

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



Sistema inteligente basado en redes neuronales para apoyar el control de plagas en cultivos de caña de azúcar de Lambayeque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

AUTOR

Jean Edinson Guevara Briones

ASESOR

Marlon Eugenio Vilchez Rivas

<https://orcid.org/0000-0003-2979-0731>

Chiclayo, 2023

Sistema inteligente basado en redes neuronales para apoyar el control de plagas en cultivos de caña de azúcar de Lambayeque

PRESENTADA POR
Jean Edinson Guevara Briones

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

APROBADA POR

Ricardo Imán Espinoza
PRESIDENTE

Héctor Miguel Zelada Valdivieso
SECRETARIO

Marlon Eugenio Vilchez Rivas
VOCAL

Dedicatoria

A mi señora madre y a mi abuela que me mira desde el cielo, ya que todo lo que estoy logrando es gracias a ellas.

Agradecimientos

En primero lugar a Dios, por cuidarme y guiarme en la realización de la presenta investigación en pleno contexto de pandemia.

A todos los agricultores de caña de azúcar con los que tuve la oportunidad de trabajar, por brindarme su conocimiento y siempre estar dispuestos para cualquier consulta durante la realización de la tesis.

Y por último a los ingenieros Marlon Vílchez Rivas y Raúl Huarote Zegarra, por guiarme, aconsejarme y apoyarme durante la ejecución de la presente tesis. Mil gracias.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	7
Revisión de literatura.....	9
Materiales y métodos	16
Resultados y discusión	21
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
Referencias.....	37
Anexos	40

Resumen

El manejo integral de plagas y enfermedades (MIP) es fundamental en el cultivo de caña de azúcar, su ineficiente ejecución genera que no se consiga una buena cosecha al final de una temporada de sembrío, incluyendo las consecuencias monetarias y logísticas que trae consigo esto. La falta de conocimientos fito-técnicos de la planta, así como, la poca conciencia preventiva de los agricultores generaba esta ineficiencia. Ante esta problemática se planteó desarrollar un sistema inteligente web, basado en el paradigma de las redes neuronales, que apoye en la prevención, detección, tratamiento y seguimiento de las plagas y enfermedades propios del cultivo de caña de azúcar, para lo cual se utilizó la metodología de desarrollo IDEAL, propuesta por Juan Pazos en 1997. Una vez culminado el desarrollo del producto, se puso a disposición de 6 expertos en el cultivo de caña de azúcar para su validación, obteniendo como resultado que el 84% calificó la información del sistema entre “confiable” y “totalmente confiable”, además, el 66% calificó de “fácil” y “muy fácil” el uso de este y el 100% determinó que el software era “útil” y “muy útil” para el manejo integral de plagas. Por otro lado, se consiguió una precisión del 83% en la detección de plagas y un aumento en el número de tratamientos de control con las que podría contar los agricultores al momento de erradicar una plaga o enfermedad, así mismo, se pudo aumentar el número de alertas preventivas ante la posible aparición de estas.

Palabras clave: red neuronal, plagas, sistema inteligente, prevención, detección.

Abstract

Integrated pest and disease management (IPM) is fundamental in sugarcane cultivation; its inefficient execution leads to the failure to achieve a good harvest at the end of a planting season, including the monetary and logistical consequences that this entails. The lack of phyto-technical knowledge of the plant, as well as the lack of preventive awareness of farmers generated this inefficiency. In view of this problem, the development of an intelligent web system was proposed, based on the neural network paradigm, to support the prevention, detection, treatment and monitoring of sugarcane pests and diseases, using the IDEAL development methodology proposed by Juan Pazos in 1997. Once the development of the product was completed, it was made available to 6 experts in sugarcane cultivation for validation. As a result, 84% rated the system information as "reliable" to "totally reliable", 66% rated it as "easy" and "very easy" to use, and 100% considered the software "useful" and "very useful" for integrated pest management. On the other hand, an accuracy of 83% was achieved in the detection of pests and an increase in the number of control treatments that farmers could count on at the time of eradicating a pest or disease, as well as an increase in the number of preventive alerts before the possible appearance of pests.

Keywords: neural network, pests, intelligent system, prevention, detection.

Introducción

El cultivo de caña de azúcar, como todo cultivo, se ve amenazada por plagas y enfermedades que, actualmente, no se detectan y tratan de manera oportuna en el departamento; esto ocasiona la disminución en el rendimiento de la cosecha, incremento en los costos de producción y pérdida de sacarosa de la caña [1]. Pero ¿cuál es el motivo de esta ineficiencia?, la principal razón que afecta la detección temprana de una plaga o enfermedad es la similitud en los síntomas que manifiestan cada una de estas. Por ejemplo, según el estudio [2] realizado en Argentina, la plaga picudo de la caña de azúcar causa perforaciones en el tallo similares a las realizadas por la plaga cañero. Al problema de la similitud de síntomas, se le suma la carencia de conocimientos por parte de los agricultores acerca del manejo de plagas y enfermedades. Esto lo demuestra el estudio [3] realizado en la provincia de Sancti Spíritus de la república cubana, en donde, el desconocimiento de la fitotecnia (conocimientos biológicos, climáticos y técnicos para garantizar una buena producción de un determinado cultivo) del cultivo de caña de azúcar por parte de los agricultores fue la única dificultad que se catalogó como problema crítico y desestabilizador del trabajo durante el estudio. Además, en el estudio [4] realizado en Costa Rica se llegó a la conclusión que una de las problemáticas más relevantes que afectan la producción de caña de azúcar es de aspecto tecnológico (capacitación técnica, problemas con plagas en los cultivos) con una incidencia en las opiniones de los agricultores del 12.6%. Ahora, el problema no queda en la detección, sino que se expande al tratamiento, donde existe una carencia y desactualización en las alternativas de control que manejan los agricultores para el tratamiento de plagas y enfermedades. Ya que, de acuerdo con el estudio [5] realizado por la universidad nacional de Trujillo, del 100% de conocimientos sobre el manejo integral de la caña de azúcar, en una muestra 56 agricultores independientes, 70% fueron obtenidos por herencia de generaciones pasadas y solo el 30% por capacitaciones realizadas por entidades inmersas en la cultivación de caña de azúcar. Otro aspecto con grandes falencias en el manejo integral de la caña de azúcar es la prevención. Puesto que, conforme al artículo [6], existe una falta de conciencia por parte de los agricultores al momento de tomar medidas preventivas o de control antes de las primeras fases de crecimiento de una plaga o enfermedad, dejando que esta se siga expandiendo y depredando los cultivos, punto que también es apoyado por la bióloga Stacy Swartz (egresada de Boston College) quien, en su artículo web [7], afirma que cuando se habla de manejo de plagas agrícolas, siempre se hace referencia a la vigilancia, detección e intervención de plagas mas no en el aspecto preventivo.

Por la anteriormente narrado, se pudo formular el siguiente problema de investigación: ¿Cómo mejorar los procesos de prevención, detección, tratamiento y seguimiento de las plagas y enfermedades, con la finalidad de reducir los estragos dejados por éstas en los cultivos de caña de azúcar de los agricultores independientes del departamento de Lambayeque?

Para dar respuesta a esta problemática, se definió desarrollar un sistema inteligente web, basado en redes neuronales, para el apoyo en los procesos de prevención, detección, tratamiento y seguimiento de plagas y enfermedades en los cultivos de caña de azúcar de los agricultores independientes del departamento de Lambayeque. Para lo cual fue necesario construir una base de conocimientos sobre tratamientos preventivos y de erradicación para aumentar el número de alternativas de control con las que podrá contar el agricultor durante el manejo integral de plagas; ejecutar el subsistema preventivo, basado en redes neuronales y la medición de factores climatológicos influyentes, para aumentar el número de informes probabilísticos de aparición de plagas y enfermedades durante un mes calendario; implementar el sistema inteligente web, basado en redes neuronales, para reducir el tiempo promedio que se tarda un trabajador en diagnosticar una plaga o enfermedad y validar el sistema inteligente web, mediante el uso realizado por especialistas, para cumplir con los indicadores de éxito planteados por el desarrollador.

La presente investigación se justificó económicamente, ya que se buscó reducir tanto los costos adicionales de producción que podrían generar las plagas o enfermedades detectadas de forma tardía, como las pérdidas económicas que ocasionaría una cosecha final de baja calidad. Teniendo en cuenta que, de acuerdo con la entrevista realizada por La Republica a Carlos Rodríguez (director ejecutivo de Cultivida) [8], el uso de las tecnologías de información por parte de los pequeños agricultores incrementaría hasta en un 40% el rendimiento de los cultivos y por ende las ganancias de ventas. Por otro lado, en el ámbito social se buscó brindar una guía para la toma de decisiones correspondientes al tratamiento de plagas y enfermedades, y así reducir en gran medida las pérdidas en la calidad y cantidad de cultivo cosechado, beneficiando así al agricultor y al país. Sabiendo que la pequeña agricultura es importante para la economía y alimentación del Perú, en donde el cultivo de caña de azúcar contribuye el 3.6% del PBI agrícola abarcando 160 000 hectáreas del territorio nacional. Además, 492 000 personas dependen directa e indirectamente de la producción de caña de azúcar [9]. De igual manera, en el ámbito tecnológico, la investigación se sustentaba en el hecho de que se pudo dar un gran paso

en la tecnificación y apoyo a los agricultores independientes. Esto mediante el soporte que puede brindar un sistema inteligente web, en el manejo completo e integral de plagas y enfermedades, abarcando cuatro aspectos importantes de cualquier manejo de plagas; prevención, detección, tratamiento y seguimiento de estas. Teniendo en cuenta que, según el plan estratégico regional realizado en Lambayeque en el 2015 [10], el sector de la pequeña agricultura posee un grado en tecnificación bajo para el apoyo al manejo integral de cultivos. Por último, en el aspecto ambiental, el presente proyecto buscó reducir al mínimo el uso de plaguicidas, acercándole al agricultor alternativas ecológicas eficaces y menos perjudiciales para el tratamiento de las plagas o enfermedades. Ya que, teniendo como referencia el estudio [11], el uso continuo de los plaguicidas en la agricultura genera efectos adversos tanto en el suelo, aire, agua e incluso en la salud de las personas que las aplican

Revisión de literatura

Antecedentes

Se han considerado para esta investigación los siguientes antecedentes:

Antecedentes internacionales

En el ámbito internacional, tenemos el trabajo realizado por Elsharif y Abu-Naser [12]. Donde se desarrolló un sistema experto para el diagnóstico de diez tipos de enfermedades que afectan al cultivo de caña de azúcar durante sus diferentes fases de desarrollo. Esto con la finalidad de ahorrar tiempo, esfuerzo y dinero que se gasta en la contratación de consultores expertos para el manejo de plagas y enfermedades. El sistema se basó en los conocimientos tanto de ingenieros agrícolas como de agricultores que realizaban cultivos de caña de azúcar. Una vez culminado el sistema, se puso a disposición de ingenieros agrícolas y agricultores distintos a los que se recurrieron para realizar el sistema experto. Esto con la finalidad de verificar si los diagnósticos realizados por el sistema eran confiables y precisos, dejando resultados positivos.

Este artículo tiene relación con la tesis en curso ya que abarca una funcionalidad muy importante como lo es el diagnóstico rápido de una plaga o enfermedad de un cultivo de caña de azúcar. Dando una clara referencia para la construcción de un sistema más completo que duplique los beneficios dejados por el sistema anterior

Asimismo, Sammy y Bobby [13] abordan la detección temprana de enfermedades de caña de azúcar, pero haciendo uso de modelos adaptativos de aprendizaje profundo de red

neuronal convolucional. Asegurando la reducción en la cantidad de cultivo dañado y las pérdidas monetarias que estos generan, debido a la gran tasa de eficacia que los modelos adaptativos proporcionan. La metodología utilizada se basó principalmente en el entrenamiento de tres modelos adaptativos de aprendizaje profundo de red neuronal convolucional (StridedNet, LeNet y VGGNet) con 14 725 imágenes de hojas de caña de azúcar enfermas y no enfermas. En donde se obtuvo como resultado que el modelo VGGNet consiguió el mayor grado de precisión al momento detectar una enfermedad con un 95.40%, siguiéndole el modelo LeNet con una precisión del 93.65% y por último el modelo StridedNet con una precisión del 90.10%.

Esta investigación ayuda en gran medida para el desarrollo de la presente tesis en el sentido de que nos certifica que los algoritmos de inteligencia artificial son de gran ayuda para la detección temprana de una enfermedad en su fase inicial. Además, de brindarnos los conocimientos base para la utilización de estos algoritmos en contextos diferentes, donde el cultivo de caña se comporta de diferente forma.

Prosiguiendo con el ámbito internacional, se consideró el trabajo académico realizado por Syarief [14], ya que se investiga las causas que generan la ineficiencia al momento de detectar una plaga o enfermedad en los cultivos de tabaco. Entre las cuales se identifica la falta de conocimientos que tienen algunos agricultores sobre los síntomas que diferencian una enfermedad de otra. Ante esta problemática, el autor plantea el desarrollo de un sistema experto como posible solución, teniendo como elemento diferenciador, el uso del proceso de jerarquía analítica (AHP), el cual permite la medición a través de comparaciones por pares y se basa en los juicios de expertos para derivar escalas de prioridad. Una vez culminado el proceso de desarrollo, se procedió a comparar los diagnósticos del sistema experto con la de profesionales agrícolas, teniendo la finalidad de verificar la precisión del software en la detección de plagas y enfermedades, logrando una precisión del 65%.

Se tomo en cuenta esta investigación ya que deja en claro la gran utilidad que poseen los sistemas expertos y como esta se puede potenciar haciendo uso de paradigmas o herramientas complementarias, como es el caso del proceso de jerarquía analítica, empleado en el antecedente, o las redes neuronales, utilizadas en la presente investigación.

Antecedentes nacionales

Enfocándonos en el territorio nacional, se vio conveniente seleccionar como antecedente el trabajo académico realizado en la universidad María Auxiliadora [15]. En esta investigación se aborda como problemática lo propenso que es el cultivo de uva a la aparición de plagas y enfermedades, y lo difícil que puede ser para los agricultores identificar las características y síntomas de cada una de ellas. Ante estas dificultades, los autores plantean el diseño y desarrollo de un sistema experto, basado en reglas, como una posible solución.

El trabajo académico se centró en una investigación aplicada de diseño experimental, en donde el método utilizado para el desarrollo del sistema experto consistía en el apoyo de un ingeniero agrícola y el análisis documental, lo cual permitió la creación de las reglas y la base de conocimiento. Finalmente, el autor se dispuso a medir la funcionalidad y eficacia del sistema experto a través del uso por parte de cinco expertos en el cultivo de uva en cinco diferentes localidades. Entre los principales resultados que se consiguieron con el uso del sistema experto, tenemos que el software consiguió un grado de validación del 80% al momento de realizar un diagnóstico de una plaga o enfermedad, además, el 52% de los expertos consideraron que la utilidad del sistema era entre buena y muy buena, así mismo, el 64% de los profesionales concluyeron que la información brindada por el sistema era entre buena y muy buena.

La investigación anteriormente narrada guarda relación con la presente tesis, en el aspecto que toca una problemática similar, ya que deja en claro que existe una ineficiencia en el diagnóstico de las plagas y esto genera un aumento en los costos de producción. Además, brindó una base que sirvió como punto de partida para el desarrollo del sistema inteligente de la presente investigación, teniendo en cuenta el contexto de uso y las herramientas que se utilizaron.

Permaneciendo en el ámbito nacional, Quintanilla [16] narra la problemática de la ineficiencia en la determinación del impuesto predial en una municipalidad distrital. Para la cual determina como posible solución el desarrollo de un sistema experto, basado en el paradigma de las redes neuronales, que facilite el proceso de determinación del impuesto predial. Una vez planteada la propuesta de solución, el autor hace uso de la metodología de John Durkin para el desarrollo e implementación del sistema experto, en donde tuvo que investigar a fondo todas las variables que intervenían en la determinación del impuesto predial, para así poder modelar la red neuronal en la cual se basaría el sistema. El cual fue utilizada por trabajadores de la municipalidad, dejando como resultado la

disminución, de 27.94 a 6.8822 minutos, en el tiempo que se tomaba para determinar el impuesto predial, así como el aumento en la confiabilidad del proceso en cuestión, de 92 a 98 determinaciones sin errores.

No cabe duda de que el trabajo académico anteriormente narrado guarda relación con la presente tesis, ya que se pone en evidencia lo ventajoso que resulta la utilización de las redes neuronales en la optimización de procesos de diferentes ámbitos de estudio, siendo uno de estos el sector agrícola. Teniendo en cuenta siempre que el éxito en el funcionamiento de una red neuronal dependerá en gran medida de la correcta identificación de las variables de entrada del mismo y de los datos de entrenamiento.

Antecedentes locales

En el departamento de Lambayeque, tenemos la investigación realizada en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo [17]. En donde se abordó como problemática, el deficiente manejo de la plaga *diatraea saccharalis* (una de las principales plagas que afectan al cultivo de caña de azúcar) por parte de una empresa azucarera. Esta deficiencia se debía principalmente a que no existía un correcto seguimiento de las evaluaciones que realizaban los colaboradores del campo de cultivo, ocasionando que datos como el grado de infestación de la plaga sean erróneos. Ante estas deficiencias, el autor plantea como solución el desarrollo de una aplicación móvil híbrida que ayude a la empresa a tener un mejor seguimiento del plan de pruebas de sembríos que se realicen para la detección de la plaga *diatraea saccharalis*, el cual se construyó mediante la metodología de desarrollo XP y se puso a prueba implementándolo en la organización azucarera, teniendo como principales resultados: un aumento del 0.4% en la precisión al momento de evaluar el grado de infestación de la plaga y una reducción del 48% en las liberaciones adicionales para el tratamiento de la plaga de estudio, ahorrándole 6 720 soles a la empresa azucarera. Por lo anteriormente dicho, la tesis en cuestión guarda relación con la presente investigación, ya que deja en claro el hecho de que no solo basta con la detección de una plaga, sino que se le debe realizar un correcto seguimiento a la evolución y comportamiento de esta en el cultivo, para así reducir en lo más posible los costos innecesarios que se pueden presentar ante cualquier eventualidad.

Bases teórico-científicas

En la presente investigación se abordaron las siguientes bases teóricas.

Sistema Inteligente

Se define como un sistema de información que acopla técnicas de inteligencia artificial, con la finalidad de que el software requiera poca intervención del factor humano o no lo necesite completamente. Esto dependerá del grado de utilización de la inteligencia artificial, ya que se puede utilizar para determinados procesos o para automatizar por completo un software.

El objetivo de los sistemas inteligentes es imitar o automatizar determinados comportamientos que realizan los seres humanos en un entorno de trabajo [18].

Sistema Basado en Conocimiento

Se entiende como un sistema informático que utiliza y genera conocimiento en base a datos. Poseen la capacidad de comprender la información que ingresa al sistema y toman una decisión en base a ella, es esta capacidad lo que diferencia este tipo de software con los sistemas informáticos tradicionales [19].

Sistema Experto

Tipo de sistema basado en conocimiento que tiene como finalidad imitar el comportamiento humano, en este caso el de un experto en una rama de la ciencia, área, especialidad, etc., esto mediante la adquisición, adaptación y manejo de información relevante al área donde se quiere desarrollar el sistema. Un sistema experto intenta imitar el razonamiento de un individuo especializado en un sector, para responder con mayor rapidez y calidad el problema por el cual fue creado. Entre los principales tipos de sistemas expertos tenemos los basados en reglas, redes neuronales y probabilidades [19].

Sistema de gestión de bases de datos junto con una interfaz de usuario inteligente

Es un tipo de sistema basado en conocimiento que se caracteriza por brindar una interfaz inteligente que permita la correcta interacción entre un usuario y la base de conocimiento. A diferencia de un sistema experto, este tipo de software no posee la capacidad de tomar una decisión, sin embargo, transmite el conocimiento almacenado de tal forma que pueda ayudar al usuario a tomar sus propias decisiones [19].

Redes Neuronales

Una red neuronal viene a ser un modelo computacional que tiene la finalidad de imitar el comportamiento humano, esto a través de elementos de procesamiento llamados neuronas y conexiones entre ellas denominados pesos. Ligadas a estas conexiones se encuentran los algoritmos de entrenamiento y de recuperación, los cuales consisten principalmente en brindar, a la red neuronal, la capacidad de aprender mediante la identificación de patrones en la información y la de brindar una respuesta ante una situación para la cual ya ha sido entrenada. Además, se puede definir a una red neuronal como un conjunto de técnicas matemáticas que tienen entre sus principales objetivos, el procesar, predecir y agrupar la información de entrada según el contexto en el que se esté utilizando [20].

Manejo integrado de plagas (MIP)

Se define como el conjunto de técnicas, menos perjudiciales y económicamente posibles, para la correcta gestión de plagas que incluyen insectos, enfermedades, malezas y plagas de vertebrados.

Un MIP óptimo consta en la adaptación del agricultor a realizar medidas preventivas para la aparición de plagas y así disminuir el uso de técnicas de control directo de las mismas. Además, se debe tener un constante monitoreo de los cultivos para garantizar el uso correcto de los pesticidas y que sean aplicados cuando en realidad se requiera y no de manera indiscriminada. Por otro lado, cuando haya necesidad de realizar técnicas de control directo de una plaga, estos se deben ejecutar dejando un impacto mínimo en el medio ambiente donde se está realizando el cultivo [21].

Un manejo integrado de plagas consta de cinco aspectos importantes, los cuales conforman el ciclo MIP [22]:

Conocimiento

Este aspecto se refiere al hecho de conocer contra qué plagas se está enfrentando el agricultor, desde la más propensa a aparecer a las más mínimas. Además, se debe realizar una comprensión sincera de las opciones de manejo con las que cuenta el cultivador. En términos generales, esta parte del ciclo MIP tiene la finalidad de conocer al enemigo y a las armas que se tiene a disposición para enfrentarlo [21].

Prevención

Esta etapa es la base del ciclo MIP, ya que se centra en minimizar la posibilidad de que aparezcan plagas y ataquen los cultivos. Esto mediante la preparación del medio de cultivo y creación de un ambiente desfavorable para la aparición de estas [28]. Entre los principales factores que se toman en cuenta para prevenir la

aparición de plagas y enfermedades tenemos: temperatura, humedad, probabilidad de lluvia y velocidad del viento [23].

Observación y Monitoreo

Se debe seguir un sistema de monitoreo exhaustivo sobre los cultivos, en donde se tenga en cuenta la cantidad de insectos y la salud de las plantaciones [21].

Intervención

Inmediatamente después del monitoreo y detección de una plaga que se está extendiendo considerablemente por la zona de cultivo se procede a intervenir, ya sea ecológica o químicamente, sobre la plaga. Siempre con el principio de no erradicar los microorganismos beneficiosos para el cultivo [21].

Evaluación

Por último, se debe realizar una evaluación de los tratamientos que se realizaron durante la fase de intervención. Esto con la finalidad de realizar una comparación con cultivos pasados o paralelos y verificar la efectividad de los tratamientos en cuestión [21].

Tipos de técnicas MIP

Las técnicas utilizadas en las fases de prevención e intervención se dividen en culturales, mecánicas, biológicas y químicas, además, estos tipos de técnicas son clasificadas en preventivos y de supresión. Los de naturaleza preventiva tienen como objetivo crear un ambiente desfavorable para la aparición de plagas, mientras que los supresoras se enfocan en erradicar el brote de una plaga antes de su expansión considerable sobre el cultivo [21].

Técnicas Químicas

Como su nombre lo indica, son sustancias químicas que se utilizan para erradicar una plaga o enfermedad. El uso de estas sustancias genera un desequilibrio no solo en los insectos, sino, también en los elementos bióticos y abióticos que forman parte del medio donde es utilizado.

Cabe señalar que estas técnicas son las más controversiales, ya que por un lado son eficaces al momento de erradicar una plaga, sin embargo, dejan efectos secundarios que remece en la producción final del cultivo en cuestión [24].

Técnicas Biológicas

Es el tipo de técnicas en el que se está desarrollando mayores estudios en la actualidad, ya que consta en investigar técnicas ecológicas que puedan erradicar la presencia de una plaga. Sin embargo, la mayoría de estas técnicas necesitan de recursos tecnológicos básicos para su desarrollo, recursos que la mayoría de los

agricultores independientes no poseen. No obstante, existe una variedad de alternativas que están al alcance de todos los cultivadores [24].

Técnicas Físico/Mecánicas

Este tipo técnicas son las más utilizadas en el aspecto preventivo. Es el conjunto de procedimientos que se realizan para cambiar el medio en el que se desarrolla o desarrollara una plaga o enfermedad, ya que estas poseen parámetros que el ambiente debe presentar para su desarrollo.

Por un lado, tenemos las técnicas físicas, que consisten en la utilización de un abiótico, en determinadas intensidades, para la erradicación de la plaga. Entre las técnicas físicas tenemos la solarización y el uso de agua hirviendo.

En su contra parte, tenemos las técnicas mecánicas, que son antiguas, pero de similar eficacia que otros tipos de técnicas. Consiste principalmente en el uso de trampas, barreras y la destrucción manual [24].

Técnicas Culturales

Es el tipo de técnicas de naturaleza 100% preventiva, ya que su única finalidad es crear un ambiente desfavorable para la aparición de plagas. Su principal ventaja es la nula variación en el presupuesto del agricultor, ya que son practicas rutinarias que se puede realizar con facilidad. Entre las principales técnicas culturales tenemos: manipulación de la fecha de siembre, preparación del suelo, rotación de cultivos y cultivos asociados [24].

Materiales y métodos

Tipo de investigación

El trabajo académico sigue el objetivo de una investigación aplicada, ya que busca generar conocimiento por medio de la aplicación directa de un sistema inteligente web, sobre una problemática identificada en una determinada sociedad, en este caso, la ineficiencia en la prevención, detección, tratamiento y seguimiento de plagas y enfermedades en los cultivos de caña de azúcar de los agricultores independientes del departamento de Lambayeque [25]. Además, la investigación sigue un diseño preexperimental de preprueba y posprueba de un grupo de estudio ya determinado, así como, la sola medición posprueba de este [26].

Métodos de investigación

Los métodos de investigación empleados en el presente trabajo académico se encuentran en la matriz de consistencia.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos empleados en el presente trabajo académico se encuentran en la matriz de consistencia.

Metodología de desarrollo

Se utilizo como metodología de desarrollo, la metodología IDEAL, que fue propuesta por Juan Pazos en 1997 como una alternativa para el desarrollo de sistemas basados en conocimientos. Esta metodología fue seleccionada debido a su naturaleza incremental mediante la realización de prototipos [27].

A continuación, se explicará las fases que comprende esta metodología:

TABLA I
METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Fase de identificación de la tarea	Fase de desarrollo de prototipos	
✓ Plan de requisitos y adquisición de conocimientos.	✓ Concepción de la solución.	
✓ Evaluación y selección de la tarea.	✓ Adquisición de conocimientos y conceptualización de los conocimientos.	
✓ Definiciones de las características de la tarea	✓ Formalización de los conocimientos.	
	✓ Implementación.	
	✓ Validación y Evaluación.	
Fase de ejecución de la construcción del sistema integrado	Fase de actuación para conseguir mantenimiento perfecto.	Fase de lograr una adecuada transferencia tecnológica.
✓ Requisitos y Diseño de la Integración.	✓ Definir el mantenimiento del sistema global.	✓ Organizar la transferencia tecnológica
✓ Implementación y Evaluación de la Integración.	✓ Definir el mantenimiento de la Base de Conocimientos.	✓ Completar la documentación del Sistema
✓ Aceptación por el usuario del Sistema Final.	✓ Adquisición de Nuevos Conocimientos.	

Matriz de consistencia

TABLA II
MATRIZ DE CONSISTENCIA

<u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	<u>MÉTODOLÓGÍA DE INVESTIGACIÓN</u>			
¿Cómo mejorar los procesos de prevención, detección, tratamiento y seguimiento de las plagas y enfermedades, con la finalidad de reducir los estragos dejados por éstas en los cultivos de caña de azúcar de los agricultores independientes del departamento de Lambayeque?	<u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>			
		Investigación Aplicada Pre Experimental		
<u>OBJETIVO GENERAL</u>	<u>MÉTODO</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>		
Desarrollar un sistema inteligente web, basado en redes neuronales, para el apoyo en los procesos de prevención, detección, tratamiento y seguimiento de plagas y enfermedades en los cultivos de caña de azúcar de los agricultores independientes del departamento de Lambayeque.	Inductivo	Este método se utilizó para la identificación de la problemática que aqueja a los agricultores independientes de caña de azúcar. Ya que, a partir de hechos particulares aceptados como válidos, como los encontrados es el análisis documental y las entrevistas realizadas, se obtuvo una conclusión sobre la situación problemática.		
	Deductivo	Método utilizado para el planteamiento de la propuesta de solución de la situación problemática. Una vez analizadas la situación problemática y sus causales (obtenidas del análisis documental), se utilizó el método deductivo para concluir la propuesta de solución.		
	Implementación	Mediante este método se ejecutó la propuesta de solución planteada para la situación problemática, en la cual se necesitó la técnica de la observación para verificar si fue desarrollada acorde a la metodología seleccionada.		
	Testeo o Pruebas	Método por el cual se verificó la funcionabilidad del sistema inteligente web, realizando pruebas unitarias y pruebas de aceptación.		
	<u>TÉCNICAS</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>	<u>ELEMENTOS DE LA POBLACIÓN</u>	<u>PROPÓSITO</u>

Entrevista	Guía de Entrevista (<i>ver anexo N° 02</i>)	Ingeniero agrícola y agricultores independientes	Complementar la formulación de la situación problemática
Análisis Documental	Notas de prensa, artículos estadísticos, estudios internacionales y nacionales referentes a la problemática de manejo de plagas y enfermedades en los cultivos de caña de azúcar. Guías, artículos, revistas y tesis referentes al manejo integral de la caña de azúcar	Medios virtuales y físicos	Identificar la problemática con la que se está enfrentando los agricultores independientes al momento de manejar las plagas y enfermedades. Recolectar la información necesaria para construir la base de conocimiento del sistema inteligente web
Encuesta	Cuestionarios (<i>ver anexo N° 03</i>)	Expertos en el manejo integral del cultivo de caña de azúcar.	Validar el funcionamiento del sistema inteligente, teniendo como base los indicadores de éxito planteados. Medir el tiempo que toma realizar el diagnóstico de una plaga o enfermedad antes y después de implementado el sistema inteligente.
Observación	Guía de Observación (<i>ver anexo N° 04</i>)	Expertos en el manejo integral del cultivo de caña de azúcar.	Medir la cantidad de tratamientos de control a disposición de los agricultores de caña de azúcar antes y después de implementado el sistema inteligente. Medir la cantidad de alertas preventivas generadas antes y después de implementado el sistema inteligente.

Pruebas Unitarias

Pruebas de caja negra y blanca

Software

Medir la funcionalidad modulo por modulo del software.

Pruebas de Aceptación

Pruebas de Caja Negra

Software

Medir el grado de aceptación por parte de los usuarios finales hacia el software que se va integrando.

<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	<u>DESCRIPCIÓN DEL LOGRO DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	<u>INDICADORES</u>
<p>Construir una base de conocimientos sobre tratamientos preventivos y de erradicación para aumentar el número de alternativas de control con las que podrá contar el agricultor durante el manejo integral de plagas.</p>	<p>Ampliar la gama de posibilidades con las que puede contar un agricultor al momento de tomar medidas preventivas o dar tratamiento a una plaga o enfermedad previamente diagnosticada</p>	<p>Numero de tratamientos preventivos o de control que maneja un agricultor por cada plaga detectada y catalogada</p>
<p>Ejecutar el subsistema preventivo, basado en redes neuronales y la medición de factores climatológicos influyentes, para aumentar el número de informes probabilísticos de aparición de plagas y enfermedades durante un mes calendario.</p>	<p>Aumentar el número de alertas preventivas, sobre la posible aparición de una plaga o enfermedad, generadas por los agricultores durante el transcurso de cuatro semanas.</p>	<p>Numero de informes probabilísticos o alertas preventivas sobre la posible aparición de plagas durante un mes calendario</p>
<p>Implementar el sistema inteligente web, basado en redes neuronales, para reducir el tiempo promedio que se tarda un trabajador en diagnosticar una plaga o enfermedad.</p>	<p>Reducir el tiempo de diagnóstico de una plaga o enfermedad para agilizar la toma de decisiones por parte de los agricultores.</p>	<p>Tiempo promedio que se tarda un trabajador en diagnosticar una plaga o enfermedad.</p>
<p>Validar el sistema inteligente web, mediante el uso realizado por especialistas, para cumplir con los indicadores de éxito planteados por el desarrollador.</p>	<p>Cumplir con los indicadores o criterios de éxito establecidos en el inicio de la metodología de desarrollo (ítem 4.1.1. Fase de Identificación de la tarea, sección Definiciones de las características de la tarea, en el Capítulo Resultado).</p>	<p>Criterios de éxito para la validación del sistema web inteligente</p>

Resultados y discusión

En base a la metodología utilizada

Fase de identificación de la tarea

En esta fase se definieron los objetivos de la realización del sistema inteligente. Además, se corroboró si la finalidad que se deseó lograr con el desarrollo del sistema era compatible con la tecnología del conocimiento.

Plan de requisitos y adquisición de conocimientos

En esta etapa se definieron los objetivos del sistema inteligente en base a los requerimientos que manifestaron los usuarios finales. Además, se estableció que conocimientos se necesitaron para el correcto funcionamiento del sistema inteligente

Objetivos generales

- Brindar información sobre medidas preventivas a seguir para evitar la aparición de plagas y enfermedades.
- Reducir los estragos dejados por plagas y enfermedades.
- Reducir el tiempo de detección de una plaga o enfermedad
- Brindar información referente a tratamientos para la erradicación de plagas o enfermedades.
- Brindar soporte para el correcto seguimiento de los diagnósticos y alertas preventivas que se realicen en el cultivo. Además, de las actividades que se ejecuten para mitigar los estragos dejados por las plagas y enfermedades.
- Brindar soporte tecnológico para la toma de decisiones del agricultor

Evaluación y selección de la tarea

En esta etapa se estudió la viabilidad de la tarea por la cual se optó desarrollar un sistema inteligente. Entre los puntos abarcados estuvieron un estudio de viabilidad, plausibilidad y éxito.

Definiciones de las características de la tarea

- Especificación técnica del sistema

Prevención

- Capturar datos meteorológicos a través del consumo de Apis sin intervención del usuario.
- Procesar los datos meteorológicos mediante una red neuronal para determinar que plaga o enfermedad es probable a aparecer.
- En base a la inferencia realizada por la red neuronal, recomendar medidas preventivas que eviten la aparición de plagas y enfermedades

Detección

- Ejecutar una guía digitalizada para apoyar al agricultor a identificar los síntomas que diferencian una plaga o enfermedad, de otra.
- Procesar los síntomas ingresados por el agricultor, mediante una red neuronal, para detectar que plaga o enfermedad se está evaluando.

Tratamiento

- Mostrar información referente a tratamientos, ya categorizados, más efectivos para la erradicación de una plaga o enfermedad previamente detectada.

Seguimiento

- Permitir el registro de actividades referentes a un tratamiento o medida preventiva en curso, a través de un calendario didáctico.
- Registrar la realización, atraso o modificación de una actividad de trabajo referente a un tratamiento o medida preventiva en curso

- Criterios de éxito

En base a los siguientes criterios, el sistema fue evaluado por los especialistas en el cultivo de caña de azúcar.

Porcentaje de precisión en la detección de una plaga o enfermedad

- Medida: Muy Baja ($\leq 35\%$), baja ($\geq 36\%$ and $\leq 65\%$), normal ($\geq 66\%$ and $\leq 85\%$), alta ($\geq 86\%$)
- Éxito: El porcentaje de precisión debe ser igual o superior al 66%.

Confiabilidad de la información proporcionada

- Medida: No confiable (la información es errada en su totalidad), parcialmente confiable (la información es errada en su mayoría), confiable (la información es veraz en su mayoría), totalmente confiable (la información es completamente veraz)
- Éxito: El 65% o más de los usuarios deben calificar entre “confiable” y “totalmente confiable” la información proporcionada por el sistema

Facilidad de uso del producto acreditable

- Medida: Muy difícil (no se entiende el funcionamiento del sistema), difícil (algunas funcionalidades fueron entendidas), fácil (pequeñas complicaciones en el uso del sistema), muy fácil (el sistema es didáctico y no existen complicaciones de consideración).
- Éxito: El 65% o más de los usuarios deben calificar entre “fácil” y “muy fácil” el uso del sistema.

Utilidad del sistema inteligente.

- Medida: Inútil (no brinda un valor agregado en el manejo integral de plagas y enfermedades), poco útil (optimiza determinados procesos del manejo integral de plagas y enfermedades), útil (optimiza gran parte de los procesos del manejo integral de plagas y enfermedades), muy útil (el sistema es de gran utilidad para la optimización del trabajo en el manejo integral de plagas y enfermedades).
- Éxito: El 65% o más de los usuarios deben calificar entre “útil” y “muy útil” el funcionamiento del sistema.

Fase de desarrollo de prototipos

Concepción de la solución

En esta etapa se realizó un diseño general del sistema inteligente, en donde se construyó los diagramas de flujos de datos y el diseño arquitectónico del sistema. En base a los siguientes diagramas de casos de uso se pudieron realizar los diagramas de clases de casos de uso, diagramas de secuencia y descripciones de casos de uso:

DIAGRAMAS DE CASOS DE USO

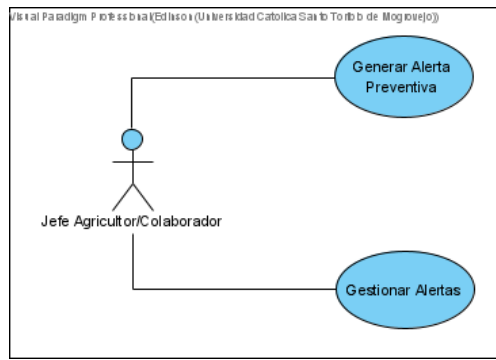


Fig. 1. Diagrama de casos de uso – Prevencción

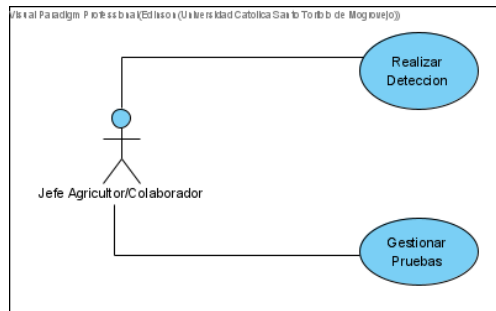


Fig. 2. Diagrama de casos de uso – Detección

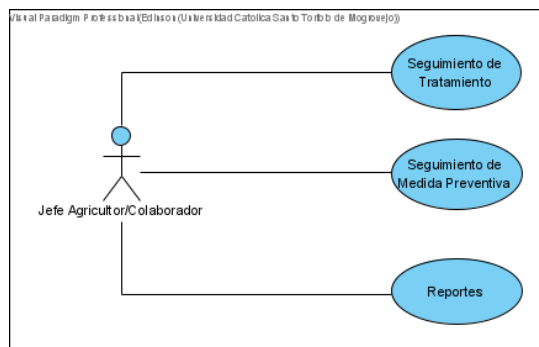


Fig. 3. Diagrama de casos de uso – seguimiento

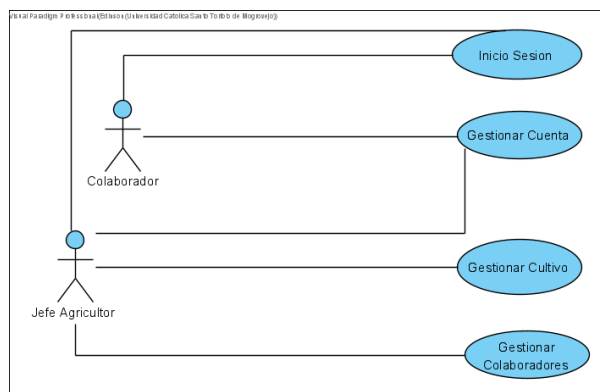


Fig. 4. Diagrama de casos de uso – mantenimiento

INTERFACES

Ya teniendo idea del funcionamiento que iba a seguir el sistema inteligente se procedió a diseñar las interfaces de usuario, haciendo uso de HTML, CSS y Bootstrap. Estas interfaces se pueden observar en el **Anexo N° 5**.

Adquisición de conocimientos y conceptualización de los conocimientos

En esta etapa se obtuvo los conocimientos necesarios para el desarrollo del sistema inteligente, los cuales estuvieron conformados por conocimientos públicos (artículos, guías, etc.) y conocimientos privados proporcionados por los expertos contactados para el desarrollo del sistema inteligente.

En esta etapa también se obtuvieron los registros necesarios para el entrenamiento de las redes neuronales del sistema inteligente.

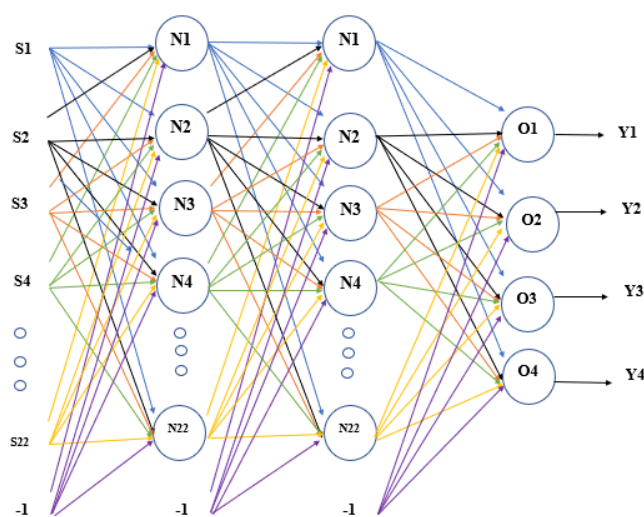
TABLA III
CONJUNTO DE SÍNTOMAS

Síntomas	Características Climatológicas	Enfermedades
S1: Amarillamiento de la Planta	T1: Temperatura Frio ($\leq 9C^{\circ}$)	P1: Anomala sp., Bothynus Maimon
S2: Marchitez		(gusano de semilla)
S3: Inclinación de la planta o Acame	T2: Temperatura Templado ($10 \leq x \leq 20C^{\circ}$)	P2: Elasmopalpus Lignosellus Zeller
S4: Perforación en el Tallo cuando forman los entrenudos	T3: Temperatura Cálido ($20 < x \leq 25C^{\circ}$)	(barrenador menor de caña)
S5: Muerte del ápice meristemático debido a la perforación de su punto vegetativo "Corazón Muerto"	T4: Temperatura Muy Cálido (> 25)	P3: Diatrea Saccharalis
S6: Larvas color blanco	H1: Humedad Seco ($\leq 40\%$)	Fabricius (cañero)
S7: Perforaciones en el cuello de la planta	H2: Humedad Semihúmedo ($40 < x \leq 60\%$)	P4: Marasmia trapezalis Guenee
S8: Presencia de capullos		(enrollador de hojas)
S9: Presencia de Huevos		
S10: Secado de la parte apical de la hoja	H3: Humedad Húmedo ($60 < x \leq 70\%$)	P5: Matemasius hemipterus
S11: Presencia de Aserrín	H4: Humedad Muy Húmedo ($> 70\%$)	Sericeus (picudo)
S12: Hojas enrolladas		E1: Mosaico

S13: Rayas largas cloróticas sobre verde normal	V1: Velocidad Viento Moderado	E2: Escaldadura de la Hoja
S14: Hojas con fondo verde blanco o amarillento	($20 < x \leq 40$ km/h)	E3: Raquitismo de la Soca
S15: Crecimiento lento	V2: Velocidad Viento Fuertes ($40 < x \leq 70$ km/h)	E4: Síndrome de la hoja amarilla
S16: Amarillamiento de la parte central de la hoja	V3: Velocidad Viento Muy Fuertes	
S17: Coloración rosada de la parte central de la hoja	($70 < x \leq 120$ km/h)	
S18: Necrosis de la hoja	V4: Velocidad Viento Huracán (> 120 km/h)	
S19: Líneas rojas en el centro del tallo	P1: Precipitaciones Moderado ($\leq 40\%$)	
S20: Disminución de tallos por planta	P2: Precipitaciones Alto ($40\% < x \leq 60\%$)	
S21: Línea blanca en la parte central de la hoja	P3: Precipitaciones Muy Alto ($> 60\%$)	
S22: Brotes laterales		

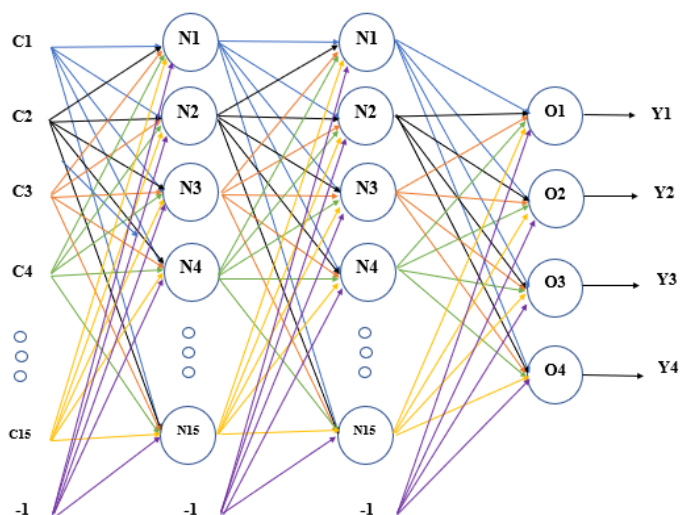
Formalización de los conocimientos

En el presente proyecto, el conocimiento se formalizó a través de la lógica de las redes neuronales, las cuales fueron graficadas de la siguiente manera:



S: Síntoma, N: Neurona, O: Output - Salida

Fig. 5. Red neuronal - Detección



C: Característica climatológica, N: Neurona, O: Output - Salida

Fig. 6. Red neuronal – Prevención

Implementación

Las partes más importantes del sistema son las redes neuronales, de las cuales, la primera se utilizó para analizar las características climatológicas y realizar una inferencia sobre la posible aparición de una plaga o enfermedad, teniendo como fundamento los datos de casos reales que se recopilaban para su entrenamiento y así asegurar la veracidad de la inferencia.

La segunda red neuronal es la que se encarga de inferir la existencia de una plaga o enfermedad. Sin embargo, esta se diferencia en el hecho de que los datos de entrada son un conjunto de síntomas previamente identificados por el usuario, además, las capas ocultas estarán conformadas por veintidós neuronas, guardando concordancia con la cantidad máxima de síntomas que puede ingresar un usuario.

Validación y Evaluación

Esta es una de las etapas más importantes de esta fase, ya que se validó la funcionalidad de cada módulo antes de su integración, esto haciendo uso de pruebas de caja negra y blanca.

Fase de ejecución de la construcción del sistema integrado

Requisitos y Diseño de la Integración

En esta etapa se definieron las conexiones entre módulos que requiere cada interfaz para su óptimo desarrollo. En esta actividad, se realizó el siguiente diagrama de navegabilidad:

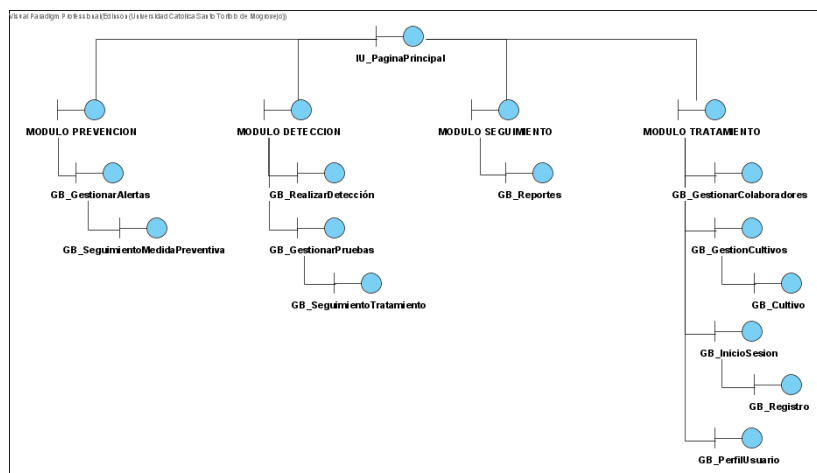


Fig. 7. Diagrama de navegabilidad

Implementación y Evaluación de la Integración

En base al diagrama de navegabilidad establecida en la etapa anterior, se procedió a integrar los módulos funcionales hasta que el sistema se encontrara completamente unido y funcional.

Aceptación por el usuario del Sistema Final

Para esta actividad se ha hizo uso de pruebas de aceptación, con la finalidad de que los usuarios puedan validar la integración y funcionamiento del sistema global

Fase de actuación para conseguir el mantenimiento perfecto

A diferencia de los sistemas de información tradicionales, el mantenimiento constante es parte fundamental de los sistemas inteligentes basados en conocimiento y es en esta fase donde se planifico como se iba a realizar el mantenimiento continuo del sistema después de su implementación.

Fase de lograr una adecuada transferencia tecnológica

Organizar la transferencia tecnológica

El sistema ya implementado y validado ha sido cargado a un servidor web con la finalidad de que sea utilizado por cualquier agricultor de caña de azúcar que lo

deseo. Sin embargo, los primeros en utilizarlo fueron el grupo de expertos que validaron su funcionamiento.

Completar la documentación del Sistema

Esta última etapa consto en el acercamiento del manual de usuario a los primeros usuarios que hicieron uso del producto acreditable

En base a los objetivos de la investigación

Construcción de una base de conocimientos sobre tratamientos preventivos y de erradicación para el aumento del número de alternativas de control con las que podrá contar el agricultor durante el manejo integral de plagas.

Se obtuvo que los agricultores independientes de caña de azúcar utilizaban un promedio de 9 alternativas de control, de las cuales, se usaban un promedio de 1.8 tratamientos culturales, 0.8 tratamientos mecánicos, 2.2 tratamientos biológicos y 4.2 tratamientos químicos. Sin embargo, se pudo aumentar estos números, pasando de 9 tratamientos promedio a 29, además, se logró reducir en un 100 % la cantidad de tratamientos químicos perjudiciales para la tierra de cultivo. De igual forma, en la fig. 8 se puede apreciar la diferencia que existe entre la cantidad de tratamientos de control a disposición del agricultor antes y después de implementado el sistema inteligente, según la categoría de cada uno de los tratamientos.

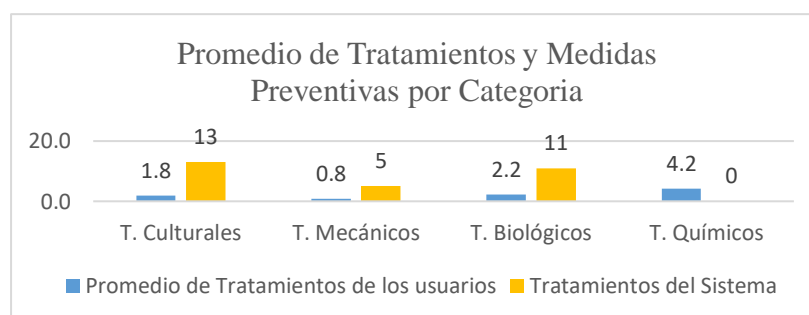


Fig. 8. Promedio de tratamientos y medidas preventivas por categoría

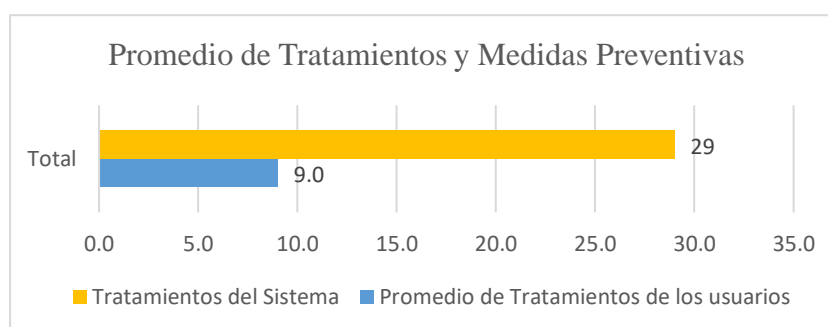


Fig. 9. Promedio de tratamientos y medidas preventivas

Ejecución del subsistema preventivo, basado en redes neuronales y la medición de factores climatológicos influyentes, para el aumento del número de informes probabilísticos de aparición de plagas y enfermedades durante un mes calendario.

Con el uso del sistema inteligente web, se pudo asegurar un aumento en el número de alertas preventivas realizadas durante un mes calendario, dejando en claro la importancia y utilidad de esta funcionalidad en el manejo integral de plagas y enfermedades. El aumento en el número de alertas se pudo determinar midiendo la cantidad de estas generadas durante un mes por cada usuario, antes y después de implementado el sistema, pasando de 1.8 a 3.3 alertas promedio.

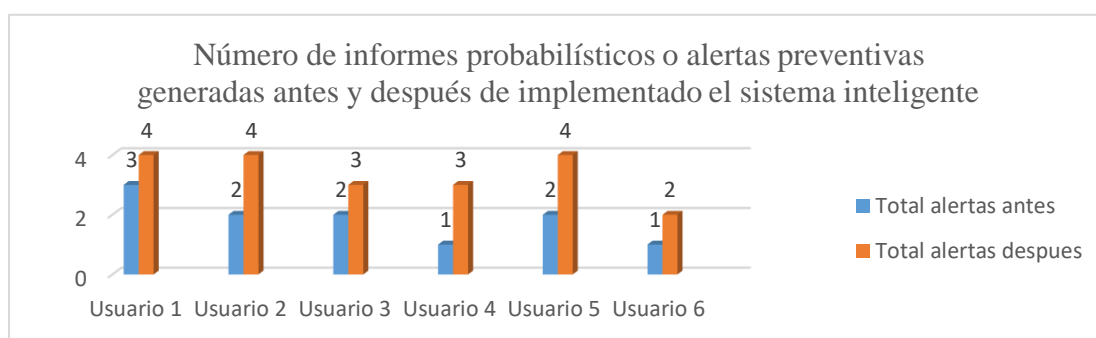


Fig. 10. Número de informes probabilísticos o alertas preventivas generadas antes y después de implementado el sistema inteligente

Se puede apreciar en la fig. 10 que en todos los usuarios se ha registrado un aumento en el número de alertas preventivas generadas, dejando en claro su importancia en el correcto manejo de plagas y enfermedades.

Implementación del sistema inteligente web, basado en redes neuronales, para la reducción del tiempo promedio que se tarda un trabajador en diagnosticar una plaga o enfermedad.

Durante el planteamiento de la problemática, se identificó una demora excesiva en el proceso de diagnóstico de una plaga o enfermedad, causada en gran medida por la falta de conocimientos técnicos de la planta por parte de los agricultores, sin embargo, con el uso del sistema se pudo reducir este tiempo, aportando en gran medida en la toma de decisiones para erradicar las plagas y enfermedades de manera oportuna. Esta mejora se puede apreciar en las pruebas de tiempo realizadas antes y después de implementado el sistema, las cuales arrojaron los siguientes tiempos promedio.

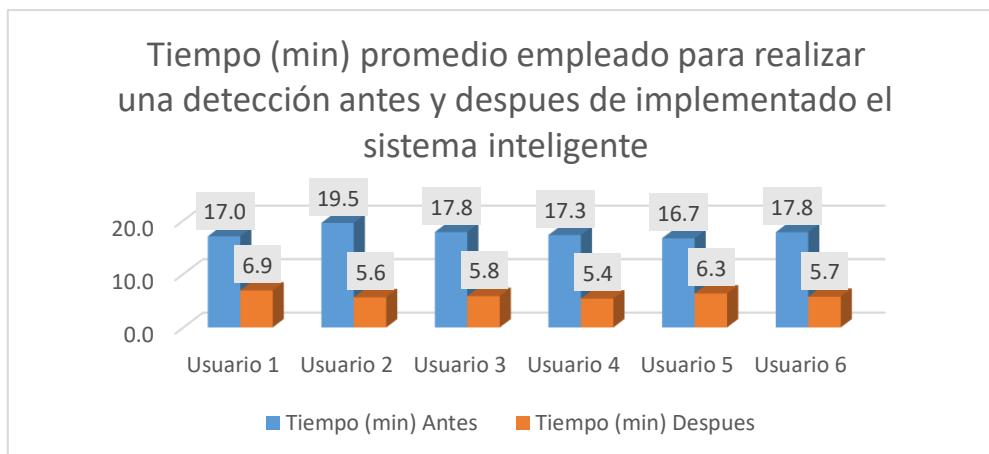


Fig. 11. Tiempo promedio empleado por usuario para realizar una detección antes y después de implementado el sistema inteligente

De estos resultados se pudo identificar una reducción del 66% en el tiempo promedio que se tardaba un agricultor para realizar un diagnóstico de una plaga o enfermedad después de implementado el sistema inteligente, pasando de tardar 17.7 minutos a solo emplear 6.

Validación el sistema inteligente web, mediante el uso realizado por especialistas, para el cumplimiento de los indicadores de éxito planteados por el desarrollador.

La finalidad del sistema inteligente es apoyar a los agricultores independientes en el manejo integral de plagas y enfermedades en los cultivos de caña de azúcar, para cumplir con esta fue necesaria una exhaustiva evaluación, realizada por seis expertos en diferentes zonas de cultivos. En donde se requería cumplir con determinados indicadores de éxito en cuatro aspectos importantes, los cuales fueron: confiabilidad de la información, facilidad de uso, utilidad del sistema y la precisión de ésta al momento de realizar una detección. La evaluación fue realizada haciendo uso de cuestionarios (**ver anexo N° 03**), donde cada experto califico los aspectos a evaluar del sistema después de haberlo utilizado por un determinado tiempo.

La confiabilidad de la información proporcionada por el sistema fue calificada por los expertos respondiendo cuatro preguntas y haciendo uso de cuatro escalas de calificación. Ya teniendo la calificación promedio de las cuatro preguntas de cada usuario, se pudo establecer que porcentaje de los expertos utilizaron cada escala de calificación para referirse a la confiabilidad de la información proporcionada por el sistema.

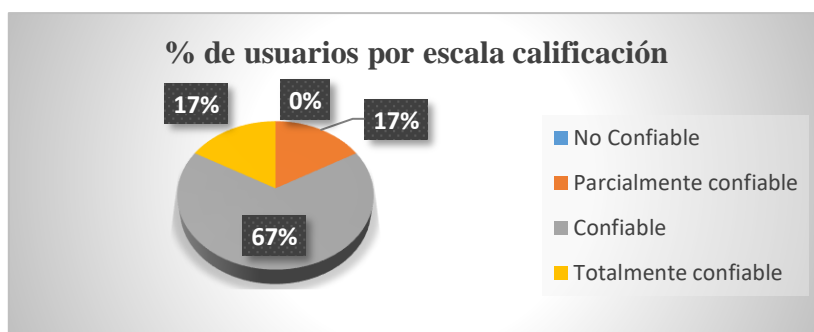


Fig. 12. Porcentaje de usuarios por escala de calificación – Confiabilidad

De esta manera se pudo garantizar el cumplimiento del indicador o criterio de éxito planteado para el aspecto de confiabilidad de la información, el cual solicitaba que el 65% o más de los usuarios hayan evaluado este aspecto entre “Confiable” y “Totalmente confiable”. Teniendo como resultado final que el 67% calificó la información del sistema como “Confiable” y 17% como “Totalmente confiable”.

La facilidad de uso del sistema fue calificada por los expertos respondiendo cinco preguntas y haciendo uso de cuatro escalas de calificación. Ya teniendo la calificación promedio de las cinco preguntas de cada usuario, se pudo establecer cuantos agricultores utilizaron cada escala de calificación para referirse a la facilidad de uso del sistema



Fig. 13. Porcentaje de usuarios por escala de calificación – Facilidad de uso

De esta manera se pudo garantizar el cumplimiento del indicador o criterio de éxito planteado para el aspecto de facilidad de uso del sistema, el cual solicitaba que el 65% o más de los usuarios hayan evaluado este aspecto entre “Fácil” y “Muy fácil”. Teniendo como resultado final que el 33% calificó el uso del sistema como “Fácil” y 33% como “Muy fácil”.

La utilidad del sistema fue calificada por los expertos respondiendo cuatro preguntas y haciendo uso de cuatro escalas de calificación. Ya teniendo la calificación promedio de las cuatro preguntas de cada usuario, se pudo establecer

cuantos agricultores utilizaron cada escala de calificación para referirse a la utilidad del sistema.



Fig. 14. Porcentaje de usuarios por escala de calificación – Utilidad

De esta manera se pudo garantizar el cumplimiento del indicador o criterio de éxito planteado para el aspecto de utilidad del sistema, el cual solicitaba que el 65% o más de los usuarios hayan evaluado este aspecto entre “Útil” y “Muy útil”. Teniendo como resultado final que el 67% calificó el sistema como “Útil” y 33% como “Muy útil”.

Como último aspecto evaluado, la precisión de las inferencias realizadas por el sistema inteligente al momento de detectar una plaga o enfermedad fueron medidas realizando tres pruebas por cada usuario, en donde se comparó el resultado emitido por el sistema y la inferencia realizada por el experto. Si esta coincidía con el resultado del software, se consideraría como un acierto y si no era así, como un desacierto, al final, los aciertos se sumaron al igual que los desaciertos y se determinó el porcentaje de cada uno de ellos con respecto al total de pruebas realizadas. El porcentaje de aciertos se consideró como el grado de precisión del sistema en la detección de una plaga o enfermedad, obteniendo un 83% de aciertos y 17% de desaciertos, lo que equivale a 15 y 3 pruebas correspondientemente. De esta manera se pudo garantizar el cumplimiento del indicador o criterio de éxito planteado para el aspecto de precisión del sistema, el cual solicitaba un 66% o más de precisión al momento de realizar una detección de una plaga o enfermedad.

La poca conciencia preventiva que poseían los agricultores era una de las razones por las que no existía un eficiente manejo integral de plagas y enfermedades en el cultivo de caña de azúcar, esto fue estudiado y avalado por un artículo publicado en Springer [6], el cual manifestaba que la falta del pensamiento proactivo en el agricultor era principalmente ocasionada a la ausencia de conocimientos y probabilidad de ocurrencia de las diversas

plagas y enfermedades. Estos dos puntos fueron abordados por la presente investigación con la finalidad de subsanarlos, en primer lugar, se investigó que los factores climatológicos (temperatura, humedad, velocidad del viento y probabilidad de lluvia) eran los más influyentes en la aparición de plagas y enfermedades, lo cual sirvió como base para la recolección de datos históricos donde estos factores hayan formado parte en la aparición de una plaga ya detectada, estos datos fueron utilizados para el entrenamiento de la red neuronal preventiva. La cual obtuvo una considerable aceptación entre los expertos, reflejándose en la fig. 10, donde se visualiza un aumento en la cantidad promedio de alertas preventivas generadas durante un mes, pasando de 1.8 a 3.3 alertas promedio. Este resultado ratifica lo narrado por el artículo anteriormente citado [6], ya que se puede deducir que la poca conciencia preventiva que existía entre los agricultores se debía en gran medida a la falta de herramientas o procesos tecnológicos que ayuden en la obtención de información relevante y el procesamiento de datos históricos.

El estudio realizado por Quentanilla et al. [16] se centra en la realización de un sistema experto, basado en el paradigma de las redes neuronales, para mejorar la eficiencia en la determinación del impuesto predial en una municipalidad distrital, obteniendo entre sus principales resultados, una reducción del 75% en el tiempo promedio que se empleaba para realizar cada determinación, así mismo, en la presente investigación se logró reducir en un 66% el tiempo promedio empleado para realizar un completo diagnóstico de una plaga o enfermedad. De esta manera, se deja en claro cuán importante puede llegar a ser el uso de las redes neuronales para optimizar los tiempos de respuesta en la realización de una inferencia.

En el estudio realizado por Lévano et al. [15], se centraron en aumentar el conocimiento sobre las plagas y enfermedades que podían atacar al cultivo de estudio, con la finalidad de mejorar la eficiencia al momento de detectar una plaga o enfermedad, esto trajo como resultado que el 52% de los usuarios consideraran la utilidad del sistema desarrollado entre “buena” y “muy buena”, y que el 64% calificaran la información brindada de igual forma. Sin embargo, en la presente investigación se buscó no solo aumentar el conocimiento de plagas y enfermedades, sino también de los tratamientos y medidas preventivas que se podían realizar para mitigar su expansión o desarrollo, esto se puede ver reflejado en la fig. 9, donde se logró aumentar el número promedio de tratamientos y medidas preventivas que utilizaban los agricultores, pasando de 9 a 29 tratamientos promedio. Esta nueva información caló considerablemente en la calificación de los usuarios al momento de evaluar la utilidad del sistema y la confiabilidad de la información

que proporcionaba esta, llegando a obtener que 100% de los usuarios calificaran entre “útil” y “muy útil” el funcionamiento del software, además, de que un 84% determinara que la información proporcionada era entre “confiable” y “totalmente confiable”.

En el estudio realizado por Syarief [14], se utiliza el proceso de jerarquía analítica (AHP) como método para realizar las inferencias al momento de diagnosticar una plaga o enfermedad, este método se basaba en las comparaciones por pares y en los juicios de los expertos para derivar escalas de prioridad entre los grupos de síntomas. La aplicación del AHP trajo como principal resultado una precisión del 65% a la hora de identificar una plaga o enfermedad en el cultivo de estudio. Por otro lado, en la investigación elaborada por Sammy y Bobby [13] se hicieron uso de modelos adaptativos de aprendizaje profundo de red neuronal convolucional para realizar diagnósticos de plagas y enfermedades a través del procesamiento de imágenes, obteniendo como resultado una precisión del 95.40%. Contrastando los resultados de las investigaciones anteriores con lo obtenido en la presente investigación, 83% de precisión, se podría asegurar que las redes neuronales brindan una mayor confiabilidad al momento de realizar inferencias en comparación con el proceso de jerarquía analítica (AHP), sin embargo, no supera la capacidad que tiene el procesamiento de imágenes para determinar la presencia de una plaga o enfermedad.

Conclusiones

Se aumento el número de tratamientos de control de 9 a 29 alternativas promedio con las que podrá contar los agricultores de caña de azúcar en el manejo integral de plagas y enfermedades, esto como consecuencia de la recolección de información de los expertos y las diversas fuentes de información certificadas en el proceso de construcción de la base de conocimiento del sistema.

Se aumento el número de informes probabilísticos o alertas preventivas de aparición de plagas o enfermedades generadas durante un mes, pasando de 1.8 a 3.3 alertas promedio. Esto gracias a la facilidad de uso y correcto funcionamiento de la red neuronal que se encargaba de procesar la temperatura, humedad, la velocidad del viento y la probabilidad de lluvia para así poder realizar una inferencia sobre la posible aparición de una determinada plaga o enfermedad en el cultivo.

Se redujo el tiempo promedio empleado para realizar una detección o diagnóstico de una plaga o enfermedad, pasando de tardar 17.7 minutos a solo utilizar 6. Esto debido a la facilidad de identificación de síntomas que proporciona el sistema y el procesamiento de

estas por parte de una red neuronal, la cual optimiza el tiempo de respuesta e identificación de la plaga o enfermedad que se está detectando.

La utilización de redes neuronales para la detección y prevención de plagas o enfermedades, así como, los tratamientos recomendados y la capacidad de dar seguimiento a estos mediante el registro de actividades ha generado que el producto acreditable reciba buenas calificaciones por parte de los expertos en lo que respecta a la confiabilidad, utilidad y facilidad de uso, logrando que un 84% de los agricultores califique a la información proporcionada por el sistema entre “confiable” y “muy confiable”, que el 66% califique entre “fácil” y “muy fácil” el uso del software y, por último, que el 100% considere entre “útil” y “muy útil” el funcionamiento del sistema en el ambiente de trabajo.

Se obtuvo una precisión del 83% al momento de diagnosticar una plaga o enfermedad en el cultivo de caña de azúcar, como consecuencia del correcto entrenamiento de una red neuronal con datos históricos de detecciones pasadas, esto permitió que la red neuronal pueda realizar inferencias más precisas acorde al grupo de síntomas ingresados.

Recomendaciones

Esta investigación puede dar pase al desarrollo de trabajos académicos donde se utilice herramientas de hardware, como Arduino y sus diversos componentes de medición, para complementar el seguimiento de los cultivos. Ya que a través de estas herramientas se podría tener mayor precisión en las lecturas de humedad del suelo y la temperatura del ambiente, asegurando un adecuado proceso de riego y detección de plagas en conjunto con un sistema informático.

En trabajos futuros, se podría utilizar otras técnicas de inteligencia artificial como la minería de datos para determinar en qué momento realizar un cultivo o en qué fase de este existe mayor incidencia de plagas y enfermedades. Por otro lado, se podría hacer uso de redes bayesianas para realizar inferencias probabilísticas sobre que plaga o enfermedad podría aparecer en un cultivo y no solo centrarse en brindar una respuesta única

Referencias

- [1] D. A. Rodríguez Lagunes, «Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades de la Caña de Azúcar,» Intagri, 2016. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-plagas-y-enfermedades-de-la-cania>. [Último acceso: 3 Enero 2021].
- [2] M. L. P. Pérez, M. G. Del Rio y A. A. Lanteri, «Posición taxonómica de *Acrotomopus atropunctellus* (Coleoptera: Curculionidae) y descripción del daño producido en el cultivo de caña de azúcar en la Argentina,» *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, vol. 71, n° 3-4, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3220/322028526010.pdf>. Acceso: febrero 2021.
- [3] E. Concepción Cruz, V. Carabaloso Torrecilla, R. G. Nápoles Alberto, L. Morales Fundora, O. Cruz Coca y Y. Viñas Quintero, «Problemas asociados al rendimiento agrícola de la caña de azúcar en la cooperativa potrerillo, provincia sancti spíritus,» *Revista Centro Azúcar*, vol. 42, n° 2, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v42n2/caz09215.pdf>. Acceso: enero 2021.
- [4] M. A. Chaves Solera, J. Bolaños Porras, J. C. Barrantes Mora, G. Calderón Araya, M. Rodríguez Rodríguez, A. Angulo Marchena y E. Barquero Madrigal, «Problemas y limitantes del productor de caña de azúcar en Costa Rica: opinión del agricultor,» Laica, San José, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/zQgirDgNNOreiqeUNCYZjGYwryQpfs1B>
- [5] L. F. Sánchez Vera, «La evaluación de la experiencia en cultivo de caña de azúcar, y su influencia en el nivel de calidad de caña. Agricultores Independientes Laredo,» Trujillo, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/1942>
- [6] Y.-K. Huang, W.-F. Li, R.-Y. Zhang y X.-Y. Wang, «Integrated Control of Sugarcane Diseases and Pests,» *Springer*, pp. 361-377, 2018. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1319-6_5
- [7] S. Swartz, «Prevención de plagas: Los fundamentos del Manejo Integrado de Plagas,» Echo Community, 18 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.echocommunity.org/es/resources/53f72b33-0e2c-4b4d-9de4-9ec31cbaf2e6>. [Último acceso: 28 Enero 2021].
- [8] Diario La República, «Uso de tecnología de pequeños agricultores incrementaría hasta 40% el rendimiento de cultivos,» La República, 27 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://larepublica.pe/economia/2019/07/27/uso-de-tecnologia-de-pequenos-agricultores-incrementaria-hasta-40-el-rendimiento-de-cultivos/>. [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [9] L. Maríategui, «La industria azucarera en el Perú,» RPP Noticias, 17 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/39IUvGa>. [Último acceso: 16 Febrero 2021].
- [10] Gobierno Regional Lambayeque, «Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque,» Chiclayo, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3hLZXXw>
- [11] A. M. del Puerto Rodríguez, S. Suárez Tamayo y D. E. Palacio Estrada, «Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud,» *Revista Cubana de Higiene y*

- Epidemiología*, vol. 52, n° 3, 2014. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010 Acceso: enero 2021.
- [12 A. A. Elsharif y S. S. Abu-Naser, «An Expert System for Diagnosing Sugarcane Diseases,» *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*, vol. 3, n° 3, pp. 19-27, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://ijeais.org/wp-content/uploads/2019/03/IJAER190303.pdf>. Acceso: enero 2021.
- [13 S. V. Militante y B. D. Gerardo, «Detecting Sugarcane Diseases through Adaptive Deep Learning Models of Convolutional Neural Network,» de *2019 IEEE 6th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS)*, Kuala Lumpur, 2019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/ICETAS48360.2019.9117332>. Acceso: enero 2021.
- [14 M. Syarief, «Mobile Expert System to Diagnose Diseases and Pests in Tobacco Using Analytical Hierarchy Process (AHP),» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1477, n° 2, p. 022024, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1477/2/022024/pdf>. Acceso: septiembre 2021.
- [15 J. E. R. Yaya Lévano y E. D. Angulo Altamirano, «Diseño e implementación de un sistema experto para optimizar el control de plagas y enfermedades en el cultivo de la uva,» *Nawparisum Revista de Investigación Científica*, vol. 3, n° 1, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/130>. Acceso: setiembre 2021.
- [16 J. G. Quintanilla Paredes y J. L. Rodríguez Mantilla, «Sistema experto basado en redes neuronales para mejorar la determinación del impuesto predial en la Municipalidad Distrital de La Esperanza,» Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10261>
- [17 J. P. Tarrillo Colchado, «Aplicación móvil híbrida aplicando análisis jerárquico para apoyar el proceso de control de la plaga diatraea saccharalis en la producción de la caña de azúcar,» Chiclayo, 2019. Tesis Pregrado, USAT, Chiclayo, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/2341>
- [18 Y. C. Shin y C. Xu, *Intelligent systems: modeling, optimization, and control*, CRC press, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/magazines/intelligent-systems-modeling-optimization-control/docview/200160900/se-2?accountid=37610>
- [19 R. Akerkar y P. Sajja, *Knowledge-Based Systems*, Jones & Bartlett Publishers, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3hMED3S>
- [20 S. Shanmuganathan, «Artificial neural network modelling: An introduction,» *Springer*, pp. 1-14, 2016. [En línea] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-28495-8_1
- [21 NSW GOVERNMENT, «Vegetable Integrated Pest Management,» Vegetable Industry Centre, Yanco Agricultural , 2011. [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/3nSFhkt>
- [22 S. Swartz, «Prevención de plagas,» echo community, 18 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.echocommunity.org/es/resources/53f72b33-0e2c-4b4d-9de4-9ec31cbaf2e6>. [Último acceso: 21 Enero 2021].

- [23 S. Martínez, «El tiempo, las plagas (animal y/o vegetal) y las plantas. Pronóstico de enfermedades y plagas,» UNLP, 2017. [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/3nNPWNe>
- [24 E. Jiménez M., «Métodos de Control de Plagas,» Managua, 2009. [En línea] Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf>
- [25 J. Lozada, «Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria,» *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, vol. 3, n° 1, pp. 47-50, 2014. [En línea] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- [26 R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, Mexico: McGRAW-HILL/Interamericana Editores, 2000. [En línea] Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>. Acceso: setiembre 2021.
- [27 R. Garcia Martinez, B. Rossi y P. Britos, «Metodologias de educación de conocimiento para la construccion de sistemas informaticos expertos,» Buenos Aires. [En línea] Disponible en: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lsi/rgm/articulos/R-ITBA-21-metodologias.pdf>
- [28 Ministerio de Agricultura y Riego, «Boletín Caña de Azúcar,» Lima, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/39osfCs>

Anexos

**ANEXO N° 01. CONSTANCIA DE APROBACIÓN DEL PRODUCTO
ACREDITABLE DE LA ENTIDAD DONDE SE EJECUTÓ LA TESIS**

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

Zaña, 20 de octubre del 2021

Asunto: APROBACIÓN Y CULMINACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE

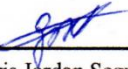
Por medio del presente documento certificamos la aprobación y culminación del trabajo de investigación titulado “ SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN REDES NEURONALES PARA APOYAR EL CONTROL DE PLAGAS EN CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAMBAYEQUE ”, cuya realización se ejecutó correctamente y estuvo a cargo de JEAN EDINSON GUEVARA BRIONES, estudiante del décimo ciclo de la carrera de ingeniería de sistema y computación en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Se expide la presente a la solicitud del interesado para los fines que estime convenientes.


Atentamente


Ariel Wellington Díaz Alvarado
INGENIERO AGRICOLA
REG. CIP. 119327

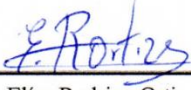
Ariel Wellington Díaz Alvarado
Ingeniero agrícola y agricultor – Cultivo Nueva Arica



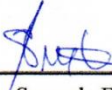
Garis Jordan Segura Flores
Agricultor – Cultivo Zaña



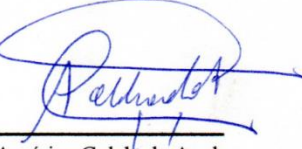
Walter Marchena Cercado
Agricultor – Cultivo Popan



Elías Rodrigo Ortiz Guevara
Agricultor – Cultivo San Antonio



Segundo Flores Ortiz
Agricultor – Cultivo La Otra Banda



Américo Colchado Azula
Agricultor – Cultivo Zaña

ANEXO N° 02. GUIA DE ENTREVISTA

1. ¿Cuántos años lleva trabajando en lo que respecta al cultivo de caña de azúcar?
2. En el último cultivo realizado:
 - 2.1. ¿Cuál fue el porcentaje de caña de azúcar dañada por una enfermedad o plaga?
 - 2.2. ¿Cuáles fueron las principales plagas que se detectaron en el cultivo?
 - 2.3. ¿A qué grado de infestación lograron llegar las plagas cuando fueron detectadas?
 - 2.4. ¿Cuántos trabajadores (incluyéndose) conocían los aspectos técnicos para el manejo integral de plagas en los cultivos?
3. En su experiencia ¿Ha habido dificultades en la detección temprana de una plaga o enfermedad? ¿Cuáles han sido estas?
4. En términos generales, ¿Cómo se realiza el proceso de detección de una plaga o enfermedad? ¿Existe un plan de pruebas establecido o en determinados momentos se evalúa los sembríos?
5. La información que se obtiene y se maneja al momento de detectar una plaga o enfermedad, como el grado de infestación, la ubicación en donde se detectó, etc. ¿Mediante que herramienta se va registrando o almacenando?
6. ¿Se han realizado tratamientos adicionales para la erradicación de una plaga o enfermedad, ya habiendo realizado una con anterioridad? Si es así ¿A qué se debió?
7. En su experiencia ¿Ha realizado medidas preventivas para evitar la aparición de plagas y enfermedades en el cultivo de caña de azúcar?

ANEXO N° 03. CUESTIONARIO

Datos Personales

- Nombres y apellidos:
- Cargo:
- Distrito donde ha realizado su ultimo cultivo:

Primera Parte

- Marca con una aspa (x) en el recuadro correspondiente según tu calificación.

Criterio	Preguntas	Calificación				Leyenda
		1	2	3	4	
Confiabilidad de la Información	¿Cómo califica la información proporcionada por el sistema referente a las plagas o enfermedades que atacan los cultivos de caña de azúcar?					(1) No confiable (2) Parcialmente confiable (3) Confiable (4) Totalmente confiable
	¿Cómo califica la información proporcionada por el sistema referente a los tratamientos y medidas preventivas para combatir las plagas y enfermedades?					
	¿Cómo califica el conjunto de síntomas y sus ejemplos visuales, proporcionados por el sistema antes de realizar una detección?					
	¿Cómo califica la información proporcionada por el sistema en la interfaz de reportes estadísticos?					
Promedio						
<p>* Con la finalidad de transformar la calificación promedio a su valor cualitativo, se hará uso de los siguientes rangos: (1-1.99) No confiable, (2-2.99) Parcialmente confiable, (3-3.99) Confiable, (4) Totalmente confiable</p>						

Facilidad de Uso	¿Qué tan fácil fue mapear y registrar un cultivo en el sistema?					(1) Muy difícil (2) Difícil (3) Fácil (4) Muy fácil
	¿Qué tan fácil fue detectar una plaga o enfermedad en el sistema?					
	¿Qué tan fácil fue determinar que plaga o enfermedad era más probable a aparecer en el cultivo de caña de azúcar?					
	¿Qué tan fácil fue registrar y dar seguimiento a las actividades realizadas en un cultivo de caña de azúcar?					
	¿Qué tan fácil fue asignar un tratamiento o medida preventiva a una detección o alerta generada con anterioridad?					
Promedio						
* Con la finalidad de transformar la calificación promedio a su valor cualitativo, se hará uso de los siguientes rangos: (1-1.99) Muy difícil, (2-2.99) Difícil, (3-3.99) Fácil, (4) Muy fácil						
Utilidad del Sistema	¿Le resulto útil el sistema en el aspecto de detectar una plaga o enfermedad?					(1) Inútil (2) Poco Útil (3) Útil (4) Muy Útil
	¿Le resulto útil el sistema en el aspecto de anteponerse ante la posible aparición de una plaga o enfermedad?					
	¿Le resulto útil los tratamientos o medidas preventivas mostrados en el sistema?					
	¿Le resulto útil el proceso de registro y seguimiento de las actividades realizadas por los agricultores?					
Promedio						
* Con la finalidad de transformar la calificación promedio a su valor cualitativo, se hará uso de los siguientes rangos: (1-1.99) Inútil, (2-2.99) Poco Útil, (3-3.99) Útil, (4) Muy Útil						

Segunda Parte

- A continuación, se han enumerado los síntomas, además, de las plagas y enfermedades, con la finalidad de utilizar su numeración cuando se refiera a cada una de ellas.

Numero	Síntomas
1	Amarillamiento de la Planta
2	Marchitez
3	Inclinación de la planta o Acame
4	Perforación en el Tallo cuando forman los entrenudos
5	Muerte del ápice meristemático debido a la perforación de su punto vegetativo "Corazón Muerto"
6	Larvas color blanco
7	Perforaciones en el cuello de la planta
8	Presencia de capullos
9	Presencia de Huevos
10	Secado de la parte apical de la hoja
11	Presencia de Aserrín
12	Hojas enrolladas
13	Rayas largas cloróticas sobre verde normal
14	Hojas con fondo verde blanco o amarillento
15	Crecimiento lento
16	Amarillamiento de la parte central de la hoja
17	Coloración rosada de la parte central de la hoja
18	Necrosis de la hoja
19	Líneas rojas en el centro del tallo
20	Disminución de tallos por planta
21	Línea blanca en la parte central de la hoja
22	Brotos laterales

Numero	Plaga o Enfermedad
1	Anomala sp., Bothynus Maimon (gusano de semilla)
2	Diatrea Saccharalis Fabricius (cañero)
3	Elasmopalpus lignosellus Zeller (barrenador menor de caña)
4	Marasmia trapezalis Guenee (enrollador de hojas)
5	Matemasius hemipterus Sericeus (picudo)
6	Mosaico
7	Escaldadura de la Hoja
8	Raquitismo de la Soca
9	Síndrome de la hoja amarilla

- Para validar el funcionamiento del sistema, realizar tres pruebas de detección de plagas o enfermedades. En donde, por cada una de ellas deberá llenar en el siguiente cuadro: los síntomas ingresados, el diagnóstico del sistema y su diagnóstico como experto en el manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de caña de azúcar.

N° de Prueba	Síntomas	Enfermedad o plaga detectada por el sistema	Enfermedad o plaga detectada por el experto
1			
2			
3			

ANEXO N° 04. GUIAS DE OBSERVACIÓN

**GUIA DE OBSERVACIÓN – TIEMPO QUE SE EMPLEA
PARA REALIZAR UNA DETECCIÓN**

- Observador:
- Fecha:

Esta guía de observación tiene la finalidad de evaluar el tiempo que se empleó para realizar una detección antes y después de implementado el producto acreditable. En donde cada usuario realizó (experto) tres detecciones antes y después de la implementación del sistema, midiendo siempre el tiempo que se tardó en realizarlo.

Usuario	Número de Prueba	Tiempo (min) que se empleó para realizar una detección antes de utilizar el sistema.	Tiempo (min) que se empleó para realizar una detección después de utilizar el sistema.
	1		
	2		
	3		
	Promedio		
	1		
	2		
	3		
	Promedio		

	1		
	2		
	3		
	Promedio		
	1		
	2		
	3		
	Promedio		
	1		
	2		
	3		
	Promedio		
	1		
	2		
	3		
	Promedio		

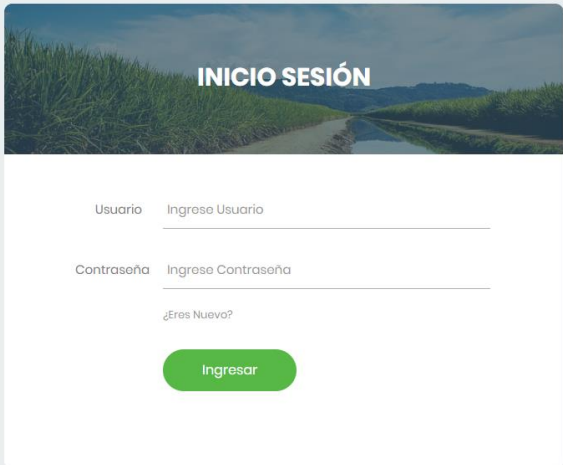
GUIA DE OBSERVACIÓN – CANTIDAD DE TRATAMIENTOS DE CONTROL Y ERRADICACIÓN

- Observador:
- Fecha:

Esta guía de observación tiene la finalidad de determinar el número de opciones de control con las que cuenta un usuario (experto) para combatir o prevenir la aparición de plagas y enfermedades.

Cantidad de tratamientos de control y erradicación antes de la implementación del sistema.					
Usuarios	Tipos de Tratamientos				Total
	T. Cultural es	T. Mecánicos	T. Ecológicos	T. Químicos	
Promedio					

ANEXO N° 05. INTERFACES



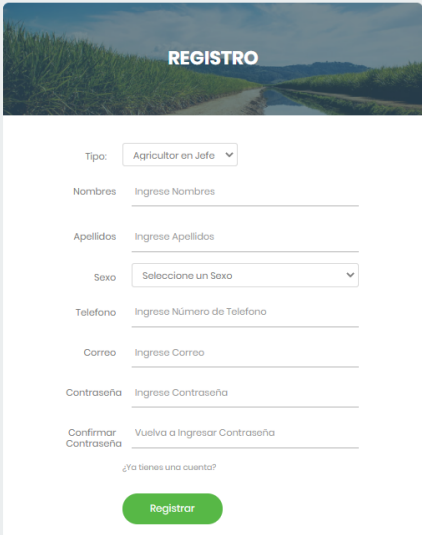
INICIO SESIÓN

Usuario

Contraseña

[¿Eres Nuevo?](#)

Interfaz – Inicio de sesión



REGISTRO

Tipo:

Nombres

Apellidos

Sexo

Telefono

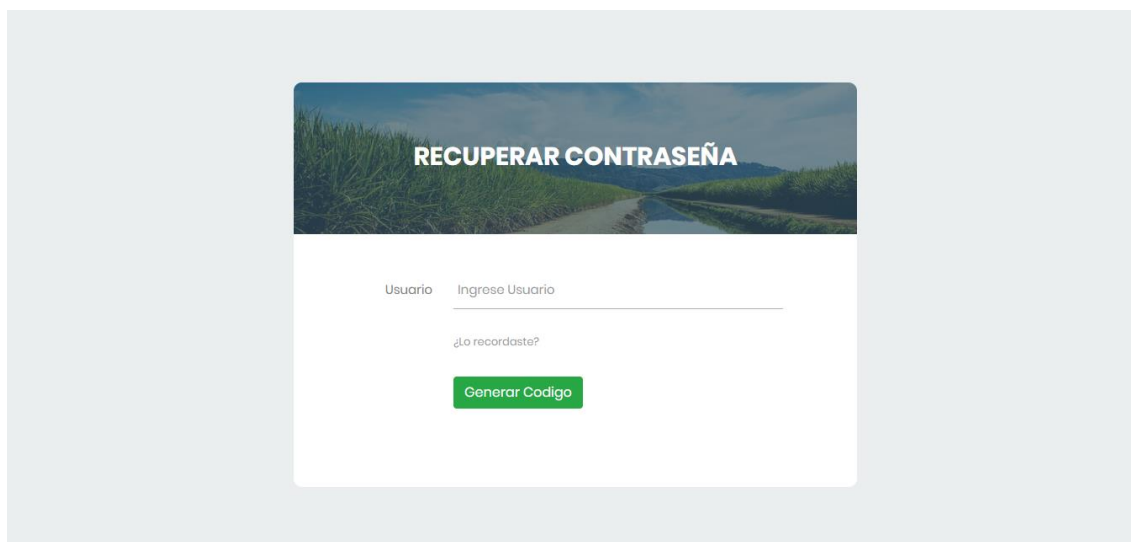
Correo

Contraseña

Confirmar Contraseña

[¿Ya tienes una cuenta?](#)

Interfaz – Registro de usuario



Interfaz – Recuperar contraseña

AgroAyuda Jean Edinson Guevara Briones

Pagina Principal

Bienvenido
¡Bienvenido! AgroAyuda es una plataforma web especializada en la gestión de los cultivos de caña de azúcar. Entre sus principales características tenemos el hecho de que utiliza la inteligencia artificial para apoyar en la prevención o detección de una plaga o enfermedad, permite gestionar de mejor manera los cultivos a través de mapas interactivos y mejora considerablemente el proceso de seguimiento de los tratamientos y medidas preventivas que estén en ejecución.

Colaboradores pendientes de verificar su registro

Nombres y Apellidos	Correo
Amalia Angelica Briones Urbina	prueba2@hotmail.com

[Ir a gestión de colaboradores](#)

Eliga un cultivo:
Cultivo Usat - 15 Hectareas

Pruebas con tratamientos por realizar


Fecha	Cultivo	Area de Trabajo	Tratamiento	Boton
NO EXISTEN PRUEBAS CON ACTIVIDADES PENDIENTES				

Alertas con medidas preventivas por realizar

Fecha	Cultivo	Area de Trabajo	Tipo	Boton
NO EXISTEN ALERTAS CON ACTIVIDADES PENDIENTES				

2021 © Derechos de Autor - Guevara Briones Jean Edinson

Interfaz – Página principal



Jein Edinson Guevara Briones

- [Inicio](#)
- [Perfil](#)
- [Mis Cultivos](#)
- [Reportes](#)
- [Realizar Detección](#)
- [Generar Alerta Preventiva](#)
- [Pruebas](#)
- [Tratamientos Recomendados](#)
- [Gestionar Colaboradores](#)
- [Gestionar Cargos](#)

Gestionar Cultivos
Registrar Cultivo


Cultivos

ID	Nombre del Cultivo	Cantidad de Hectareas	Boton
31	Cultivo Usat	15	Ver Areas Dar Baja

Areas de Trabajo

Area de Trabajo	Cantidad de Hectareas	Lat. Ver. 1	Lon. Ver. 1	Lat. Ver. 2	Lon. Ver. 2	Lat. Ver. 3	Lon. Ver. 3	Lat. Ver. 4	Lon. Ver. 4	Boton
1	10	-6.8969	-79.5577	-6.90131	-79.5612	-6.90434	-79.5589	-6.89982	-79.5552	Eliminar
2	5	-6.89999	-79.5551	-6.90339	-79.5579	-6.9045	-79.5561	-6.90187	-79.5534	Eliminar

Mapa
Satélite



Informacion del Cultivo

Denominación	Cantidad de Hectareas Totales
Cultivo Usat	15

Actualizar Informacion

Areas de Trabajo del Cultivo

Cantidad de Hectareas asignadas a esta area de trabajo

Ingrese numero de Hectareas

Vertice de división (latitud y longitud)

Latitud

Longitud

Registrar Coordenada

Vertice de división (latitud y longitud)

Latitud

Longitud

Registrar Coordenada

¿De que manera desea mapear las areas de trabajo?

Ingresar coordenadas manualmente

Vertice de división (latitud y longitud)

Latitud

Longitud

Registrar Coordenada

Vertice de división (latitud y longitud)

Latitud

Longitud


Registrar Coordenada

Confirmar Area de Trabajo

Interfaz – Gestionar cultivos

AgroAyuda Jean Edinson Guevara Briones

Mapear Cultivo Regresar



Areas de Trabajo del Cultivo

Cantidad de Hectareas asignadas a esta area de trabajo
 Ingrese numero de Hectareas

Vertice de división (latitud y longitud)
 Latitud
 Longitud

Registrar Coordenada

Vertice de división (latitud y longitud)
 Latitud
 Longitud

Registrar Coordenada

Confirmar Area de Trabajo

¿De que manera desea mapear las areas de trabajo?
 Ingresar coordenadas manualmente

Vertice de división (latitud y longitud)
 Latitud
 Longitud

Registrar Coordenada

Vertice de división (latitud y longitud)
 Latitud
 Longitud

Registrar Coordenada

Areas de Trabajo

Area de Trabajo	Cantidad de Hectareas	Lat. Ver. 1	Lon. Ver. 1	Lat. Ver. 2	Lon. Ver. 2	Lat. Ver. 3	Lon. Ver. 3	Lat. Ver. 4	Lon. Ver. 4	Boton

Informacion del Cultivo

Denominación
 Ingrese el alias del cultivo

Cantidad de Hectareas Totales
 Ingrese cantidad de hectareas

Registrar Cultivo

2021 © Derechos de Autor - Guevara Briones Jean Edinson


Interfaz – Registrar cultivo

AgroAyuda Jean Edinson Guevara Briones

Gráficos Estadísticos Guardar Reporte


Cultivo Popan - 125 Hectareas Total Mes 2021

Cantidad de Plagas y Enfermedades Detectadas



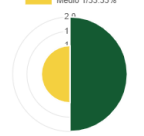
Tratamientos Realizados por Categoría

- Tratamiento Cultural 1/33.33%
- Tratamiento Biológico 2/66.67%



N° Pruebas por Nivel Infestacion

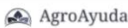
- Bajo 2/66.67%
- Medio 1/33.33%




Cantidad de Plagas y Enfermedades Alertadas

Medidas Realizadas por Categoría

Interfaz – Reportes




Jean Edinson Guevara Briones

- [Inicio](#)
- [Perfil](#)
- [Mis Cultivos](#)
- [Reportes](#)
- [Realizar Detección](#)
- [Generar Alerta Preventiva](#)
- [Pruebas](#)
- [Tratamientos Recomendados](#)
- [Gestionar Colaboradores](#)
- [Gestionar Cargos](#)

Registro de Pruebas



Ingreso de Sintomatología

- Amarillamiento de la Planta [Ejemplo Visual](#)
- Marchitez [Ejemplo Visual](#)
- Inclinación de la planta o Acame [Ejemplo Visual](#)
- Perforación en el Tallo cuando forman los entrenudos [Ejemplo Visual](#)
- Muerte del apice meristemático debido a la perforación de su punto vegetativo - Corazon Muerto [Ejemplo Visual](#)
- Larvas color blanco [Ejemplo Visual](#)
- Perforaciones en el cuello de la planta [Ejemplo Visual](#)
- Presencia de capullos [Ejemplo Visual](#)
- Presencia de Huevos [Ejemplo Visual](#)
- Secado de la parte apical de la hoja [Ejemplo Visual](#)
- Presencia de Acerrin [Ejemplo Visual](#)
- Hojas enrolladas [Ejemplo Visual](#)
- Rayas largas cloróticas sobre verde normal [Ejemplo Visual](#)

[Detectar](#)

Elasmopalpus Lignosellus Zeller (barrenador menor de caña)

Esta plaga ataca tan pronto los brotes emergen, la larva los perfora lateralmente justo debajo del cuello de la planta. La larva se suele encontrar fuera de la planta en un capullo de seda recubierto por tierra y excremento (el agujero de entrada permanece limpio sin excrementos). Ataques severos en caña planta o soca, producen un relativo atraso y desuniformidad en el crecimiento de plantas. Se suele controlar aplicando un riego pesado.

Tratamientos

Entomopatígenos - Tratamiento Biológico

Es atacado en forma natural por diversos organismos beneficiosos, entre ellos entomopatígenos (Metarhizium anisopliae Sorokin y Beauveria bassiana Vuillemin), los que pueden llegar a provocar una mortalidad acumulada de barrenadores en más del 90%.

Producto: Entomopatígenos
Aplicaciones: 1
Intervalo de días por Aplicación: 0

[Aplicar](#)

Parasitoides - Tratamiento Biológico

Detalles de la Prueba

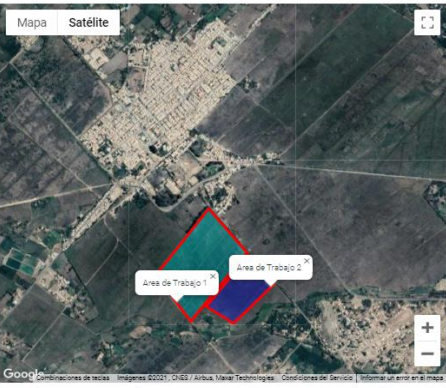
Cultivo:
Cultivo Usat - 15 Hectareas ▼

Eliga un área de cultivo:
Area 1 ▼

Nivel de Infestación:
Bajo (Presencia de síntomas dentro de los 5 metros a la redonda) ▼

Observaciones
Ingrese Observaciones

[Registrar Prueba](#)



2021 © Derechos de Autor - Guevara Briones Jean Edinson

AgroAyuda

Jean Edinson Guevara Briones

¿Desea saber que plaga o enfermedad es probable que aparezca en su cultivo? [Detectar](#)

Inicio

Perfil

Mis Cultivos

Reportes

Realizar Detección

Generar Alerta Preventiva

Pruebas

Tratamientos Recomendados

Gestionar Colaboradores

Gestionar Cargos

Información

Cultivo: Cultivo Usat - 15 Hectareas

Area: Area 2

Mapa
Satélite

+
-

Mosaico

Temperatura: 18.71 C° Humedad: 68% Velocidad del Viento: 17 Km/h Probabilidad de Lluvia: 25%

Se caracteriza por causar la disminución del número y tamaño de los cloroplastos en ciertas áreas de la hoja dejando otras sin daño aparente. Esto provoca el característico síntoma de mosaico con áreas verdes normales sobre un fondo de verde más claro o amarillento, con patrones que varían dependiendo de la raza del virus, de la variedad y a veces de la temperatura y otras condiciones de crecimiento. El mosaico es más evidente en brotes jóvenes (1-3 meses) y en las bases de las hojas apicales. En algunas variedades pueden observarse cambios de color en la corteza del tallo, similares a los síntomas en hojas.

Alertas

Fecha	Temperatura	Humedad	Velocidad del Viento	Probabilidad de Lluvia	Plaga o Enfermedad	Cultivo	Area	Colaborador	¿Posee Tratamiento?	Boton
2021-10-18	18.71 C°	68 %	17 Km/h	25 %	Mosaico	Cultivo Usat	Area de Trabajo 2	Jean Edinson Guevara Briones	No	Ver Detalles

Alerta

Fecha: 2021-10-18
 Temperatura: 18.71 C°
 Humedad: 68 %
 Velocidad del Viento: 17 Km/h
 Probabilidad de Lluvia: 25 %
 Plaga o Enfermedad: Mosaico
 Cultivo: Cultivo Usat
 Area: Area de Trabajo 2
 Colaborador: Jean Edinson Guevara Briones

Medidas Preventivas

Barreras - Tratamiento Cultural

Proteger el área con barreras vivas de maíz, sorgo y/o pastos para reducir el daño de la plaga

Producto: Ninguno
 Aplicaciones: 0
 Intervalo de días por Aplicación: 0

[Aplicar](#)

Densidad de Plantas - Tratamiento Mecánico

[Confirmar Eleccion](#)

Mapa
Satélite

+
-

2021 © Derechos de Autor - Guevara Briones Jean Edinson

Interfaz – Gestionar alertas preventivas

Registro de Pruebas

Fecha	Nivel de Infestacion	Plaga o Enfermedad	Cultivo	Area de Trabajo	Colaborador	¿Posee Tratamiento?	Boton
1-06-17	Bajo	Anomala sp., Bothynus Maimon (gusano de semilla)	Cultivo Popan	Area de Trabajo 4	Jean Edinson Guevara Briones	Si	Actividades Ver Data
1-06-03	Bajo	Distrea Saccharalis (Cañero)	Cultivo Popan	Area de Trabajo 1	Jean Edinson Guevara Briones	No	Ver Detalles
1-06-01	Medio	Marasmia trapezalis Guenee (enrollador de hojas)	Cultivo Nueva Aricaa	Area de Trabajo 1	Amalia Angelica Briones Urbina	Si	Actividades Ver Data
1-05-26	Bajo	Anomala sp., Bothynus Maimon (gusano de semilla)	Cultivo Nueva Aricaa	Area de Trabajo 1	Amalia Angelica Briones Urbina	Si	Actividades Ver Data
1-05-26	Bajo	Distrea Saccharalis (Cañero)	Cultivo Nueva Aricaa	Area de Trabajo 1	Amalia Angelica Briones Urbina	Si	Actividades Ver Data
1-05-26	No existe plaga o enfermedad	Sin Presencia de Plagas o Enfermedades	Cultivo Nueva Aricaa	Area de Trabajo 3	Jean Edinson Guevara Briones	No	Ver Detalles

Prueba
 Observaciones: Ninguno
 Fecha: 2021-06-17
 Nivel de Infestación: Bajo
 Plaga o Enfermedad: Anomala sp., Bothynus Maimon (gusano de semilla)
 Colaborador: Jean Edinson Guevara Briones
 Tratamiento: Si

Liberacion de Insectos - Tratamiento Cultural
 Liberacion de Insecto
 Producto: Ninguno
 Aplicaciones: 0
 Intervalo de dias por Aplicacion: 0

Cultivo Popan - Area de Trabajo4
 Mapa Satélite

Interfaz – Gestionar pruebas

Seguimiento de Actividades de Pruebas [Regresar](#)

Cultivo Nueva Aricaa
 Mapa Satélite

Septiembre 2021

Hoy	<	>	Septiembre 2021							Mes	Semana
	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb				
29		30	31 Liberacion de tipo de Insecto	1	2	3	4				
5	6	7	8	9	10	11					
12	13	14	15	16	17	18					
19	20	21	22	23	24	25					
26	27	28	29	30	1	2					

Interfaz – Seguimiento de medida preventiva o tratamiento

Liberacion de Tipo de Insectos

Actividad: Liberacion de Tipo de Insectos

Descripción: Nada

Fecha Estipulada: 2021-08-31


Fecha de Realización: No se ha realizado

Estado de la Plaga o Enfermedad:
No Precisa

Tratamiento: Eulophidae - Tratamiento Biologico

Existen enemigos naturales reportados del gusano enrollador de la hoja: Pediobius ni (Hymenoptera: Eulophidae) es uno de ellos. Con una sola liberacion basta para erradicar la presencia de este gusano.

Plaga o Enfermedad:
Marasmia trapezalis Guenee (enrollador de hojas)



Cultivo: Cultivo Nueva Aricaa

Area: Area de Trabajo 1

Colaborador que realizo la Prueba:
Amalia Angelica Briones Urbina

Colaborador que realizo o va a realizar la actividad:
Claudio Guerrero Guadalupe

Cerrar

Interfaz – Información de actividad

Perfil

- Mis Cultivos
- Reportes
- Realizar Detección
- Generar Alerta Preventiva
- Pruebas
- Tratamientos Recomendados**
- Gestionar Colaboradores
- Gestionar Cargos

Colaborador:
Ingresar Titulo

Titulo:
Ingresar Titulo

Nombre del producto, insecto, etc. (Opcional):
Ingresar producto

Número de Aplicaciones (Opcional):
Numero de Aplicaciones

Intervalo de Dias entre cada Aplicacion (Opcional):
Intervalo de Dias

Tipo de Tratamiento:
Tratamiento de Erradicacion

Categoria:
Tratamiento Cultural

Plaga o Enfermedad:
Anomala sp., Bothynus Maimon (gusano de semilla)

Descripcion:
Ingresar Descripción

Historial de Peticiones

Plaga o Enfermedad	Estado	Boton
anoma sp., Bothynus Maimon (gusano de semilla)	Aprobado	Ver Detalles
Sindrome de la hoja amarilla	Desaprobado	Ver Detalles
Raquitismo de la Soca	Pendiente	Ver Detalles Aprobar Desaprobar
Polypus Lignosellus Zeller (barrenador menor de caña)	Aprobado	Ver Detalles

Interfaz – Gestionar tratamientos recomendados

The screenshot shows the 'Gestionar Cargos' (Manage Positions) interface. On the left is a navigation menu with options like 'Inicio', 'Perfil', 'Mis Cultivos', 'Reportes', 'Realizar Detección', 'Generar Alerta Preventiva', 'Pruebas', 'Tratamientos Recomendados', 'Gestionar Colaboradores', and 'Gestionar Cargos'. The main content area is titled 'Gestionar Cargos' and contains a form for adding a new position with a 'Denominación:' label and an 'Ingrese Título' input field, followed by a green 'Registrar' button. To the right, there is a table listing existing positions:

Numero	Denominación	Boton
1	Agricultor en Jefe	Default
2	Colaborador	Default

At the bottom of the page, there is a copyright notice: '2021 © Derechos de Autor - Guevara Briones Jean Edinson'.

Interfaz – Gestionar cargos

The screenshot shows the 'Perfil de Usuario' (User Profile) interface. The navigation menu is the same as in the previous screenshot. The main content area is titled 'Perfil de Usuario' and includes a 'Salir de Sesión' (Logout) button. On the left, there is a profile card with a user photo, the username 'EGuevara20213419422', and the name 'Jean Edinson Guevara Briones - Agricultor en Jefe'. Below the card is a section for 'Imagen de Perfil' with a file selection input and a 'Cargar Imagen' button. On the right, there is a form for updating user information with fields for 'Nombres' (Jean Edinson), 'Apellidos' (Guevara Briones), 'Sexo' (Masculino), 'Telefono' (123456784), 'Correo' (ayuda@gmail.com), 'Contraseña Actual', and 'Contraseña Nueva'. A green 'Actualizar' (Update) button is at the bottom right.

Interfaz – Perfil de usuario

AgroAyuda Jean Edinson Guevara Briones

- Inicio
- Perfil
- Mis Cultivos
- Reportes
- Realizar Detección
- Generar Alerta Preventiva
- Pruebas
- Tratamientos Recomendados
- Gestionar Colaboradores**
- Gestionar Cargos

Actualizar Usuario

Colaboradores

Usuario	Nombres y Apellidos	Calular	Correo	Cultivo	Botones
ABriones2021521878	Amalia Angelica Briones Urbina	456123781	prueba2@hotmail.com		Asignar a Cultivo Eliminar Colaborador


Nombres
Amalia Angelica

Apellidos
Briones Urbina

Sexo
Femenino

Telefono
456123781

Correo
prueba2@hotmail.com



Cultivos

N°	Nombre del Cultivo	Numero de Hectareas	Botones
1	Cultivo Usat	15	Retirar

[Actualizar Usuario](#)

2021 © Derechos de Autor - Guevara Briones Jean Edinson

Interfaz – Gestionar colaboradores