



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

Implementación de software para el monitoreo de estrés abiótico en el
cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

AUTORA:

Johanna Michelle Mosquera Procel

TUTOR:

Ing. Agr. Xavier Alberto Gutiérrez Mora, MAE.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

RESUMEN

En el desarrollo de la presente investigación realizada "Implementación de software para el monitoreo de estrés abiótico en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)". El maíz es una planta que forma parte de la familia de las gramíneas y se encuentra entre los cereales más cultivados a nivel mundial. Además, este grano es considerado el más importante en todo el mundo, con una producción que sobrepasa el billón de toneladas, mientras que el uso de software agrícola permite a los agricultores mejorar la eficiencia y el control en todas sus operaciones. Estas herramientas digitales, están diseñadas para abordar las necesidades y desafíos de la agricultura, agilizan la toma de decisiones cruciales en la gestión agrícola. Tiene como objetivo general describir el uso de software para el monitoreo de estrés abióticos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). En su metodología se reunió información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación. En cuanto al resultado esta tecnología permite identificar de forma temprana las zonas afectadas por estrés abiótico. Además, esta optimización reduce los costes operativos y aumenta el rendimiento, es así como este resultado subraya la importancia de continuar la investigación y el desarrollo de soluciones que mejoren el uso de software de monitoreo del estrés abiótico para aumentar la resiliencia y la productividad de los cultivos de maíz en todo el mundo. Se concluye lo siguiente, estos programas facilitan la detección temprana y efectiva del estrés abiótico, optimizando el uso de recursos y mejorando el rendimiento de los cultivos.

Palabras claves: Desafíos, estrés abiótico, maíz, rendimiento, software.

SUMMARY

In the development of the present research carried out “Implementation of software for monitoring abiotic stress in corn (*Zea mays* L.) Cultivation”. Corn is a plant that is part of the grass family and is among the most cultivated cereals worldwide. In addition, this grain is considered the most important in the world, with a production that exceeds one billion tons, while the use of agricultural software allows farmers to improve efficiency and control in all their operations. These digital tools are designed to address the needs and challenges of agriculture, streamlining crucial decision-making in agricultural management. Its general objective is to describe the use of software for monitoring abiotic stress in corn (*Zea mays* L.) cultivation. In its methodology, information was gathered from current documents, research articles, virtual libraries and websites to help present the opinions and ideas of the actors that allow research developments. As for the result, this technology allows early identification of areas affected by abiotic stress. Furthermore, this optimization reduces operating costs and increases yield, thus underlining the importance of continuing research and development of solutions that improve the use of abiotic stress monitoring software to increase the resilience and productivity of corn crops worldwide. It is concluded that these programs facilitate the early and effective detection of abiotic stress, optimizing the use of resources and improving crop yield.

Keywords: Challenges, abiotic stress, corn, performance, software.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Líneas de investigación	4
2. DESARROLLO	5
2.1 Marco conceptual.....	5
2.1.1 Origen del maíz	5
2.1.2. Morfología.....	5
2.1.2.1. Raíz	5
2.1.2.2. Tallo	6
2.1.2.3. Hojas.....	6
2.1.2.4 Flores.....	6
2.1.2.5. Fruto	6
2.1.3. Definición de estrés abiótico	6
2.1.4 Impacto del estrés abiótico en el maíz.....	7
2.1.5. Tipos de estrés abiótico en el maíz.....	7
2.1.5.1. Sequía	7
2.1.5.2. Salinidad	7
2.1.5.3. Inundación	7
2.1.5.4. Heladas.....	8
2.1.5.5. Calor	8
2.1.6. Tecnologías de monitoreo en la agricultura.....	8
2.1.6.1. Sensores inteligentes	8
2.1.6.2. GPS	8
2.1.6.3. Teledetección satelital	9
2.1.6.4. Drones	9
2.1.7. Software de monitoreo en la agricultura	9
2.1.7.1. Características del software agrícola	9

2.1.8. Diferentes tipos de software para el monitoreo de estrés abióticos en el cultivo de maíz.....	10
2.1.8.1 Software basado en sensores IoT.....	10
2.1.8.2 Software de análisis de imágenes aéreas	11
2.1.8.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	12
2.1.8.4 Pix4D	13
2.1.8.5 Drone link.....	14
2.1.9. Impacto de la implementación del software	15
2.1.9.1 Beneficios del uso de software para el monitoreo de estrés abióticos en el maíz	15
2.1.9.2. Indicar los software más eficientes para el monitoreo de estrés abiótico en el cultivo de maíz	16
2.2. Marco metodológico.....	17
2.3. Resultados	17
2.4 Discusión de resultados.....	18
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
3.1. Conclusiones	20
3.2. Recomendaciones	20
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	22
4.1. Referencias bibliográficas.....	22
4.2. Anexos	26
.....	26

Tabla de Figuras

Figura 1: Software de IoT por medio del sensor libelium	8
Figura 2: Plan de vuelo y muestreo realizado con software DroneDeploy.....	9
Figura 3: Sistema de información geográfica.....	10

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

El maíz es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas y es uno de los cereales más producidos en el mundo, junto con el trigo y el arroz. En muchos países de América, el maíz constituye la base de la alimentación regional. Este grano es considerado el más relevante a nivel global, con una producción que supera el billón de toneladas. Durante más de un siglo, el maíz ha sido utilizado como modelo biológico en numerosos estudios. El maíz juega un papel crucial en el sector agrícola, representando una tradición productiva, de consumo y socioeconómica, lo que ha permitido que esta planta perdure hasta nuestros días (Sánchez *et al.* 2021).

Uno de los granos más importantes cultivados en Ecuador es el maíz, debido a su relevancia en la alimentación, especialmente entre las comunidades indígenas. Este cereal, visto como un "generador de vida," es esencial y simboliza una parte crucial de la identidad de nuestros ancestros, este cultivo se ha realizado durante siglos, ya que representa una fuente económica vital para numerosos agricultores ecuatorianos (Guerrero 2020).

El uso de software agrícola permite a los agricultores mejorar la eficiencia y el control en todas las facetas de sus operaciones. Estas herramientas digitales, específicamente diseñadas para abordar las necesidades y desafíos de la agricultura, agilizan la toma de decisiones cruciales en la gestión agrícola. Sin embargo, el software agrícola no solo ahorra tiempo, sino que también ayuda a los agricultores a tomar decisiones fundamentadas en los cultivos, lo que aumenta las probabilidades de encontrar soluciones a largo plazo y establecer negocios agrícolas sostenibles (Burgos 2023).

El maíz, como uno de los principales cultivos alimentarios a nivel global, enfrenta constantes riesgos ambientales, como la sequía, altas temperaturas, salinidad y el frío extremo, que pueden impactar negativamente su desarrollo y productividad. En respuesta a esta situación, la adopción de software especializado para el monitoreo del estrés abiótico en el maíz emerge como una herramienta esencial para los agricultores. Esto les permite tomar decisiones oportunas, lo que

les ayuda a contrarrestar los efectos adversos de estas condiciones ambientales y proteger así sus cultivos de manera más efectiva.

1.2. Planteamiento del problema

La creciente dependencia de los pequeños y medianos agricultores ecuatorianos en el software agrícola plantea desafíos significativos. Aunque esta tecnología les ofrece una ventaja competitiva en el mercado, enfrentan obstáculos como la dificultad de acceso y la necesidad de capacitación. Además, la excesiva dependencia del software los hace vulnerables a posibles fallos o falta de actualizaciones. Esta situación destaca la urgente necesidad de abordar la brecha tecnológica y garantizar un acceso equitativo a herramientas digitales que impulsen la productividad y sostenibilidad en el sector agrícola (Burgos 2023).

Las condiciones ambientales se ven afectadas tanto por el calentamiento global y la ubicación geográfica de nuestro país, razón por la cual al no tener un monitoreo permanente el agricultor desconoce el estado real de sus plantaciones. Además, en su gran mayoría se encuentran alejadas de su lugar de vivienda. Incluso al tener un monitoreo se presenta la necesidad de poder controlar parcial o totalmente variables climáticas, como el estrés abiótico, que puede surgir debido a factores como la temperatura extrema, la sequía o el exceso de humedad, y que pueden tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Rojas 2019).

La implementación de software destinado al monitoreo del estrés abiótico en los cultivos de maíz presentan diversos desafíos significativos. En particular, los agricultores que operan a pequeña escala, se ven limitados por la falta de acceso y conocimiento acerca de estas herramientas tecnológicas, al mismo tiempo que la inversión puede resultar excesiva. Además, la falta de capacitación técnica reduce la capacidad de los agricultores para comprender los datos generados por el software. Por eso, para superar estos desafíos es esencial que todos los agricultores puedan aprovechar al máximo estas tecnologías y abordar de manera efectiva los desafíos planteados por el cambio climático en la producción de maíz.

1.3. Justificación

La adopción de software para monitorear el estrés abiótico en los cultivos de maíz es crucial debido a los desafíos climáticos crecientes en la agricultura. Este cultivo, esencial a nivel global, se ve afectado por condiciones climáticas extremas como sequías, inundaciones y cambios de temperatura, lo que perjudica su producción y la seguridad alimentaria. Por ello, contar con herramientas que permitan detectar y prever estos factores de estrés abiótico de manera precisa y oportuna es vital para los agricultores, quienes podrán tomar decisiones adecuadas y aplicar prácticas de manejo adecuadas para contrarrestar los impactos negativos en la producción de maíz.

Además, la introducción de software puede estimular la innovación y el avance tecnológico en el ámbito agrícola, generando nuevas oportunidades de empleo y teniendo un impacto positivo en las comunidades rurales. Al dotar a los agricultores con herramientas digitales de vanguardia, se abren nuevas perspectivas para la agricultura de precisión, la agricultura inteligente y otras prácticas agrícolas sostenibles. Esto no solo beneficia a los agricultores individuales, sino que también contribuye al desarrollo económico y social de las zonas rurales en su totalidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Describir el uso de software para el monitoreo de estrés abióticos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los diferentes tipos de software para el monitoreo de estrés abióticos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).
- Detallar los beneficios del uso de software para el monitoreo de estrés abióticos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).
- Indicar los software más eficientes para el monitoreo de estrés abiótico en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

1.5. Líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: “Implementación de software para el monitoreo de estrés abiótico en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)”. En este contexto, la línea específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Mitigación y adaptación al cambio climático.

2. DESARROLLO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Origen del maíz

Paliwal (s,f), manifiesta que el maíz tiene su centro de origen en México hacia diversas partes del mundo, al igual que su evolución como planta cultivada y productora de alimentos, es así como habitantes de varias tribus indígenas de América Central y México llevaron esta planta a otras regiones de América Latina, al Caribe, y luego a Estados Unidos y Canadá. Además, se considera que los agricultores comenzaron a desarrollar el maíz mediante un proceso de selección, conservando las semillas de las mazorcas más deseables para sembrarlas en la siguiente temporada.

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos alimenticios más antiguos conocidos y una de las especies cultivadas más productivas, tiene el mayor potencial para producir carbohidratos por unidad de superficie por día. En el Ecuador, este grano se ha cultivado durante siglos, siendo una importante fuente de ingresos para las familias agricultoras. Además, es esencial utilizar productos de calidad como fertilizantes, insecticidas, fungicidas y semillas híbridas para asegurar una cosecha abundante y robusta (Maridueña 2020).

El maíz es un cultivo de gran importancia económica en el Ecuador, cultivado en todo el país bajo diversas condiciones ambientales, incluyendo variaciones de temperatura, humedad, régimen de lluvias, luminosidad, labranza y tipos de suelos. Es la principal materia prima para la producción de alimentos balanceados destinados a la industria animal (Delgado 2019).

2.1.2. Morfología

Guerrero (2020), menciona las principales partes del maíz y sus características morfológicas.

2.1.2.1. Raíz

El maíz tiene un sistema radicular fasciculado bastante extenso, compuesto por tres tipos de raíces: las raíces primarias, que incluyen la radícula y las raíces seminales, emitidas por la semilla; las raíces principales o secundarias, que se forman a partir de la corona, por encima de las raíces primarias, y constituyen la

mayor parte del sistema radicular; y las raíces aéreas o adventicias, que se desarrollan en los nudos de la base del tallo, por encima de la corona.

2.1.2.2. Tallo

El tallo del maíz es simple, erecto y puede alcanzar una altura de hasta 4 metros. Es robusto y sin ramificaciones, con una apariencia similar a la de una caña. No presenta entrenudos y tiene una médula esponjosa visible en un corte transversal.

2.1.2.3. Hojas

Las hojas del maíz son similares a las de otras gramíneas y están compuestas por vaina, cuello y lámina. La vaina es una estructura cilíndrica y abierta hasta la base, que emerge de la parte superior del nudo. El cuello es la zona de transición entre la vaina envolvente y la lámina abierta. La lámina es una banda estrecha y delgada que puede medir hasta 1,5 metros de largo por 10 centímetros de ancho, terminando en un ápice muy agudo.

2.1.2.4 Flores

El maíz es una planta monoica, es decir, tiene flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las flores están representadas por la espiga, mientras que las flores pistiladas o femeninas son las mazorcas.

2.1.2.5. Fruto

El grano o fruto del maíz es una cariósida está fusionada con la cubierta de la semilla, o testa, y ambas forman conjuntamente la pared del fruto. El fruto maduro consta de tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide.

2.1.3. Definición de estrés abiótico

El estrés abiótico abarca todas las condiciones ambientales que disminuyen el crecimiento y rendimiento de las plantas por debajo de sus niveles óptimos, impactando significativamente su productividad. Esto reduce la calidad y disponibilidad de cultivos de importancia agronómica. Ejemplos de estrés abiótico que afectan a las plantas incluyen la escasez de agua, temperaturas extremas, reducción de nutrientes disponibles en el suelo, exceso de iones tóxicos, exceso o falta de luz, y aumento de la dureza en suelos secos, entre otros (Gómez 2018).

2.1.4 Impacto del estrés abiótico en el maíz

Méndez y Vallejo (2019) mencionan ciertos de los mecanismos de respuesta al estrés abiótico en el maíz.

- **Fotosíntesis y producción de carbohidratos:** El estrés abiótico puede interferir con la fotosíntesis y la producción de carbohidratos, lo cual impacta el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- **Síntesis de aminoácidos y lignina:** Las condiciones estresantes pueden modificar la síntesis de aminoácidos y lignina en el maíz, afectando su resistencia y capacidad de adaptación.
- **Variaciones de temperatura:** Los cambios extremos de temperatura pueden dañar las enzimas y los tejidos del maíz, interrumpir la floración y causar estrés oxidativo durante la fase reproductiva.

2.1.5. Tipos de estrés abiótico en el maíz

Nafarrate (2018), señala los diferentes tipos de estrés abióticos.

2.1.5.1. Sequía

La sequía es el principal factor de estrés abiótico a nivel mundial, disminuyendo significativamente el rendimiento de los granos y afectando gravemente la capacidad de satisfacer las necesidades alimentarias de una población mundial en constante crecimiento. El maíz, en particular, es muy vulnerable a la sequía, ya que las plantas necesitan agua para la elongación y división celular. La falta de agua retrasa gravemente el crecimiento vegetativo de las plantas.

2.1.5.2. Salinidad

El estrés por salinidad impacta el desarrollo y crecimiento, aunque la respuesta de las plantas varía según el nivel de estrés y la etapa fenológica. Incluso una breve exposición a la salinidad puede afectar negativamente el crecimiento de la planta.

2.1.5.3. Inundación

La inundación es un problema frecuente en estos sistemas; la parte aérea de las plantas de maíz puede verse afectada por el exceso de humedad cuando ocurren lluvias abundantes durante la floración, perjudicando la dispersión del

polen. Las inundaciones provocan el cierre de las estomas, un crecimiento limitado, clorosis, una reducción en el desarrollo de las raíces y la muerte de la planta. La inundación parece disminuir la conductividad hidráulica, las altas temperaturas y la alta radiación intensifican el estrés sobre el cultivo, probablemente al inducir estrés hídrico.

2.1.5.4. Heladas

La exposición al frío paraliza las actividades enzimáticas y reduce la fluidez de las membranas celulares, lo que puede afectar el transporte de agua y nutrientes y detener la producción de la planta. Si la temperatura desciende de manera intensa y repentina, la planta corre el riesgo de congelarse, formando cristales de hielo dentro de las células y causando una deshidratación celular severa.

2.1.5.5. Calor

La exposición prolongada a temperaturas extremadamente altas daña las células al inactivar enzimas y desnaturalizar proteínas, lo que aumenta la fluidez de las membranas celulares y altera la permeabilidad de los solutos. Además, el calor intensifica la respiración de las plantas en relación con la fotosíntesis, lo que puede llevar a una paralización del crecimiento.

2.1.6. Tecnologías de monitoreo en la agricultura

2.1.6.1. Sensores inteligentes

La incorporación de sensores inteligentes en la agricultura ha sido fundamental para la transformación digital de las explotaciones agrícolas. Estos sensores, al detectar datos cruciales, permiten evaluar el estado de los cultivos y planificar intervenciones específicas mediante análisis y comparaciones (Anexo 1). El uso de estos datos en la toma de decisiones no solo reduce la necesidad de mano de obra en el campo, sino que también asegura una mayor calidad en las operaciones, especialmente en las actividades de monitoreo, a la vez que disminuye el consumo de recursos (Bustamante 2024).

2.1.6.2. GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), inicialmente desarrollado con fines militares por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para mejorar la navegación, se ha transformado en un sistema de localización basado en

satélites. Su impacto en la agricultura ha sido crucial para optimizar los procesos productivos, reduciendo significativamente el tiempo que los agricultores dedican a tareas convencionales (Anexo 2). A través de la recopilación de datos de sensores y la información precisa de parámetros geolocalizados, es posible identificar con exactitud la ubicación de problemas, permitiendo una gestión más eficiente en el ámbito agrícola (Oquelis y Landa 2020).

2.1.6.3. Teledetección satelital

La teledetección satelital es una herramienta valiosa que permite la observación no destructiva de los cultivos a gran escala de manera remota (Anexo 3). A través del uso de imágenes satelitales, se pueden obtener series temporales que permiten realizar un seguimiento detallado del estado fenológico de los cultivos. Esta tecnología no solo identifica patrones de crecimiento, sino que también detecta posibles anomalías como plagas y enfermedades, además de evaluar los requerimientos de agua y otros factores que influyen en la producción agrícola (Bustamante 2024).

2.1.6.4. Drones

Los drones han llegado como una de las tecnologías más innovadoras en el sector agrícola, su uso va desde llevar a cabo labores como fumigación, siembra, polinización, al análisis de gestión de datos y monitoreo de plagas, entre muchas otras formas de servicio (Anexo 4). En conclusión, un dron se lo caracteriza por ser un vehículo aéreo no tripulado el cual se lo maneja de forma remota. La evolución significativa en las técnicas de agricultura de precisión se ha visto impulsada por el desarrollo de nuevos sensores y su aplicación extensiva mediante el uso de drones (Lozano y Suaterna 2019).

2.1.7. Software de monitoreo en la agricultura

2.1.7.1. Características del software agrícola

Soler (2024), señala las siguientes características sobre los software en la agricultura.

- Un software para agricultores simplifica la gestión de explotaciones agrícolas y viveros, optimizando recursos, supervisando la calidad y el rendimiento agrícola, y reduciendo los costos de producción.

- Digitaliza la gestión agrícola y habré las puertas a innovaciones, como la integración con drones agrícolas que pueden sobrevolar campos rápidamente, capturando información sobre cultivos, calidad del aire y del suelo a través de sus sensores, con el objetivo de controlar e incrementar la productividad.
- Gracias al software se puede gestionar centralizadamente y con precisión acciones como el mantenimiento y desarrollo agrícola, el uso de fertilizantes y agua, la rotación de cultivos, los tiempos de siembra y cosecha, el control de plagas, la previsión de rendimiento, la gestión de riesgos y la contabilidad de la empresa.

2.1.8. Diferentes tipos de software para el monitoreo de estrés abióticos en el cultivo de maíz

2.1.8.1 Software basado en sensores IoT

Estos programas utilizan una red de IoT que está siendo adoptada por los agricultores con el fin de mejorar la eficiencia de sus labores diarias. Por ejemplo, la colocación de sensores en los campos facilita a los agricultores la obtención de información detallada sobre la topografía y los recursos disponibles en la zona, así como sobre variables como la acidez y la temperatura del suelo. Esta adopción de tecnología agrícola de vanguardia tiene como objetivo ayudar a los agricultores a cumplir con las crecientes demandas alimentarias a nivel mundial en los siguientes años (Meola 2021).

Meola (2021) menciona los siguientes ejemplos:

- **Libelium:** Ofrece una gama de sensores diseñados para monitorear una variedad de condiciones ambientales, incluyendo la humedad del suelo, la temperatura y otros factores relevantes. Estos sensores están diseñados para ser integrados con una plataforma de gestión de datos que permite recopilar, almacenar y analizar la información recolectada.
- **Decagon Devices:** Suministra sensores especializados en la medición de la humedad del suelo y variables climáticas, los cuales pueden ser fácilmente conectados a sistemas de monitoreo en tiempo real para proporcionar datos actualizados de manera continua.

A continuación en la **figura 1**, se presenta el software de IoT por medio del sensor libelium.

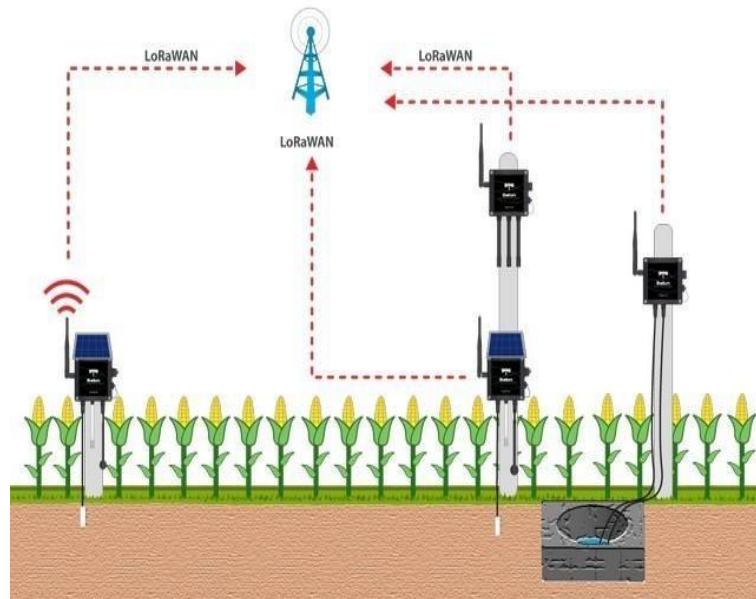


Figura 1. Software de IoT por medio del sensor libelium

Fuente: Libelium (2021).

2.1.8.2 Software de análisis de imágenes aéreas

Este tipo de software emplea imágenes obtenidas por drones, satélites y radares para analizar la salud del cultivo e identificar áreas que estén afectadas por el estrés abiótico. Por ejemplo, estos productos son fundamentales en la planificación y administración de actividades relacionadas con la previsión y control de crecidas, inundaciones y sequías, eventos que están estrechamente vinculados a la producción agrícola. Actualmente, los gestores del agua emplean esta información espacial para anticipar y medir diversos parámetros relacionados con el uso del agua, así como para manejar sequías e inundaciones (Pino 2019).

Martínez *et al.* (2016), menciona los siguientes ejemplos:

- **ArcGIS:** Desarrollado por ESRI, ArcGIS es uno de los paquetes de software SIG ampliamente utilizados a nivel global. Ofrece una extensa gama de herramientas para mapeo, análisis espacial y gestión de datos.
- **QGIS:** Como una alternativa de código abierto al software SIG comercial, QGIS se destaca por su interfaz fácil de usar y una extensa comunidad de

desarrolladores. Proporciona numerosos complementos y extensiones para funciones personalizadas.

- **GRASS GIS:** El Sistema de Soporte de Análisis de Recursos Geográficos es un paquete de software de código abierto conocido por su enfoque en el análisis y modelado geoespacial. Es especialmente popular en las comunidades académicas y de investigación.

A continuación en la **figura 2**, se presenta el plan de vuelo y muestreo realizado mediante un software de DroneDeploy.

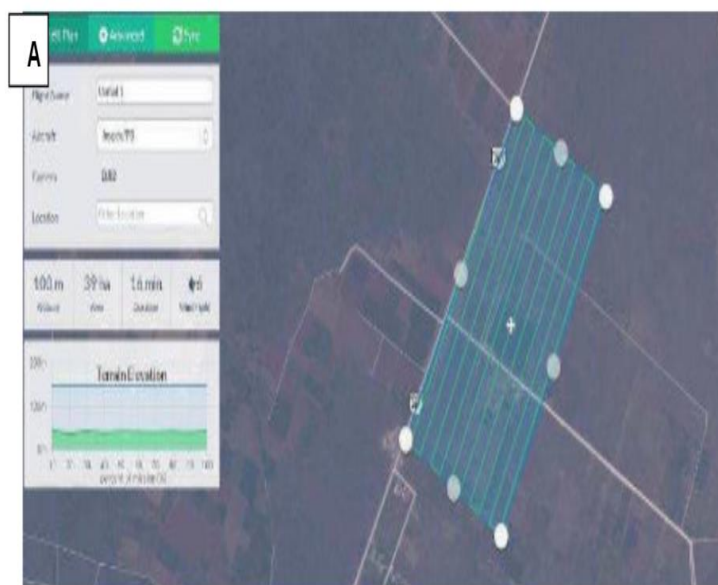


Figura 2. Plan de vuelo y muestreo realizado con software DroneDeploy

Fuente: Martínez *et al.* (2016).

2.1.8.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

García *et al.* (2020), menciona que la agricultura permite a los agricultores gestionar datos obtenidos de satélites y otros tipos de sensores mediante bases de datos georreferenciadas. Numerosos estudios de investigación han abordado diversos problemas desde la perspectiva de los SIG para disminuir el impacto ambiental de la agricultura. Estas aplicaciones incluyen la reducción del riesgo de desastres, el monitoreo y modelado del cambio en el uso del suelo, la detección del cambio climático, la creación de mosaicos del subsuelo, la identificación de áreas de drenaje y la localización de humedales.

A continuación, en la **figura 3**, se presenta el sistema de información geográfica.



Figura 3: Sistema de información geográfica

Fuente: García *et al.* (2020).

2.1.8.4 Pix4D

Pix4D es un software avanzado para el procesamiento de imágenes obtenidas mediante mapeo con drones y dispositivos móviles. Utilizando algoritmos de vanguardia y técnicas fotogramétricas avanzadas, este software genera nubes de puntos, modelos digitales de superficie y alta precisión, siendo una herramienta clave en el ámbito de la fotogrametría. Además, Pix4D ofrece una gama de dispositivos para la captura de datos, como cámaras y sensores, que complementan su funcionalidad. Es una solución integral y versátil, apta para diversas industrias que requieren datos e información de gran detalle y exactitud. (Pierre 2024).

El uso de drones para monitorear campos de cultivo mediante la recolección de imágenes multispectrales tiene como objetivo, según el director general de Pix4D, "desarrollar nuevos métodos y técnicas de análisis de imágenes para fomentar la agricultura sostenible, proteger los recursos naturales y garantizar los medios de subsistencia para las futuras generaciones" (UAV 2022).

A continuación, en la **figura 4**, se presenta el software Pix4D.

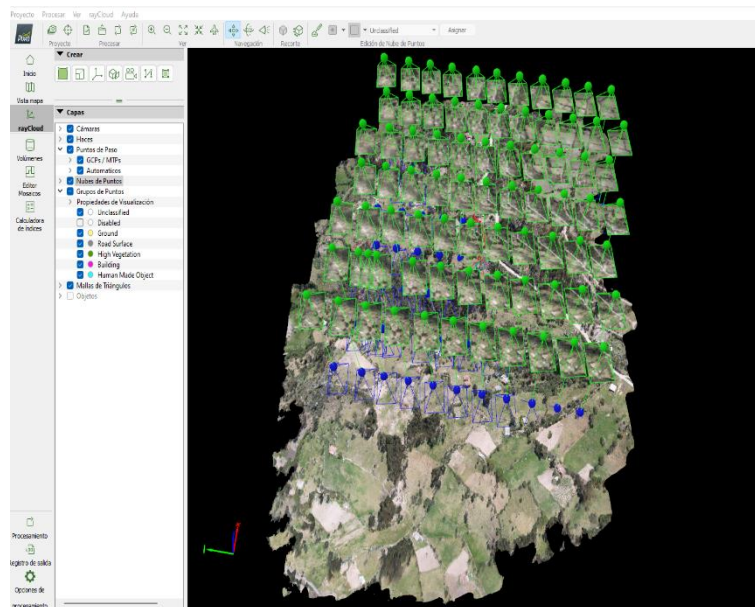


Figura 4: Pix4D enterprise 4.5.6

Fuente: Cordova (2023).

2.1.8.5 Drone link

Dronelink es una herramienta clave en la agricultura, ya que facilita la automatización y optimización de vuelos de drones para un monitoreo detallado de los cultivos. Además, permite la planificación y ejecución de vuelos repetitivos, los agricultores pueden obtener imágenes y datos multispectrales que ayudan a evaluar la salud de las plantas, identificar plagas y medir el rendimiento de los cultivos. Esto optimiza la gestión de los insumos y fomenta prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles. Compatible con drones DJI, Dronelink se ajusta a diversas necesidades agrícolas, mejorando la precisión en la agricultura de precisión (Padilla y Sotamba 2024).

En Dronelink, un plan de vuelo o misión de mapeo se emplea para generar modelos 3D. Este plan se configura mediante patrones de mapeo que permiten capturar automáticamente fotografías en puntos específicos, definidos como inicio y final del recorrido dentro del área designada. Es posible configurar parámetros como la altura, la velocidad de vuelo, los traslapes longitudinales y transversales, para asegurar el uso adecuado de la cámara (Padilla y Sotamba 2024).

A continuación, en la **figura 5**, se presenta un plan de vuelo con Dronelink.



Figura 5: Plan de vuelo creado en Dronelink

Fuente: Padilla y Sotamba (2024).

2.1.9. Impacto de la implementación del software

2.1.9.1 Beneficios del uso de software para el monitoreo de estrés abióticos en el maíz

Medina (2023), menciona los beneficios que tiene la implementación del uso de software en las plantas.

- **Mejorar la productividad agrícola y garantizar la trazabilidad:** Un software agrícola permite equilibrar los gastos de producción y los beneficios obtenidos de las ventas, aumentando así la productividad del negocio. Al automatizar la mayoría de los procesos, se pueden agilizar las tareas diarias, reducir errores y ofrecer productos de mayor calidad a los clientes.
- **Incrementar los ingresos de la gestión agrícola:** Aumentar la productividad facilita incrementar significativamente el margen de ingresos. Con un software para agricultores, la producción será más eficiente y los costos se minimizarán, mejorando así la ventaja competitiva.
- **Introducir innovación tecnológica como la agricultura de Precisión:** El software agrícola permite un control en tiempo real de la gestión de cultivos y realizar predicciones del rendimiento agrícola considerando riesgos climáticos y la reducción de productos químicos. La monitorización y los

sensores de campo, junto con el uso de drones, permiten un seguimiento preciso del crecimiento de las plantas, el control de plagas y malas hierbas, la fertilización y el riego, así como de las condiciones meteorológicas y del suelo.

- **Mejorar tu reputación como agricultor:** Otra ventaja de utilizar un software agrícola es que, al automatizar procesos, ofrecer productos de mayor calidad y lograr mayores niveles de productividad, tu prestigio como productor agrícola mejorará. Esto convertirá tu negocio en una entidad de referencia en el sector agrario y potenciará su rentabilidad al máximo.

2.1.9.2. Indicar los software más eficientes para el monitoreo de estrés abiótico en el cultivo de maíz

Vásquez (2018), señala los software más eficientes en el cultivo de maíz.

- **FieldView (Climate Corporation):** Este software permite la gestión agrícola al ofrecer una plataforma completa para la recopilación y análisis de datos. Permite a los agricultores supervisar el rendimiento de los cultivos en tiempo real mediante mapas interactivos que reflejan la salud de las plantas y las condiciones del suelo. Esto facilita ajustes precisos en la aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios, optimizando el uso de insumos y reduciendo costos.
- **Aquacrop:** Es una herramienta de modelización que se centra en la gestión del agua en la agricultura. Mediante simulaciones, predice cómo las distintas estrategias de riego y la disponibilidad de agua afectan el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Esto ayuda a los agricultores a planificar el riego de manera más efectiva, adaptarse a condiciones cambiantes y optimizar el uso del agua, especialmente en áreas con recursos hídricos limitados.
- **DroneDeploy:** Utiliza tecnología de drones para proporcionar una visión detallada y precisa de los campos agrícolas. Los drones capturan imágenes multiespectrales y de alta resolución que se procesan para crear modelos 3D. Estos datos permiten a los agricultores realizar análisis detallados de la salud de los cultivos, identificar problemas como plagas o deficiencias nutricionales, y monitorear el crecimiento de las plantas.

2.2. Marco metodológico

Para el presente documento se reúne información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación.

Se identificaron temas relevantes en la Implementación de software para el monitoreo de estrés abiótico en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados.

2.3. Resultados

El desarrollo e implementación de software de monitoreo de estrés abiótico para la producción de maíz ha logrado resultados significativos en la detección y manejo de condiciones adversas. El monitoreo continuo y preciso de variables clave como la sequía, la inundación, la helada, el calor y la salinidad del suelo se logran mediante sensores de IoT montados en el campo, software de análisis de imágenes aéreas, sistemas de información geográfica y drones equipados con cámaras multiespectrales. Esta tecnología permite identificar de forma temprana las zonas afectadas por estrés abiótico, facilitando así la intervención rápida y eficaz de los agricultores.

La utilización de información detallada del software tiene como beneficios ajustar de manera óptima el riego y la fertilización, reducir el desperdicio y mejorar la salud de los cultivos. Esta optimización no sólo contribuye a un uso más sostenible del agua y los recursos químicos, sino que también reduce los costes operativos y aumenta el rendimiento. Por eso, los campos que manejan el uso de software aumentan su rendimiento en comparación con los campos que utilizan métodos tradicionales.

La implementación de software tuvo un impacto positivo en la toma de decisiones agrícola, según los análisis y las predicciones generados por el software, los agricultores tienen más confianza y precisión en la toma de decisiones del día a día. La capacidad de monitorear y gestionar proactivamente el estrés abiótico no solo mejora la resiliencia de los cultivos ante condiciones ambientales adversas,

sino que también promueve prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles. Estos hallazgos resaltan el potencial de los moluscos como herramientas importantes para abordar los desafíos agrícolas modernos y garantizar una producción de alimentos más segura y abundante.

El uso de software para monitorear el estrés abiótico en cultivos de maíz revela la importancia de utilizar herramientas tecnológicas para mejorar el manejo agrícola. Sin embargo, se presentan desafíos importantes como: accesibilidad y costo; capacitación y adopción e integración de datos que deben abordarse para aumentar la efectividad y disponibilidad de estas tecnologías en una variedad de entornos agrícolas. Este resultado subraya la importancia de continuar la investigación y el desarrollo de soluciones que mejoren el uso de software de monitoreo del estrés abiótico para aumentar la resiliencia y la productividad de los cultivos de maíz en todo el mundo.

2.4 Discusión de resultados

El uso de software para monitorear el estrés abiótico en maíz facilita una identificación temprana y precisa de problemas a través de sistemas basados en IoT que manejan sensores distribuidos en el campo para obtener datos en tiempo real, hasta plataformas de teledetección que utilizan imágenes satelitales, sistemas de información geográficas y drones para monitorear las condiciones del cultivo. Sin embargo, su implementación enfrenta obstáculos como elevados costos y la necesidad de formación especializada, concuerdo con lo dicho Castillo (2023) que la digitalización mejora la eficiencia, pero muchos agricultores quedan excluidos por altos costos y falta de capacitación.

Los agricultores tienen como beneficio optimizar el riego y la fertilización, disminuyendo así desperdicios y aumentando el rendimiento, donde su implementación inicial puede ser costosa. Además, facilitan intervenciones rápidas que logran advertir daños y pérdidas de rendimiento, es así como los agricultores pueden beneficiarse de estudios predictivos que brindan recomendaciones basadas en modelos históricos y actuales. Sin embargo, enfrentar estos desafíos es crucial para maximizar sus beneficios en la agricultura, concuerdo con lo dicho Soldán (2023) que la implementación de un software de gestión agrícola en una

operación agrícola resulta un incremento en los rendimientos y en la calidad de los productos, así como una mayor rentabilidad y reducción del riesgo operativo.

El software para monitorear el estrés abiótico mejora la gestión agrícola, pero enfrenta desafíos como altos costo inicial asociado con la adquisición e instalación de tecnología avanzada, lo que puede ser excesivo para pequeños agricultores. Además, el mantenimiento y la actualización del software solicitan de conocimientos expertos especializados. Abordar estos problemas es crucial para aumentar su efectividad y accesibilidad, concuerdo con lo dicho Bribiesca (2022) que la principal desventaja de los del uso de software es el alto costo inicial. Estos sistemas pueden resultar bastante costosos, especialmente según el tamaño del cultivo y las características específicas requeridas.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

La implementación de software basado en sensores IoT, análisis de imágenes aéreas, sistemas de información geográfica y drones con cámaras multispectrales ofrece una gestión agrícola avanzada y precisa. Estos programas facilitan la detección temprana y efectiva del estrés abiótico, optimizando el uso de recursos y mejorando el rendimiento de los cultivos. La adopción de estas tecnologías es crucial para mejorar la sostenibilidad y la productividad en el cultivo de maíz.

El uso de software para monitoreo de estrés abiótico en el maíz permite como beneficios la identificación temprana de problemas, mejora la utilización de recursos y eleva el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, esto facilita la toma de decisiones agrícolas más precisas y sostenibles. En definitiva, mejora la eficiencia y la resiliencia en la producción de maíz.

El utilizar estas tecnologías otorga varios inconvenientes, como altos costos iniciales, la necesidad de formación técnica y la dependencia de la tecnología. Estos aspectos pueden restringir su adopción y eficacia, especialmente en zonas con recursos limitados. Es fundamental superar estos obstáculos para aprovechar al máximo sus beneficios.

3.2. Recomendaciones

Implementar el uso de software para los pequeños agricultores que sean más accesible y sencillo para monitorear el estrés abiótico en el cultivo de maíz, por lo tanto, se sugieren los programas de FieldView y FarmLogs. Ambos software cuentan con interfaces intuitivas y son factibles con dispositivos móviles lo que facilita su uso frecuente.

Adoptar el uso de software para el monitoreo de estrés abiótico en el maíz, ya que facilita la detección temprana de problemas, optimiza la utilización de recursos y mejora el rendimiento de los cultivos. Esto contribuye a una toma de decisiones más precisa y sostenible, aumentando la eficiencia y la resiliencia en la producción de maíz.

Desarrollar programas de subsidios y financiamiento para reducir los costos iniciales de las tecnologías y ofrecer capacitación técnica adecuada a los usuarios. También es importante proporcionar soporte técnico continuo para minimizar la dependencia de la tecnología y asegurar su eficacia.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliográficas

- Bribiesca, E. 2022. Ventajas y desventajas de los sistemas de riego automatizados. (en línea, blog). Consultado 13 jul 2024. Disponible en <https://agrofacto.com/ventajas-y-desventajas-riego-automatizado/>
- Burgos, L. 31 jul 2023. Software Agrícola: Las Mejores Soluciones. (en línea, blog). Consultado 8 jun 2024. Disponible en <https://eos.com/es/blog/software-agricola/>
- Bustamante, L. 2024. Integración efectiva de las tecnologías de Big Data en la agricultura. (en línea). Tesina Ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 37 p. Consultado 15 jun 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/15979/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000085.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, P. 2023. Desafíos del sector agrícola: La tecnología como una solución hacia el futuro. (en línea, blog). Consultado 13 jul 2024. Disponible en <https://www.linkedin.com/pulse/desaf%C3%ADos-del-sector-agr%C3%ADcola-la-tecnolog%C3%ADa-como-una-soluci%C3%B3n-hacia-vqpcf/>
- Delgado, E. 2019. Manejo y control de *Agrotis ipsilon* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en el barrio El Tejar, ciudad de Ibarra. (en línea). Tesina Ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 35 p. Consultado 8 jun 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6466/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000171.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, J; Ouhbi, S; Benmouna, B; García, G; Fernández, J; Molina, J. 2020. Systematic Mapping Study on Remote Sensing in Agriculture. (en línea). *Applied Sciences*. 10(10):3456. Consultado 8 jun 2024. Disponible en <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/10/3456>

- Gómez, D. 2018. Función de los factores C/S1 BZIP en las redes reguladoras de la respuesta a estrés abiótico en *Arabidopsis thaliana*. (en línea). Tesis. PhD. Madrid. España. Universidad Politécnica de Madrid. 190 p. Consultado 15 Jun 2024. Disponible en https://oa.upm.es/52869/1/DENNYS_MARCELA_GOMEZ_PAEZ.pdf
- Guerrero, K. 2020. Descripción de los principales métodos de control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L) en la zona de Babahoyo, provincia de Los Ríos. (en línea). Tesis Ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 56 p. Consultado 18 may 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8516/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Latam. J. 2022. Pix4D: ¿Qué es y para qué sirve?. (en línea, blog). Consultado 22 ago 2024. <https://uavlatam.com/pix4d-que-es-para-que-sirve-ejemplos/>
- Lozano, C; Suaterna, J. 2019. Analítica de datos para el rendimiento en los cultivos de aguacate en Colombia. (en línea). Tesis en MSc. Bogotá, Colombia, Universidad Externado de Colombia. 123 p. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/6cb96693-9f32-49e2-a9f9-69935b46aeb7/content>
- Maridueña, M. 2020. Sistemas de producción del maíz (*Zea mays* L), en el cantón Babahoyo. (en línea). Tesina Ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 34 p. Consultado 8 jun 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8486/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000280.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martinez, J; Ramirez, M; Cámara, J. 2016. Innovación tecnológica para la seguridad alimentaria. (en línea). Tabasco, México. 105 p. Consultado 8 jun 2024. Disponible en https://www.academia.edu/30080962/Uso_de_drones_en_la_agricultura_prueba_piloto_en_el_sitio_experimental_Uxmal_Yucat%C3%A1n
- Medina, J. 16 mar 2023. Qué es y para qué sirve un software agrícola. (en línea, blog). Consultado 15 jun 2024. Disponible en

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/03/16/que-es-y-para-que-sirve-un-software-agricola/>

Méndez, C; Vallejo, M. 2019. Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: hacia una perspectiva de las especies forestales. (en línea). Revista Mexicana De Ciencias Forestales 10 (56). México, ME. Consultado 8 jun 2024. Disponible <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/567>

Meola, A. 2 feb 2021. Smart Farming in 2020: How IoT sensors are creating a more efficient precision agriculture industry. (en línea, blog). Consultado 8 jun 2024. Disponible en <https://www.businessinsider.com/smart-farming-iot-agriculture>

Nafarrate, D. 2022. Silicio en la tolerancia a factores de estrés abiótico en maíz. (en línea). Tesis Ing. Montecillo, Estado de México, Colegio de Postgraduados. 153 p. Consultado 21 may 2024. Disponible en http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3288/Nafarrate_Ramos_D_MC_Edafologia_2018.pdf;jsessionid=FF3DB599B4709625AB1A78DD88D33CD3?sequence=1

Oquelis, Á; Landa, D. 2020. Desarrollo de un controlador agrícola para agricultura de precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico. (en línea). Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Piura, Perú, UDEP. 88 p. Consultado 15 jun 2024. Disponible en <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/2a92750b-1465-424b-b606-529a45ae4203/content>

Padilla, B; Sotamba, B. 2024. Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el sector Cisneros de Tapi, Riobamba ". (en línea). Tesis. Ing. Riobamba, Ecuador, Universidad Nacional De Chimborazo. 115 p. Consultado 22 ago 2024. Disponible en <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s14.htm>

Paliwal, R s.f. El maíz en los trópicos; mejoramiento y producción. (en línea). Roma, Italia.392 p. Consultado 8 jun 2024. Disponible en

<https://curlacavunah.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>

Pierre, Y. 2024. Licencias educativas de Pix4D. (en línea, blog). Consultado 22 ago 2024. Disponible en <https://www.pix4d.com/es/educativas/>

Pino, E. 2019. Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. (en línea). 37(1):75-84. Consultado 8 jun 2024. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v37n1/0718-3429-idesia-00402.pdf>

Rojas, M. 2019. "Sistema electrónico para el monitoreo y control de cultivos utilizando tecnología inalámbrica en la comunidad La Unión del cantón Quero mediante software libre". (en línea). Tesis. Ing. Ambato, Ecuador, Universidad Técnica de Ambato. 150 p. Consultado 8 jun 2024. Disponible en https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10589/1/Tesis_984ec.pdf

Sánchez, E; Castañeda, M; Baez, A; Morales, Y. 2021. Rizobacterias para el mejoramiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L). Una tecnología prometedora para la producción de maíces criollos. (en línea). Alianzas y Tendencias BUAP 6(23):72-92. Consultado 18 may 2024. Disponible en <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-623/rizobacterias-para-el-mejoramiento-del-cultivo-de-ma%C3%ADz-zea-mays>

Soldán, P. 7 beneficios clave del software de gestión agrícola. (en línea, blog). Consultado 13 jul 2024. Disponible en <https://bctsconsulting.com/2023/08/22/7-beneficios-clave-del-software-de-gestion-agricola/>

Soler, L. 4 mar 2024. Los 5 mejores software Agrícola de 2024 para rentabilizar cultivos, plantaciones y la gestión agrícola. (en línea, blog). Consultado 15 jun 2024. Disponible en <https://www.softwaredoit.es/software-sector-primario/software-agricultores.html>

Vásquez, R. 2018. Tutorial – Planear vuelo fotogramétrico con DroneDeploy y Google Earth (Principantes). (en línea, blog). Consultado 22 ago 2024. Disponible en <https://geoasset.blog/2018/10/08/tutorial-dronedeploy/>

4.2. Anexos



Anexo 1. Sensores inteligentes

Fuente: (Jacto 2023).



Anexo 2. Uso del GPS en la agricultura

Fuente: (Pérez 2018).



Anexo 3. Teledetección satelital

Fuente: (Marfil 2020).



Anexo 4. Uso de drones

Fuente: (EOSDataAnalytics 2023).