomar muchas formas, pero a menudo incluye especificaciones para rutinas, estructuras de datos, clases de objetos, variables o llamadas remotas. POSIX, API de Windows y ASPI son ejemplos de diferentes formas de API. La documentación para la API generalmente se proporciona para facilitar el uso.

Las API se dividen en dos clasificaciones, API pública y API privada, las cuales se definen a continuación:

3.2.1 API Abierta (pública)

Es una variación de API disponible públicamente que brinda a los desarrolladores acceso programático a una aplicación de software patentada o servicio web. Las API son conjuntos de requisitos que determinan cómo una aplicación puede comunicarse e interactuar con otra. Las API también pueden permitir a los desarrolladores acceder a ciertas funciones internas de un programa, aunque generalmente no son API web.

3.2.2 API Privada

Una API privada es una interfaz que abre porciones de los datos de back-end de una organización y capacidades de aplicación para que los usen los

desarrolladores que trabajan en ella (o los contratistas que trabajan para esa organización). Las API privadas sólo están expuestas a desarrolladores internos, por lo que los editores de API tienen control total sobre cómo y cómo se desarrollan las aplicaciones. Las API privadas ofrecen ventajas significativas en términos de colaboración interna. El uso de una API privada dentro de una organización permite un mayor conocimiento compartido de los modelos de datos internos.

Como los desarrolladores trabajan para una organización (o contratados por ella), la comunicación será más directa y, por lo tanto, debería poder trabajar de forma más cohesiva como grupo. Las API privadas pueden reducir significativamente el tiempo de desarrollo necesario para manipular y crear sistemas internos que maximizan la productividad y crean aplicaciones orientadas al cliente que mejoran la cobertura del mercado y agregan valor a las ofertas existentes.

3.3 Aplicación Móvil

Un dispositivo móvil es una portátil que está diseñada para ser compacta y liviana. Las nuevas tecnologías de almacenamiento de data, procesamiento y visualización han permitido que estos pequeños dispositivos puedan hacer casi cualquier cosa que se ha realizado previamente con computadoras personales mucho más grandes. Dicho esto, estos dispositivos también podrían llamarse computadoras portátiles.

Con estos dispositivos inteligentes podemos hacer y encontrar herramientas que permiten a nuestros dispositivos hacer tareas que cumplan con las expectativas del ser humano, de modo que puedan realizar un sin número de actividades cotidianas sin mayores dificultades. Este tipo de herramientas se les llaman aplicaciones móviles o simplemente apps. Las mismas la podemos definir como: “un pedazo de software específicamente diseñado para correr en un dispositivo móvil, tales como los teléfonos inteligentes o las tabletas. Estas aplicaciones usualmente son descargadas e instaladas por el dueño del dispositivo, y una vez hecho esto, la aplicación móvil típicamente opera en

conjunto con el sistema operativo nativo, o instalado, en el dispositivo.” (Salz & Moranz, 2013).

A través de los años las personas han ido creando fama con el lanzamiento de las diferentes apps que atraen público. Los sistemas operativos más populares actualmente son IOS y Android, estos vienen con sus plataformas de manejo de aplicaciones.

3.3.1 Historia

En 2017, las aplicaciones móviles son una parte esencial de la vida de las personas. Se usa para chatear con amigos, pagar impuestos, ordenar comida, tomar fotos, etc. Según las estadísticas, se para más tiempo con los teléfonos inteligentes que frente a las PC.

El primer teléfono celular estaba equipado con funciones como reloj de palabras, calculadora, calendario y libreta de direcciones. El dispositivo puede enviar correo electrónico inalámbrico. Esta innovación ha dado un gran impulso al desarrollo de aplicaciones móviles.

Antes de tener teléfonos celulares, tenían que usar WAP (Wireless Application Protocol). Con la ayuda de WAP, se podía descargar cualquier aplicación que el fabricante de su teléfono les ofrecía, pero había inconvenientes. La aplicación para esas aplicaciones era tan alta que WAP no podía manejar la carga. La gente literalmente tuvo que esperar su turno para descargar una aplicación.

El anuncio del primer iPhone fue un gran paso hacia la evolución de las aplicaciones móviles. El teclado digital, la pantalla multitáctil y, finalmente, un navegador web funcional ha revolucionado por completo la forma en que las personas utilizan las aplicaciones móviles.

A partir de Julio de 2008 es cuando todo comienza a cambiar: la App Store de Apple se puso en línea. En un día, Apple lanzó una serie de aplicaciones que puedes descargar a tu iPhone. Para ser más precisos, han lanzado aproximadamente 552 aplicaciones, de las cuales 135 se pueden descargar gratis. En solo una semana, los usuarios del dispositivo iPhone de Apple han

descargado alrededor de diez millones de aplicaciones. La palabra "aplicación" se convirtió en una palabra del año en 2010, según la American Dialect Society.

Según las estadísticas, 1 de cada 5 personas en el mundo tiene un teléfono inteligente. Lo más interesante es que gran parte del tiempo se gasta en aplicaciones móviles. Aquí hay algunas estadísticas nuevas:

- El 85% de los usuarios prefiere dispositivos móviles a computadoras de escritorio.
- El tiempo promedio pasado en dispositivos móviles ahora excede el uso de escritorios de escritorio.
- Ahora puede elegir entre 5,000,000 de aplicaciones disponibles en los mercados.
- Las tasas promedio de conversión de teléfonos inteligentes son un 64% más altas que las tasas promedio de conversión de escritorio.

3.3.2 Tipos de aplicaciones móviles

Existen 3 tipos o clasificaciones de aplicaciones móviles, las cuales son:

App Nativas

Una aplicación nativa se desarrolla específicamente para un sistema operativo particular llamado Kit de desarrollo de software o SDK. Cada una de las plataformas, iOS, Android o Windows iPhone, tiene un sistema diferente, por lo que para poder desarrollar es necesario crear diferentes aplicaciones para los distintos sistemas operativos.

Por ejemplo, podemos decir:

- En Windows Phone se utiliza el lenguaje .NET
- El lenguaje Objective-C se usa para desarrollar en IOS.
- Java es el lenguaje a utilizar para desarrollar en el SO Android.

Al momento de hablar sobre desarrollo móvil, casi siempre se hace referencia a aplicaciones nativas. La principal ventaja sobre los otros dos tipos es la

capacidad de acceder a todas las características del hardware del teléfono: cámara, GPS, calendario, dispositivos de almacenamiento y muchos otros. Esto hace que la experiencia del usuario sea mucho más positiva que otros tipos de aplicaciones. Una de las ventajas de las aplicaciones nativas, es que no necesitan una conexión a Internet para funcionar correctamente.

Ventajas	Inconvenientes
• Acceso completo al dispositivo • Mejor experiencia del usuario • Visibilidad en APP Store • Envío de notificaciones o “avisos” a los usuarios • La actualización de la app es constante	• Diferentes habilidades / idiomas / herramientas para cada plataforma de destino • Tienden a ser más caras de desarrollar • El código del cliente no es reutilizable entre las diferentes plataformas

Tabla 12. App nativa Ventajas e Inconvenientes⁶.

Web App

Una aplicación web o una aplicación web es el desarrollo con lenguajes conocidos por los programadores, es HTML, Javascript y CSS. La ventaja principal en comparación con la aplicación nativa es la facilidad de creación de la aplicación, esto es que se puede desarrollar utilizando tecnologías no diseñadas específicamente para el dispositivo per se.

Las web apps son la mejor opción si el objetivo principal es adaptar la aplicación a distintos entornos.

⁶ (LanceTalent, 2014)

Ventajas	Inconvenientes
• El mismo código base reutilizable en múltiples plataformas • Proceso de desarrollo más sencillo y económico • No necesitan ninguna aprobación externa para publicarse (a diferencia de las nativas para estar visibles en app store) • El usuario siempre dispone de la última versión • Pueden reutilizarse sitios "responsive" ya diseñados	• Requiere de conexión a internet • Acceso muy limitado a los elementos y características del hardware del dispositivo • La experiencia del usuario (navegación, interacción..) y el tiempo de respuesta es menor que en una app nativa • Requiere de mayor esfuerzo en promoción y visibilidad

Tabla 13. Web App Ventajas e Inconvenientes .⁷.

Web App Nativa

La principal ventaja del web app nativas es la capacidad de utilizar las diferentes tecnologías para el desarrollo de aplicaciones y a su vez utilizar tecnologías que están diseñadas para el teléfono específico. Es decir, es posible acceder a configuraciones del móvil y seguir utilizando tecnologías como JavaScript, HTML y CSS.

Ventajas	Inconvenientes
• Es posible distribuirla en las tiendas de iOS y Android. • Instalación nativa pero construida con JavaScript, HTML y CSS • El mismo código base para múltiples plataformas • Acceso a parte del hardware del dispositivo	• Experiencia del usuario más propia de la aplicación web que de la app nativa • Diseño visual no siempre relacionado con el sistema operativo en el que se muestre

Tabla 14. Web App Nativa Ventajas e Inconvenientes.⁸

⁷ (LanceTalent, 2014)

⁸ Ibíd.

3.4 Modelos de datos geográficos y bases de datos de la aplicación

El objeto de un programa informático es la de ejecutar rutinas que obedecen a un algoritmo, dicho algoritmo está escrito en un lenguaje formal que manipula símbolos y datos que son la representación de alguna cosa en el mundo real. Esta representación de objetos del mundo real, a lo interno de un programa informático se componen de una estructura sobre la cual los algoritmos que hacen uso de dichos objetos utilizan, abstractos son considerados modelos, los cuales son manipulados por los lenguajes formales. Estos objetos, son persistidos en tablas de bases de datos

3.4.1 Bases de datos relacionales

Existen distintos tipos de bases de datos, entre las cuales se encuentra el tipo relacional, sobre la cual es la que haremos uso en este trabajo.

3.4.2 Estructura de datos para datos geográficos

Los datos geográficos en esencia cuentan con 2 valores, longitud y latitud. Esta información no es suficiente para delimitar áreas geográficas, más bien solo se limitan a la posición de un punto en el plano. Para conseguir la delimitación, se optará por una técnica de generación de polígonos a través de puntos en el plano, haciendo posible la delimitación de cualquier espacio. Cada punto puede entenderse como un vértice del polígono, estos polígonos delimitaran el área en el plano. Uno o más polígonos (área delimitada) estará asociado a un área de cultivo.

Para obtener las aristas de forma precisa de cada polígono geográfico, hay que definir para cada nodo un número de secuencia que indique la conexión entre un nodo y otro y así garantizar un orden de secuencia en el proceso de dibujo de las aristas. Cada nodo estaría identificado como la siguiente figura.

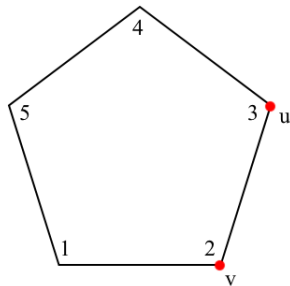


Ilustración 4. Polígono geográfico.

El registro de polígonos consta con las columnas mostradas en la tabla de a continuación:

Nombre de columna	Tipo
ID	numérico natural
PlotID	numérico natural
Area	numérico decimal
FertilizerID	numérico natural

Cada registro de polígono consta con un detalle de polígono, el cual consta con de los diferentes puntos y secuencias entre uno y otro:

Nombre de columna	Tipo
ID	numérico natural
Latitude	numérico decimal
Longitude	numérico decimal
Sequence	numérico natural

La obtención y manejo de otros datos geográficos no serán necesarios de persistencia, por lo tanto, quedan fuera su definición en la base de datos.

3.5 Arquitectura del software

La arquitectura de software indica la estructura, funcionamiento e interacción entre las partes del software, esta comprende toda la estructura lógica del software. La arquitectura define qué tan escalable y que cambios luego podrá aceptar.

3.5.1 Arquitectura multicapas

La arquitectura multicapa es un modelo cuyo fin es la de separar o desacoplar las partes que conforman un software. Este estilo tiene como ventaja que el desarrollo puede llevarse en múltiples niveles, donde cada nivel está desacoplado del otro. Al ser requerido algún cambio, solo es afectado el nivel donde se requiere, sin la necesidad de revisar el código fuente de otros módulos.

En la arquitectura multicapas para del presente trabajo, las siguientes cuatro capas, que son las suelen las más comunes:

- Capa de presentación
- Capa de aplicación o capa de servicio
- Capa de negocio o capa de dominio
- Capa de datos o persistencia

3.5.1.1 *Domain driven design*

Domain Driven Design es un enfoque acuñado por Eric Evans en su libro "Domain-driven design: Tackling Complexity in the Heart of Software", el mismo hace referencia a un modelo rico y expresivo, que a su vez está en continua evolución para de una forma semántica resolver problemas de dominio.

Se denomina dominio (domain) al campo en el que el usuario hace uso del software y modelo de dominio a los conceptos clave y terminología del dominio del problema.

Este tipo de diseño se centra en identificar las relaciones entre las entidades incluidas dentro del ámbito del dominio del problema, identifica sus atributos y proporciona una visión estructural del dominio.

3.5.2 Arquitectura Multinivel

En el contexto de arquitectura de software, el término "multinivel" hace referencia a la manera en que las capas lógicas del sistema se encuentran distribuidas de forma física.

Los niveles de la aplicación constan de los siguientes tres niveles:

- Nivel de Cliente: En el cual se hacen todas las consultas a la aplicación web, inicialmente desde un navegador web o un cliente móvil. En el contexto del navegador web, una vez descargada la presentación de la aplicación, en el contexto del navegador contendrá scripts que continuarán haciendo las llamadas de lugar al sistema, en el caso del cliente móvil, este tendrá rutinas que le permitirán llamar al sistema.
- Nivel de Aplicación: En el cual reside la aplicación de servidor con todas sus capas. Esta recibe las llamadas de los clientes vía HTTP, dichas llamadas hechas por POST, GET, PUT y DELETE y se mapean hacia las operaciones correspondientes, y devuelve el contenido requerido.
- Nivel de Almacenamiento de datos: Este nivel sólo es accesible únicamente desde Nivel de Aplicación. Este contiene la base de datos del sistema, la cual contiene la data que componen a los modelos de la aplicación.

El siguiente diagrama describe la separación física del sistema.

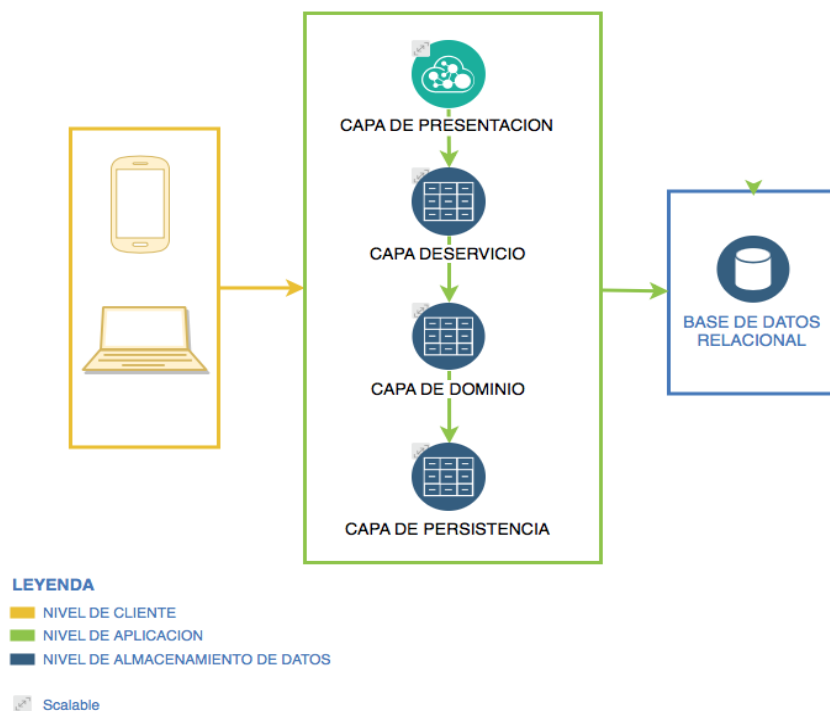


Ilustración 5. Arquitectura Multinivel

3.6 Transporte y representación de datos del sistema

3.6.1 HTTP como protocolo de comunicación

HTTP es un protocolo que funciona a su vez sobre el protocolo IP de telecomunicaciones. Este protocolo inicialmente fue desarrollado para la transferencia de hipertexto, de ahí su nombre el nombre Hypertext Transfer Protocol. Este protocolo es usado comúnmente por los navegadores web y ampliamente utilizado para el uso de interfaces de programación que se comunican vía internet. Este protocolo fue desarrollado por el World Wide Web Consortium de la Internet Engineering Task Force.

Las interfaces de programación que permiten el acceso a sistemas de información geográficos en la nube, como Google Maps, NOAA o ArcGIS suelen estar disponibles vía HTTP.

Al referirse a HTTP como protocolo de naturaleza sin estado, quiere decir que tras cada llamada a un servidor es independiente de la otra, el servidor no recuerda quien ha hecho la llamada. Por esta razón, los estados se manejan desde el cliente.

3.6.2 Servicios REST

La palabra REST viene de "REpresentational State Transfer", lo que podría traducirse como "transferencia de representación de estado".

Las interfaces de programación que se ofrecen mediante internet, usando el protocolo http suelen se llamadas servicios REST o RESTful. Todas las consultas a información satelital deberán hacerse entonces, manejando el estado desde los clientes del sistema planteado, ya estén estos alojados en cualquiera de los dos primeros niveles de la aplicación

3.6.3 Consulta a Sistemas de Información Geográfica.

3.6.3.1 GOOGLE MAPS JAVASCRIPT API para delimitación de áreas para cultivo

Google Maps JavaScript API es una interfaz de programación proporcionada por la empresa Google para acceso a su sistema de información geográfico desde un lenguaje formal de programación usado por los navegadores llamado JavaScript. Esta interfaz de programación cuenta con un simple ejemplo donde simula la delimitación del triángulo de las bermudas. cada vértice de dicho triángulo visto en el ejemplo es un punto en el espacio que cuenta de dos variables, longitud y latitud.

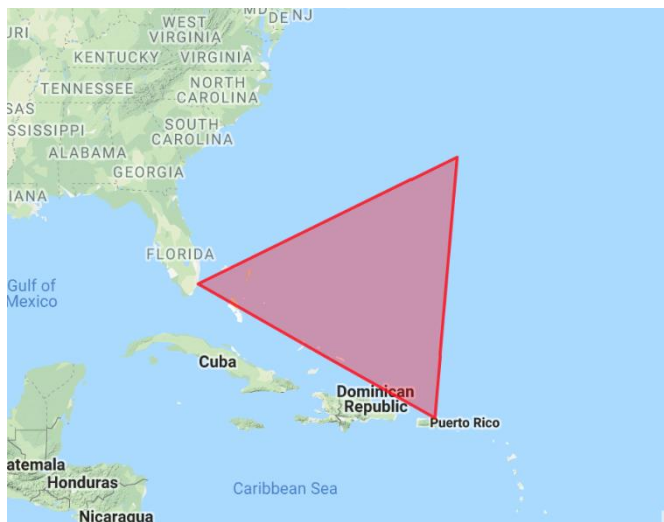


Ilustración 6. Triángulo de las bermudas.

Los puntos marcados con longitud y latitud deberán entonces ser usados en formato de arreglo de objetos JavaScript para el dibujo de polígonos que delimitan los espacios geográficos:

Un ejemplo simple de la composición de este arreglo el siguiente

```
[
  {lat.: 25.774, lng: -80.190},
  {lat.: 18.466, lng: -66.118},
  {lat.: 32.321, lng: -64.757},
  {lat.: 25.774, lng: -80.190}
]
```

Esta data debe ser almacenada por el servidor una vez el usuario capture los vértices de su terreno, mediante la metodología de delimitación del suelo planteada en el presente documento,

Desde la perspectiva del lenguaje JavaScript dicha data será parametrizada para ser usada desde la interfaz de programación.

```
var triangleCoords = [
  {Lat: 25.774, lng: -80.190},
  {Lat: 18.466, lng: -66.118},
  {lat.: 32.321, lng: -64.757},
  {lat.: 25.774, lng: -80.190}
];
```

La forma estándar de uso del arreglo en el API de Google a través de JavaScript resulta ser muy simple para el dibujado del polígono que representara el terreno capturado.

```
// Construct the polygon.
var bermudaTriangle = new google.maps.Polygon({
  paths: triangleCoords,
  strokeColor: '#FF0000',
  strokeOpacity: 0.8,
  strokeWeight: 2,
  fillColor: '#FF0000',
  fillOpacity: 0.35
});
```

```
bermudaTriangle.setMap(map);
```

3.6.3.2 Integración con NOAA API

“NCDC's Climate Data Online (CDO) ofrece servicios web que brindan acceso a datos actuales. Esta API es para desarrolladores que buscan crear sus propios scripts o programas que usen la base de datos CDO de datos meteorológicos y climáticos. Se necesita un token de acceso para usar la API, y cada token estará limitado a cinco solicitudes por segundo y a 10.000 solicitudes por día.” (NCEI N. , 2018)

La aplicación está destinada a devolver métricas sobre datos de los cultivos, pero no sólo esto, también es necesario devolver resultados sobre el estado del clima. Por ejemplo, es necesario que los usuarios puedan apreciar las datas del clima ya que esta afecta directamente a los cultivos, ya sea en su forma de

crecimiento como en la salud del mismo. De modo que, al saber el estado del clima actual puedan tomar medidas a tiempo para saber qué proceder con sus plantaciones.

Para poder obtener acceso al API necesitaremos primero un obtener un token mediante la página de solicitud del mismo.

Luego, es necesario realizar un request básico con uno de los path endpoint encontrados en la página: “ <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/api/v2/{endpoint}> ”

Aquí se muestra una tabla con los diferentes endpoint path, headers e información de paginación:

Endpoint	Descripción
/ datasets	Un conjunto de datos es la agrupación principal de datos en NCDC.
<u>/datacategories</u>	Una categoría de datos es un tipo general de datos utilizados para agrupar tipos de datos similares.
<u>/datatypes</u>	Un tipo de datos es un tipo específico de datos que a menudo es exclusivo de un conjunto de datos.
<u>/locationcategories</u>	Una categoría de ubicación es una agrupación de ubicaciones similares.
<u>/locations</u>	Una ubicación es una entidad geopolítica.
<u>/stations</u>	Una estación es una plataforma de observación meteorológica donde se registran los datos.
<u>/data</u>	Un dato es un valor observado junto con cualquier atributo auxiliar en un lugar y tiempo específico.

Tabla 15. Endpoint⁹

⁹ (NOAA, s.f.)

Encabezado	Uso	Descripción
Token	curl -H "token:<token>" "url" \$.ajax({ url:<url>, data:{<data>}, headers:{ token:<token> } })	El token obtenido de la página de solicitud de token .

Tabla 16. Encabezado¹⁰

Parámetro	Ejemplo	Descripción
limit	50	Limita la cantidad de resultados devueltos a 50.
offset	85	Comience con el número de registro 85.

Tabla 17. Información de Paginación¹¹

A continuación, se muestra un

código de ejemplo que muestra los datos contenidos en un objeto JSON para la comunicación con el API de NOAA sobre el clima:

```
{ "id": "GSOY", "name": "Plantación de papa del año", "datacoverage": 1,
"mindate": "1763-01-01", "maxdate": "2015-01-01" }
```

3.6.3.3 Integración con ArcGIS API

ArcGIS es una plataforma para que las organizaciones creen, administren, compartan y analicen datos espaciales. Consiste en componentes de servidor, aplicaciones móviles y de escritorio, y herramientas de desarrollador. Esta plataforma se puede implementar localmente o en la nube (Amazon, Azure) con ArcGIS Enterprise, o se puede usar a través de ArcGIS Online alojada y administrada por Esri.” (ArcGIS, 2018)

La integración con la API de ArcGIS no es más que hacerlo a través de su CDN (Content Delivery Network), esta es su versión de hospedaje (hosted version). La misma es la más recomendada ya que está enviada por su CDN, que es

¹⁰ ídem

¹¹ ídem

“una colección de servidores web distribuidos geográficamente que ofrecen contenido de manera eficiente” (ArcGIS, 2018), además, los servidores están siendo monitoreados 24/7, por último, en caso de que salga una nueva versión, no será necesario descargarla

e instalarla nuevamente, simplemente se cambia el número de la versión en el siguiente script:

```
<link rel="stylesheet"
href="https://js.arcgis.com/4.6/esri/css/main.css">
<script src="https://js.arcgis.com/4.6/"></script>
```

A continuación se muestra un ejemplo del código a utilizar para obtener datos de mapas:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
    <meta name="viewport" content="initial-scale=1, maximum-scale=1,user-scalable=no"/>
    <title>Simple Map</title>
    <link rel="stylesheet" href="https://js.arcgis.com/3.23/esri/css/esri.css">
    <style>
      html, body, #map {
        height: 100%;
        margin: 0;
        padding: 0;
      }
    </style>
    <script src="https://js.arcgis.com/3.23/"></script>
    <script>
      var map;

      require(["esri/map", "dojo/domReady!"], function(Map) {
        map = new Map("map", {
          basemap: "topo", //For full list of pre-defined basemaps, navigate to http://arcg.is/1JV6Wd
          center: [-122.45, 37.75], // Longitude, Latitude
          zoom: 13
        });
      });
    </script>
  </head>

  <body>
    <div id="map"></div>
  </body>
</html>
```

Este sería el resultado al ejecutar el código anterior:

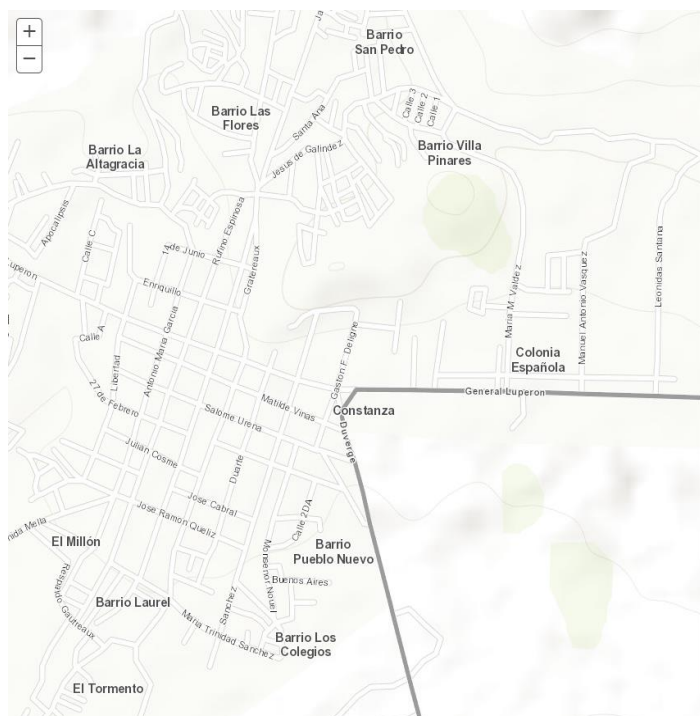


Ilustración 7. ArcGIS API¹²

¹² (ArcGIS, 2018)

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se recabaron conceptos generales de agricultura de precisión, en el proceso quedó evidente que la ingeniería en sistemas forma parte fundamental de la misma, ya que esta necesita de la gestión de una vasta cantidad de información concerniente a procesos de cultivo para toma de decisiones.

Mucha de las informaciones de la industria de la agricultura se maneja de forma verbal e informal, aun siendo un negocio de costes de producción cuantiosos. El proceso de harrado o fumigación no se suele basar en algún documento de históricos, o tomando en consideración situaciones geográficas del terreno para la correcta dosificación de abono o pesticidas.

A su vez, la carencia de sistemas de información geográficos para proyectar y transmitir estados del terreno mediante coloración en el mismo pudiera arrojar luz al momento de la dosificación de abono, siembra.

Las condiciones de suelo deben ser siempre tomadas en cuenta en este proceso de clasificación en cartas de suelo. Apoyándose en sistemas de información geográficos para la mejora de distintos procesos.

Este proyecto es un punto de partida simple, pero en una segunda iteración de mejora se recomienda especial atención.

Aunque los trabajos en el cual se apoya la agricultura de precisión se iniciaron en la década de los 80, y los mapas de rendimientos se lanzaron al público hace más de una década, se puede decir que esta tecnología aún tiene un largo camino que recorrer. Mediante esta se puede minimizar el impacto ambiental de la agricultura, de modo que las cantidades aplicadas de agroquímicos sean reducidas sin que conlleve reducción de producción.

Para fines de Agricultura de precisión, no es necesario tener un conocimiento profundo de la operación del GPS. Los conceptos básicos involucrados en este trabajo ayudan a comprender los conceptos elementales del sistema para poder diferenciar aquellos receptores que cumplen los requisitos de uso en

Agricultura de precisión, también para comprender la precisión y los datos de operación que muestran los receptores en la pantalla cuando son en uso.

Todas estas tecnologías de agricultura de precisión, bajo administración específica del terreno, le permiten al agricultor ahorrar recursos y suministros escasos, aplicar herbicidas, fungicidas y fertilizantes en cada área específica de la propiedad y crear una base de datos que permita establecer con relativa precisión que se siembra y lo que se recoge.

Ya que la agricultura de precisión viene inevitablemente ligada al campo de informática, se ha decidido crear un modelado de una aplicación móvil, a modo que cumpla con una mejora en el proceso de cultivo, estado del terreno y medio ambiente, así como las clasificaciones de suelos y demás, mostrando así las diferentes métricas de lo ya mencionado, trayendo y devolviendo información al usuario para que pueda tomar las decisiones correctas al momento de cultivar.

Mediante el uso de la aplicación propuesta en este trabajo, el usuario podrá mantenerse informado de métricas y estados de sus plantaciones, así como también el estado del medio ambiente, terreno y demás. Así mismo se persigue suministrar recomendaciones a la persona para que puedan realizar sus cultivos con mayor precisión y reducir el margen de errores.

Para una segunda etapa del proyecto se recomienda crear una página web, a modo que el usuario pueda acceder desde su hogar, mediante cualquier dispositivo.

REFERENCIAS DE INFORMACIONES

- Aguilar, L. J. (2012). La Computación en Nube (Cloud Computing): El nuevo paradigma tecnológico para empresas y organizaciones en la Sociedad del Conocimiento. *Revista cuatrimestral de las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales*.
- ArcGIS. (2018). *ArcGIS API for JavaScript 4.6*. Obtenido de <https://developers.arcgis.com/javascript/latest/guide/get-api/index.html>
- Bennett, C. (2001). *The wireless application protocol*. En C. Bennett, *Practical WAP: Developing Applications for the Wireless Web*. USA: Cambridge university press.
- Blackmore, S. (1997). *An Introduction to Precision Farming*. Retrieved from Silsoe College, UK.: <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/precfarm.htm>
- CEI-RD. (2012). *CEI-RD*. Recuperado el 2018, de http://www.cei-rd.gov.do/estudios_economicos/estudios_productos/perfiles/El_Sector_Agropecuario.pdf
- CLIMATE-MODEL. (2012). *Climate-Data.ORG*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/764344/>
- Constantino, V. (2002). *Dpto. Ingeniería Rural, E.T.S.I, Agrónomos*. Madrid: Universidad Politécnica.
- DE LUCA, D. (2013). *Apss HTML5 para móviles - Desarrollo de aplicaciones para smartphones y tablets basado en tecnologías Web*. Alfaomega Grupo Editor.
- Hoy. (4 de Mayo de 2004). Avanza tecnología en agricultura de Constanza. *Hoy Digital*. Obtenido de <http://hoy.com.do/avanza-tecnologia-en-agricultura-de-constanza/>

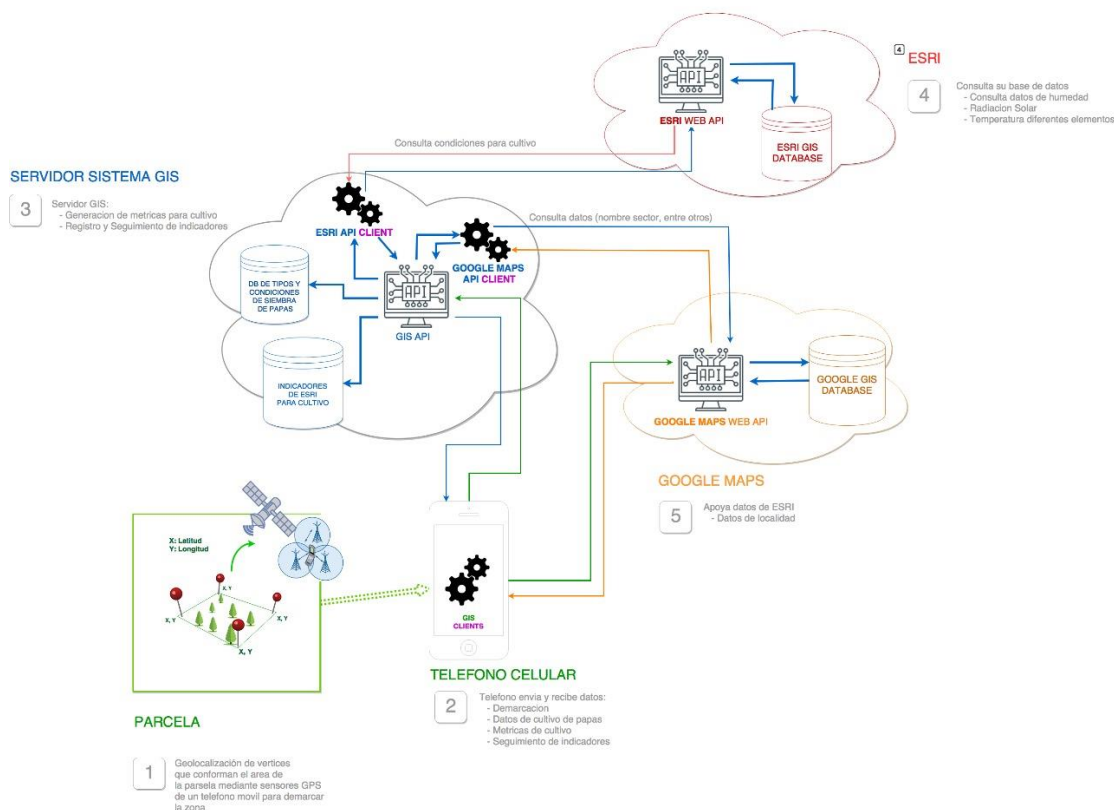
- IICA. (2006). *Argicultura de Precision:*. (R. Bongiovanni, E. Chartuni Mantovani, S. Best, & Á. Roel, Edits.) IICA. Obtenido de <https://goo.gl/AAwtuk>
- INICIA. (2018). *INTERIOR*. Obtenido de INTERIORRD: <https://interiorrd.com/la-papa/>
- J., S. P. (2013). *The Everything Guide to Mobile Apps: A Practical Guide to Affordable Mobile App Development for Your Business*. Everything Books,.
- JavaScript, A. A. (2018). *ArcGIS for Developers*. Obtenido de https://developers.arcgis.com/javascript/3/jssamples/map_simple.html
- Jiménez López, A. F. (2015). Análisis multiespectral de la vegetación para aplicaciones de sensado remoto. *Iteckne*. Obtenido de <http://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/ITECKNE/article/view/1242/1026>
- LanceTalent. (20 de febrero de 2014). *LanceTalent*. Obtenido de <https://www.lancetalent.com/blog/tipos-de-aplicaciones-moviles-ventajas-inconvenientes/>
- lancetalent. (2018). *Lancetalent.com*. Obtenido de <https://www.lancetalent.com/blog/tiposde-aplicaciones-moviles-ventajas-inconvenientes/>
- Listin Diario. (14 de Noviembre de 2017). Promueven modelo agricultura de precisión. *Listin Diario*. Obtenido de <https://www.listindiario.com/economia/2017/11/14/490434/promueven-modelo-agricultura-de-precision>
- Lowenberg-DeBoer, J. (1998). *In Agricultural Machine* (Vols. SP-1383,). PA, Warrendale: Systems,Society of Automotive Engineers.
- Microsoft Azure. (2018). *Microsoft Azure*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/types-of-cloud-computing/>

- Montaldo, A. (1991). *Cultivo de Raice y Tuberculos Tropicales* (2da ed.). San Jose, Costa Rica: IICA. Obtenido de <http://repiica.iica.int/docs/B4130e/B4130e.pdf>
- Morgan, M., & Ess, D. (1997). *The Precision-Farming Guide for Agriculturalists*. . Moline, IL: John Deere.
- NCEI, N. (2018). *Web Services API (version 2) Documentation*. Obtenido de NOAA: [Ncdc.noaa.gov](http://ncdc.noaa.gov). Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/webservices/v2>
- NOAA. (s.f.). *National Centers for Environmental Information*. Obtenido de <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/webservices/v2#gettingStarted>
- Peña Llopis, J. (2010). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio* (Cuarta ed.). Club Universitario. Obtenido de <https://goo.gl/nPu4HL>
- Riera, C., & Barrionuevo, N. (06 de Octubre de 2015). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/>
- Robert, P. C. (1999). *Precision Agriculture: An Information Revolution in Agriculture*. Agricultural. Madison, WI.
- Rubio C., O. A., Rangel, G. J., Flores, L. R., Magallanes, G. J., Díaz, H. C., Zavala, Q. T., . . . Paredes, T. A. (2000). *Manual la Producción de Papa en las Sierras y Valles Altos*. Mexico: Libro Tecnico No.1 División Agrícola. INIFAP.
- Sheldon, R., & Shor, J. (2017). *Search Data Center en Español*. Obtenido de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Base-de-datos-en-la-nube>
- Sosinsky, B. (2010). *Cloud Computing Bible* (illustrated ed.). Indianápolis, Indiana, EEUU: John Wiley & Sons. Retrieved from <https://books.google.com.do/books?id=aY4Kil7kblcC>

- Srinivasan, A. (2006). *Handbook of Precision Agriculture: principles and applications*. New York: Food Products.
- Vazquez Chacón, J. Y. (15 de Agosto de 2014). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/josevazquez7503/factores-contaminantes-del-ambiente>
- VICINI. (2013). Interior, Cosechas de la República Dominicana. (L. Norieg, Ed.) República Dominicana: Amigo Del Hogar. Obtenido de <https://interiorrd.com/la-papa>

ANEXOS

Mapa conceptual



El diagrama muestra el funcionamiento del sistema:

- Geolocalización de vértices que conforman el área de la parcela mediante sensores GPS de un teléfono móvil para marcar la zona.
- Teléfono envía y recibe datos:
 - Demarcación
 - Datos de cultivo de papas
 - Métricas de Cultivo
 - Seguimiento de indicadores.
- Servidor de sistema GIS
 - Generación de métricas para cultivo
 - Registro y seguimiento de indicadores.
- ESRI
 - Consulta la base de datos

- Consulta datos de humedad
- Radiación solar
- Temperatura diferente elementos
- Google Maps
 - Apoya datos ESRI
 - Datos de Localidad

Diagrama de datos preliminar

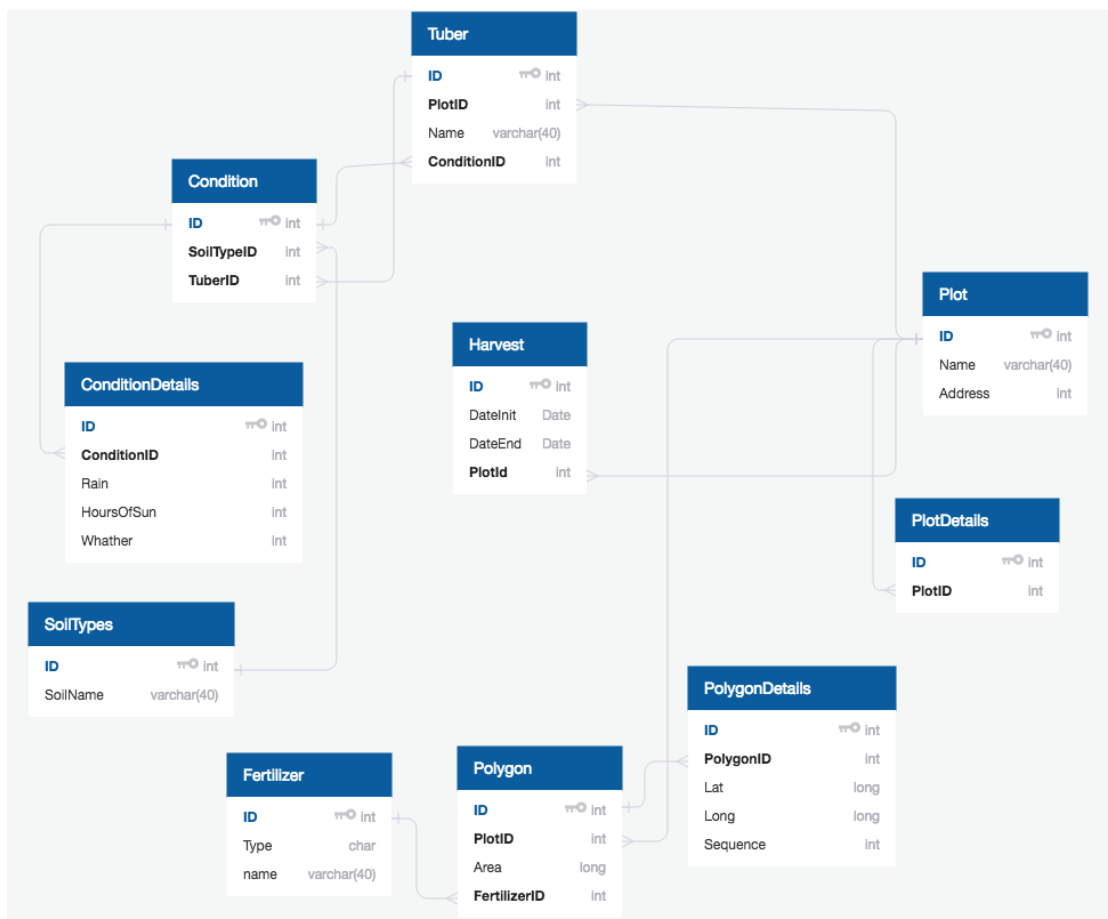


Ilustración 8. Esquema inicial básico de base de datos del Sistema

Propuesta financiera

Con esta propuesta financiera se va a realizar un análisis de la factibilidad del sistema de agricultura de precisión como una compañía propia, en la cual se administra la aplicación.

Para la creación de la aplicación móvil vamos a contratar a tres programadores especialistas en el desarrollo de aplicaciones móviles. Hemos realizado una cotización sobre el valor total de la aplicación y este da un total de **RD\$ 1, 221, 420.00**. La compañía durará un lapso de 6 meses creando la aplicación. Se ubicará un local donde se estará desarrollando la aplicación. Este contará con diversos servicios que ayudarán a crear un ambiente adecuado para desarrollo.

Todos estos gastos de la empresa serán en pago único y pago mensual, ya que hay algunos recursos que necesitarán un pago recurrente mensualmente. Este tipo de aplicación no requiere ningún tipo de instalación especial ni nada por el estilo. La aplicación se podrá instalar mediante el gestor de aplicaciones de Android y IOS.

Por lo tanto, no se requiere ningún gasto especial en operadores de instalaciones y servicios.

El total de inversión para poder crear la compañía y tener un soporte por un mes sin tener ganancias es de **RD\$ 1, 345, 138.00**

PRESUPUESTO					
Recursos		Cantidad/Meses	Monto	Monto total	Monto mensual
Muebles					
Sillas		10	10000	DO100,000.00	DO100,000.00
Escritorios		4	15000	DO60,000.00	DO60,000.00
Estantería		1	8000	DO8,000.00	DO8,000.00
Alimentos					
Café		100	150	DO15,000.00	DO833.33
Agua		100	60	DO6,000.00	DO333.33
Azucar		150	50	DO7,500.00	DO416.67
Desechables					
Vasos		30	80	DO2,400.00	DO133.33
Servilletas		35	80	DO2,800.00	DO155.56
Papel higienico		60	70	DO4,200.00	DO233.33
Recursos tecnológicos					
Internet	Meses:	6	3000	DO18,000.00	DO3,000.00
Computadores laptop:					
HP Pavilion 15					
CPU: AMD dual-core A9 APU – Intel Core i7 I					
Graphics: AMD Radeon R5 – Nvidia GTX 1050 I					
RAM: 6GB – 16GB I					
Screen: 15.6-inch HD (1,366 x 768) –					
FHD (1,920 x 1,080); touch optional I					
Storage: 512GB SSD – 1TB HDD		5	35500	DO177,500.00	DO177,500.00
Impresora multifuncional pro:		1	20000	DO20,000.00	DO20,000.00
Servicio en la nube	Meses:	6	15000	DO90,000.00	DO15,000.00
Memoria usb 64gb		5	750	DO3,750.00	DO3,750.00
Proyector		1	25000	DO25,000.00	DO25,000.00
Disco externo 1tb		1	5000	DO5,000.00	DO5,000.00

Otros					
Aire acondicionado		1	110000	DO110,000.00	
Zafacón		1	500	DO500.00	
Cartuchos de impresora:		10	2500	DO25,000.00	
Servicios Operacionales					
Agua	Meses:	6	500	DO3,000.00	DO166.67
Luz	Meses:	6	3500	DO21,000.00	DO1,166.67
Local	Meses:	6	15000	DO90,000.00	DO5,000.00
Limpieza					
Empresa de limpieza		1	10000	DO10,000.00	DO10,000.00
Transporte					
Combustible:		3	20000	DO60,000.00	DO3,333.33
Materiales de oficina					
Resma de papel		50	200	DO10,000.00	DO3,333.33
Grapadoras		2	550	DO1,100.00	DO366.67
Grapas		150	30	DO4,500.00	DO1,500.00
Clips		150	20	DO3,000.00	DO1,000.00
Folders		200	5	DO1,000.00	DO333.33
Marketing					
Resma de papel		1	15000	DO15,000.00	DO15,000.00
Licencias y Servicios:					
Sublime Text	Meses:	6	5000	DO30,000.00	DO1,666.67
Photoshop	Meses:	6	1120	DO6,720.00	DO373.33
Talento Humano					
Programación	Meses (18)	3	DO35,000.00	DO630,000.00	
Marketing	Meses (18)	1	DO30,000.00	DO180,000.00	
			Recursos	DO1,745,970.00	
			SubTotal	DO1,745,970.00	
			Overhead	DO349,194.00	
			Ganancias	DO1,047,582.00	
			Total	DO3,142,746.00	
			USD	\$66,866.94	

Fuente: Propia del autor

La aplicación no contará con diferentes planes de la misma, es decir, no habrá versiones superiores o inferiores, sólo es una versión única para todos los usuarios que la utilicen.

Se realizó un cálculo con las ganancias obtenidas en un mes con un total de 45 personas utilizando la aplicación móvil. Este cálculo dio como resultado unas ganancias de RD\$ 157, 500.00 pesos. Esto es teniendo un costo de adquisición de la aplicación por US\$ 70.99, es decir, RD\$ 3,500.00 pesos. Este

cálculo se hizo a partir del 1er mes de uso de la aplicación luego de lanzarla al mercado.

Siguiendo la misma línea, aumentando un 20% de los clientes que adquieren la aplicación podemos ver un aumento considerable para el segundo mes luego de lanzarla. De este modo, los clientes que han adquirido la aplicación para el segundo mes serían un total de 54. Por ende, las ganancias ascenderán a RD\$ 189,000.00 pesos.

Así las ganancias totales a base de clientes, en dos meses de lanzamiento, será de RD\$ 346, 500.00 pesos. Esto quiere decir que en dos meses habremos recuperado un 19.84% de lo invertido. Si seguimos en esa misma marcha podremos recuperar los gastos invertidos (tomando en cuenta bajas y altas alrededor de 20% de las primeras ganancias) en el 8vo mes de lanzamiento, necesitando un total de 500 usuarios utilizando la aplicación para poder cumplir con el objetivo.