



A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente me permito informar que se ha recibido en conformidad el informe técnico del proyecto “**SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCIÓN Y DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTES EN CULTIVOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) PARA LA ZONA MONTAÑOSA CENTRAL DE VERACRUZ**” desarrollado en el periodo del 4 de abril del 2022 al 1 de diciembre del 2023, con la participación de Dr. Rodrigo Rodríguez Franco, M.C. Omar Alba Hernández, M.C. Manuel Ralero de la Mora, el cual cumple con:

Innovación: Se realizó un experimento con las recomendaciones realizadas por el sistema en 3 parcelas del municipio, comprobándose su eficacia el crecimiento de la planta, del tal y de la mazorca mediante un experimento de análisis de varianza y por análisis de las propiedades físico- químicas de la mazorca. Se desarrollo una plataforma web que hace uso de las tecnologías de la información (TIC’S) y un sistema de recomendación basado en reglas que transformará por completo esas decisiones, ya que en base de las propiedades del suelo se harán las recomendaciones con base a la formula del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Originalidad: Con el desarrollo de esta herramienta, en base a los análisis del suelo que se realizan y a las recomendaciones realizadas por el INIFAP, se podrá llevar la asesoría de las dosis de los fertilizantes a los productores de la zona en beneficio de maximizar sus cosechas y de coadyuvar al cuidado del medio ambiente de la zona con recomendaciones efectivas de fertilizantes.

Además, ha contribuido en la formación de:

Recursos humanos del TecNM

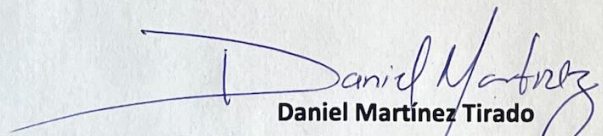
Nombre del alumno/a	Programa Académico	Número de control
JOSÉ ROLANDO GARCÍA ALBA	Maestría en Sistemas Computacionales	217001185
VICTOR MANUEL MENDOZA MARCIAL	Ingeniería Bioquímica	177003878

Recursos humanos del H. Ayuntamiento constitucional de Coacoatzintla

Nombre del alumno/a	Puesto
ELIUD LANDA RODRIGUEZ	Programa de Extensionistas

Coacoatzintla Ver. a 5 de diciembre de 2023

Atentamente


Daniel Martínez Tirado
Director de Fomento Agropecuario



AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL
COACOATZINTLA, VER.
2025
SECRETARÍA MUNICIPAL



Instituto Tecnológico Superior de Xalapa
Subdirección de Posgrado e Investigación

Reporte técnico del proyecto:

Sistema experto para la selección y dosificación de fertilizantes en cultivos de maíz (*Zea mays*) para la zona montañosa central de Veracruz

Xalapa-Enríquez Veracruz a 4 de diciembre de 2023.



Sección 5ª Reserva Territorial s/n col. Santa Bárbara, Xalapa-Enríquez, Ver., C.P. 91096 Tel. 165 0525 , e-mail: omar.ah@xalapa.tecnm.mx





Contenido

Introducción.....	3
Estado del arte	4
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	10
Justificación.....	10
Originalidad.....	11
Participación de Recursos Humanos	11
Resultados y Conclusiones.....	12
Variables óptimas y su importancia	14
Otras variables importantes	15
Interfaz del sistema.....	18
Referencias Bibliográficas.....	32





Introducción

En la actualidad, el territorio mexicano dispone de una extensa variedad de frutas y verduras, en las distintas regiones del país. Hasta la fecha México posee un total de 32.4 millones de hectáreas destinadas a la cosecha, conforme a la Encuesta Nacional Agropecuaria en 2017, y de este global Veracruz dispone 4,504,769 hectáreas (SIAP & SADER, 2019). En este sentido, la agricultura en México es contemplada como una de las actividades económicas de mayor relevancia, ya que, genera gran cantidad de empleos en el país; es considerada el sector productivo más trascendental desde un punto de vista económico y social (Hidroponia, 2015).

Tomando en cuenta la reciente pandemia global, México ocupa el décimo segundo lugar en la producción de alimentos a nivel mundial (Enciso, 2021). “Considerando el primer trimestre de 2021, el Producto Interno Bruto del Sector Agroalimentario, en términos reales, presentó una tasa de crecimiento anual de 1.0 por ciento” (SIAP, 2021). Dicho de otra manera, se produjeron 55.2 millones de toneladas de provisiones alimenticios.

Retomando lo antes mencionado, gracias a la variedad de climas en el territorio nacional, según la FAO, este país cultivó alrededor de 200 productos agrícolas. Entre los que destacan y siendo de consumo directo: frijol, trigo, sorgo, arroz, maíz, caña de azúcar y las oleaginosas (FAO, s.f.), en tanto, Veracruz es un importante productor de caña de azúcar, maíz, naranja, piña y limón.

En particular, la producción de maíz a nivel mundial es la de mayor proporción en comparación con otro cereal. Tan solo para el año 2021/2022 se estima una producción de 1,206.14 MMt (miles de millones de toneladas), es decir, 0.80 MMt más que el año pasado. En seguida se muestran los principales productores (Produccion Agricola Mundial, 2022):

- Estados Unidos: 383,943,000 t
- **China: 272,552,000 t**
- **Brasil: 114,000,000 t**
- **Unión Europea: 69,800,000 t**
- **Argentina: 53,000,000 t**
- **Ucrania: 41,900,000 t**
- **India: 32,500,000 t**
- **México: 27,600,000 t**
- **Sudáfrica: 16,300,000 t**
- **Rusia: 15,225,000 t**





Considerando la información anterior, México es el 8º mayor productor de este cereal. Asimismo, y desde 2016 a 2020 EU es el principal vendedor de maíz grano al territorio mexicano con un promedio de 2,736 MMt. Especialmente se compra entre agosto y septiembre, temporada en la cual se reduce su productividad (SIAP, 2021; USDA, 2020). En comparación, hasta el año 2017 México es el segundo mayor exportador de maíz blanco con 14.09 MMt. Cediendo el primer lugar a Japón con 15.34 millones de toneladas.

En el ámbito nacional, y desde el punto de vista de la SAGARPA (2017) “El maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural”. Tan solo esta nación posee 64 razas de maíces nativos. En general una persona consume 196.4 kg de Zea mays blanco, principalmente en tortillas.

En términos reales la producción del maíz se fracciona en blanco y amarillo. El primero constituye el 86.94 %, reservado para el consumo humano. El segundo acumula el sobrante, asignado al sector de la industria (SAGARPA, 2017). Asimismo, esta secretaría hace hincapié que la mayoría del territorio mexicano tiene las condiciones idóneas para el cultivo de dicho cereal.

Estado del arte

Para lograr el objetivo de desarrollar un sistema recomendador para la dosificación de fertilizantes en el cultivo del maíz selle a cabo una revisión sistemática con la finalidad de averiguar cómo modelan y validan la base de conocimiento, técnicas empleadas para su desarrollo y qué parámetros (condiciones del suelo, climáticas o entre otras) consideran para formular la sugerencia o recomendación, siendo de los rasgos principales a identificar.

En total se hallaron 26 documentos afines con el tema de investigación. Estos artículos son agrupados con base en su información, en primer lugar, se exponen trabajos relacionados con la dosificación de fertilizantes, posteriormente, escritos vinculados con SE basados en reglas y finalmente otros SE que recurren a alguna otra técnica de inteligencia artificial.

Wang (2021) desarrolló un sistema experto de nutrientes bajo el enfoque QUEFTS para el cultivo de la papa, el cual fue comparado con 4 métodos clásicos de recomendación de fertilizante. Aclarando que este proceso es relativamente superior a otras técnicas. El programa mostró una eficacia positiva con respecto al rendimiento de los cultivos, la rentabilidad económica, y la eficiencia en el uso del abono. El SE ha sido probado en China, Indonesia, Filipinas y entre otros países. En términos generales, suministrar la cantidad adecuada de sustancias químicas ricas en nutrimentos aumentó el contenido de almidón, proteína soluble, y vitamina C, reduciendo la aplicación del 29% de N, 39% P, 10% K.





Córdova et al (s.f.) diseñaron un SE dosificador de fertilizante para el plátano, apoyándose de la programación lineal. Para emitir dicha recomendación el SE contempla como parámetros el análisis del terreno, tipo de riego, tamaño de la parcela. El software sugiere diversos abonos y su costo total de inversión. Haciendo uso de diversas tecnologías para su programación: Python, Django y PostgreSQL.

En función de las características de la planta, calidad del suelo y del clima, Firmansyah et al, (2021) crearon un SE dinámico basado en reglas para recomendar el tipo, frecuencia y cantidad de abono para el cultivo de palma aceitera. Para adquirir la base de conocimiento acudieron a la literatura.

Al igual que Córdova et al (s.f.), Bandala et al (2020) consideraron las condiciones del suelo (nivel de nitrógeno, fósforo, potasio y la estación del año) para recomendar una cantidad adecuada de fertilizante, en este caso para el cultivo de arroz. Gracias a estos 4 parámetros el SE realiza diferentes combinaciones de fertilizante: completo, Urea, Solophos y Muriato. Lo anterior fue posible a la técnica de lógica difusa. En específico se implementaron 64 reglas.

En cambio, Arias et al (2018) realizaron un sistema para la recomendación de fertilizantes y enmiendas para el pasto (hierba para el ganado). Apoyándose de redes neuronales artificiales. Para emitir dicha sugerencia los autores trabajaron con un dataset de 44 registros. De las 44 observaciones el 80% se eligió para entrenar el modelo y el 20% para su validación. El programa informático fue capaz de recomendar cloruro de potasio, fosfato diamónico, sulfato de cobre y de zinc. Importante mencionar, los datos resultaron ser muy escasos en las pruebas realizadas.

El trabajo de Bandala et al (2020) y Dayalini et al (2021) tienen en común que desarrollaron un sistema para la dosificación de fertilizante para el cultivo del arroz. Salvo que este último añade otros módulos, detección de enfermedades y predicción de la idoneidad del terreno para 28 opciones de plantío, bajo cinco categorías principales. En general, para realizar las recomendaciones emplearon las condiciones del suelo, clima, año y periodo de siembra. Algunos de estos datos fueron proporcionados por instituciones gubernamentales o bien recuperadas mediante dispositivos IoT. A continuación, se presenta la técnica utilizada y su porcentaje de precisión:

- Predicción de precipitaciones (bosques aleatorios): 96%
- Predicción de estiaje (bosques aleatorios): 100%
- Predicción de enfermedades (red neuronal de convolución): 95%
- Predicción de idoneidad en selección de cultivos (bosques aleatorios): modo instantáneo y experto: 98.34% y 98.21% respectivamente
- Recomendación de abono (árbol de decisión): 99.68%.





Es notorio que los sensores son de gran ayuda para monitorear las condiciones del suelo, Dayalini et al (2021), Dabre et al (2018), Irawan et al (2017) y Ambildhuke & Banik (2022) recurren a esta tecnología para obtener información del terreno. Siendo uno de los métodos más usados para integrar la base de conocimiento.

En concreto Dabre et al (2018) propusieron una arquitectura de sensores para monitorear en tiempo real las condiciones del suelo (nivel de pH y de NPK) en el cultivo de la papa. El software se compone de dos módulos: preprocesamiento y predicción. En función de la información recolectada realiza un análisis y posteriormente una recomendación de fertilizante y/o plaguicida en caso de deficiencia de nutrientes o bien al detectar una plaga. La recomendación de fertilizante es posible al emplear la lógica difusa.

De forma similar, Ambildhuke & Banik (2022) emplearon un sensor NPK para monitorear las condiciones del suelo. Una vez recolectados los datos se comparan con valores anteriores, en caso de encontrar una deficiencia de cualquier nutriente, el sistema envía un SMS al agricultor con la cantidad correcta de fertilizante y el tipo a proveer, en el momento y lugar adecuado. Así evita aplicar la sustancia en toda la superficie. Los autores sugieren emplear abonos orgánicos o biofertilizantes en combinación de sustancias químicas, en lugar de ingredientes sintéticos como única opción. Con el afán de reducir el impacto ambiental.

A diferencia de los otros trabajos, Irawan et al (2017) realizaron un sistema de automatización de control de nutrientes, pero en cultivos hidropónicos. Explotando tres tipos de sensores para monitorear el pH, conductividad eléctrica, temperatura, etc.

Considerando que existen diversas técnicas de IA, en el trabajo de Bimantio et al (2021) plantean un SE para detectar carencias de nutrimentos en el cultivo de la palma aceitera. Específicamente analizaron las hojas, las cuales fueron preprocesadas aplicando el método de detección de bordes, definiendo escalas de deficiencia gracias a un análisis RGB.

Los trabajos antes mencionados tienen como objetivo sugerir la mejor cantidad de fertilizante considerando las condiciones del suelo, clima, tipo de cultivo, tamaño de parcela, etc. Dosificar una porción equilibrada de abono puede acrecentar la productividad de los cultivos, reduciendo su costo de adquisición y el impacto ambiental.

Enseguida se exponen otros trabajos relacionados, los cuales emplean reglas para solventar dicha problemática, apoyándose del encadenamiento hacia adelante.





Delgado et al (2017) diseñaron un SE basado en reglas apoyándose del encadenamiento hacia adelante como método de inferencia para el control y seguimiento del cultivo de maíz. Abarcando fases que van desde la preparación del suelo, siembra, crecimiento, floración e incluso detección de plagas y malezas.

De forma semejante, Ameilia et al (2018) desarrollaron un SE basado en reglas siguiendo el mismo encadenamiento, adicionalmente, sumaron el factor de certeza. Al comparar los resultados del SE con los de un experto humano este presentó una similitud del 100%. La BC fue adquirida mediante la literatura y validada por expertos. Los autores recalcan que tomar las mejores decisiones a lo largo del ciclo de cultivo, permite incrementar el rendimiento de las plantas (orquídea negra).

En tanto, Angeles et al (2017) desarrollaron un SE para detectar, diagnosticar y prescribir opciones de control de enfermedades en el cultivo de arroz, proporcionando los resultados vía app móvil. La BC es adquirida al entrevistar expertos el área.

Hutapea et al (2019) formularon un SE para detectar enfermedades en la palma aceitera, tomando en cuenta las características de esta. El SE fue simulado 4 veces, al comparar las salidas contra las sugerencias de un experto humano, manifestó una eficiencia del 100%. La BC es construida gracias a información proporcionada por especialistas, revisando la literatura e investigaciones de campo. PHP fungió como lenguaje de programación.

Continuando con la temática de diagnósticos de enfermedades, Agustina et al (2017) proponen un SE basado en reglas para detectar malestares en el Zea mays. Para manejar la incertidumbre del software emplearon el factor de certeza, asignando un peso a cada síntoma. El SE ostentó una precisión del 73.81%. PHP y MySQL fueron de las tecnologías usadas para su construcción.

En la misma sintonía, Avelino et al (2019) programaron un SE para identificar la presencia de roya en plantas de café colombiano, catalogando su existencia como baja, media o alta. Mientras tanto, para conformar la BC crearon 96 reglas, señalando que se deben agregar más, a fin de impulsar la eficacia del mismo. La efectividad del SE fue del 66.7% al comparar las sugerencias de este contra las de un experto. Gracias a Python y a la librería PyKnow fue posible su desarrollo.

Algo semejante ocurre, pero en la planta de mango, Pramokchon & Trongtorkid (2018) proponen un SE para clasificar y detectar enfermedades. La BC es proporcionada por la literatura y expertos. El sistema mostró una precisión del 89% al ser probado con 129 hojas infectadas. Árbol de decisión fungió como técnica de IA para solventar la problemática y Weka 3 como herramienta de trabajo.





Considerando los estudios anteriores, los SE basados en reglas muestran una buena precisión, siempre y cuando la información sea robusta. Arifin et al (2017) conformaron una BC gracias a expertos en la planta de bambú, desarrollando una aplicación móvil programada en Java.

Con la finalidad de identificar la diversidad de especies de esta planta, ya que, entre sí, suelen ser muy similares y un software es de gran ayuda. Al comparar los resultados del SE contra los de un versado en el tema, el sistema reveló una precisión del 100%. Aclarando que el usuario no debe contestar todas las preguntas para obtener una sugerencia confiable.

Finalmente, el mercado siempre requerirá de productos de calidad y ante esta preocupación, Morajkar & Patkar (2021) proponen un sistema para clasificar la palma aceitera. Siguiendo un enfoque difuso. En particular desarrollaron y probaron una técnica, la cual acorta las variables de entrada con la intención de otorgar el mejor conjunto, lo anterior reduce el número de reglas empleadas. Después de comparar las salidas del SE con las de un humano, el programa exhibió una gran similitud.

Esta tercera sección, ilustra trabajos encaminados a mejorar la toma de decisiones en el ciclo de cultivo, salvo que estos emplean otras técnicas de IA, como teorema de bayes, redes neuronales auto normalizadas o bien agentes conversacionales.

Gupta & Ratre (2020) adquirieron un dataset de 1506 registros. Con el propósito de abastecer una red neuronal de retropropagación con el objetivo de predecir la venta de fertilizante por adelantado, con una tasa de error menor al 10%. Buscando aportar nuevas tendencias al sector agrícola. Casi en el mismo sentido, Shu (2020) diseñó y probó una red neuronal auto normalizada para predecir el rendimiento de la soja, ya que hoy en día se requiere saber con certeza si la cosecha va a contrarrestar la demanda, siendo una arquitectura de aprendizaje profundo y emergente en el área de IA. Esta técnica fue comparada con algoritmos tradicionales del sector, obteniendo mejores resultados. En específico requirió de 8.47 min. para emitir la recomendación, al emplear un gran volumen de datos. El autor empleó Python como lenguaje de programación.

El trabajo de Balasahe et al (2018) propone un SE para mejorar la producción del algodón y la soja. Dicho sistema incluye un calendario climático dinámico para guiar los cultivos mencionados. Al probar el SE mostró una precisión del 97%. La BC es proporcionada por el Departamento de Meteorología de la India. La plataforma emite su recomendación vía app web, Java y PostgreSQL son las tecnologías empleadas para su construcción.





En el cultivo de maíz, Akbar & Ikorasaki (2018) desarrollaron un sistema experto para detectar enfermedades en dicho cereal. Emplearon el teorema de Bayes para verificar la exactitud del SE. Según los autores el software manifestó una precisión del 90%, pero en ningún momento mencionan cómo adquirieron o validaron la BC. Algo semejante ocurre en el estudio de Cassandra & Sari (2018) ya que emplean la misma técnica para detectar infecciones en la planta de arroz. La BC es proporcionada por la literatura y expertos. Identificando 25 síntomas y 19 padecimientos.

Tomando en cuenta que las condiciones del suelo varían en cada región, Kartiko et al (2021) proponen un SE para determinar la idoneidad de terreno en cultivos frutales, recurriendo a la técnica de razonamiento basado en casos. PHP y MySQL fueron las tecnologías empleadas para su desarrollo. Al realizar 2 pruebas con el SE, la primera experimentación reveló una precisión del 100% probando la similitud con la base de casos. La segunda empleó 30 y obtuvo una exactitud del 80%.

Por último, Abdullah et al (2018) realizaron un chat conversacional con ayuda de Python y Flask. Al usar la aplicación móvil los agricultores ingresan sus preguntas mediante audio y/o texto. Donde estas son respondidas para dar consejos sobre el cultivo de la papa en particular considera la cantidad de riego, fertilizante o plaguicida a suministrar y tipo de semillas a plantar.

Para finalizar con esta revisión de la literatura, se han identificado diversos estudios aplicados en diferentes tipos de cultivos, sin duda, restan muchos por abarcar. Dado que gran parte de los autores se centra en cultivos específicos. En este sentido, los investigadores emplean múltiples técnicas, entre las que destacan: sistemas basados en reglas, algoritmos de aprendizaje automático; arboles de decisión o redes neuronales.

Sin lugar a duda, recurrir a programas informáticos para mejorar la toma de decisiones es lo más apropiado en este sector, ya que, la información suele ser muy volátil de una región a otra. Por consiguiente, un software puede ser de gran ayuda en una zona, pero en otro no.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema experto para la recomendación de un esquema de fertilización en cultivos de maíz (Zea Mays), mejorando la eficiencia productiva y reduciendo la cantidad de insumos aplicados, buscando optimizar el impacto ambiental.





Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte para evaluar los diferentes métodos relacionados con la dosificación de fertilizantes existentes en el mercado y determinar las características deseables para la solución a desarrollar.
- Definir la técnica de inteligencia artificial más conveniente para desarrollar el sistema experto con base en las variables y nutrientes definidos.
- Diseñar el modelo de representación y almacenamiento del conocimiento de acuerdo a la técnica seleccionada para el desarrollo del sistema experto.
- Implementar los mecanismos de recuperación que permitan realizar la búsqueda, emparejamiento y selección de fertilizantes.
- Evaluar el sistema experto con un especialista en el área.

Justificación

En la actualidad, la agricultura es el suministro de alimentos de todos los países, desde el más desarrollado hasta el menos. Por ende, si la población aumenta considerablemente en los próximos años, la demanda de alimentos será mucho mayor (Baula, 2020).

Según la FAO para el año 2050 la producción agrícola debe incrementar en un 60%, dado que, debido al aumento de la población. En consecuencia, para alcanzar dichas estimaciones únicamente será posible con los nuevos desarrollos tecnológicos. Reforzando y de acuerdo con SIAP (2021) la tecnología aplicada a la agricultura tiene un efecto directo sobre su nivel y comportamiento productivo. De manera que, si analizamos los volúmenes, por ejemplo, del maíz en 1980 se cosecharon 6,766 hectáreas, de las que se obtuvieron 12,374 millones de toneladas. En comparativa para el 2019, se cosecharon 6,690 hectáreas para un total de 27,228 millones de toneladas. Incrementando su rendimiento en un 3.82 %. Este progreso se da en gran medida a la aplicación de diferentes alternativas tecnológicas al proceso productivo.

Sumando que el cambio climático será cada vez más notorio, en áreas geográficas y condiciones ambientales, factores que afectan directamente con el bienestar agrícola (Bayer 2021). Por estas razones, emplear fertilizantes como respaldo y fuente de nutrientes para el suelo será cada vez más necesario considerando lo antes expuesto, complementando que dichos productos mejoran un 20% la rentabilidad y producción de los agricultores.

En México la mayoría de los agricultores no están familiarizados con las nuevas oportunidades que ofrece el sector de las tecnologías de la información (Corona, 2016). En este sentido, el país cuenta con un desarrollo injusto y desigual, los más afectados son los pequeños productores, al realizar esta práctica en condiciones precarias (Paredes, 2021).





Por estas razones, desarrollar un SE que permita seleccionar el y la cantidad apropiada de fertilizante para el cultivo de maíz permitirá tener una producción agrícola más eficiente. Resaltando que el SE a programar pretende ayudar a pequeños y medianos agricultores, siendo los más perjudicados al no sacar provecho de las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías.

Entonces, resulta más factible recurrir a un SE que a contratar los servicios de un especialista en el área, significando para el agricultor numerosos beneficios: disponibilidad del SE (emplearlo en cualquier momento y lugar), misma respuesta y más rápida por parte del SE, tasa de error baja, menos dinero invertido.

También se busca que los intermediarios y beneficiados en dicha investigación sean asociaciones ganaderas y agrícolas quienes tendrán las capacidades para hacer llegar este tipo de tecnología a los agricultores.

Igualmente, este sistema experto pretende seleccionar fertilizantes que sean amigables con el medio ambiente ya que existen ciertos productos que emiten menos gases de efecto invernadero.

En términos generales, el presente trabajo aportará soluciones a los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del CONACYT en particular a la problemática de “Soberanía Alimentaria” en concreto contribuir con el bienestar agroalimentario de la población mexicana, considerando lo siguiente:

- Incrementar la eficiencia y productividad alimenticia
- Minimizar el rezago que presentan pequeños y medianos agricultores del territorio mexicano en comparación con las grandes industrias.

Originalidad

La originalidad del proyecto consiste en el hecho de que los productores del municipio de Coacoatzintla a través de un estudio de suelo y en base a las fórmulas de esquemas de fertilización del INIFAP puede calcular y analizar los mejores esquemas, reduciendo la cantidad de fertilizantes y maximizando sus cosechas en base a las recomendaciones del sistema experto.

Participación de Recursos Humanos

En el presente proyecto intervinieron los siguientes recursos humanos, indicando su participación en el mismo.

Nombre	Trabajo realizado
JOSE ROLANDO GARCÍA ALBA	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Consulta con expertos de la SEDARPA y la asociación de ingenieros agrónomos de Veracruz. • Levantamiento de requerimientos • Desarrollo de la plataforma.
M.C. Omar Alba Hernández	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de requerimientos





	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios del suelo para alimentar el sistema • Pruebas de la aplicación.
Dr. Rodrigo Rodríguez Franco	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Diseño de la base de conocimiento • Diseño de experimentos • Diseño del motor de inferencia
M.C. Manuel Ralero de la Mora	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica del estado del arte • Validación de requerimientos • Análisis de funcionabilidad y usabilidad de la herramienta.

Resultados y Conclusiones

La base de conocimiento es la parte esencial de un SE, ya que almacena información sobre un tema en particular. Esta puede almacenarse en una base de datos o un archivo, principalmente.

En tanto, la representación del conocimiento; plasma información del mundo real que permite a un algoritmo informático resolver problemas de forma automática (Sayantini, 2018). Por ejemplo, si una persona tiene demasiada información de un área se le facilitará resolver determinados inconvenientes, en este sentido, mientras un programa informático tenga a su disposición más datos, mejores recomendaciones podrá realizar.

De acuerdo con autores citados por Patel y Jain (2017), la BC está integrada por conocimiento:

- Declarativo: abarca conceptos, hechos, objetos y se expresa en una frase.
- Procedimental: describe el proceso para alcanzar el objetivo, se plasma en reglas, estrategias, procedimientos u otros.

Por su parte Sayantini (2018) contempla otros tres: estructural, metaconocimiento y el heurístico.

Como se mencionó en secciones pasadas, el SE a programar será uno basado en reglas, así que, contempla un tipo de conocimiento declarativo. Mientras tanto, para su representación, este software recae en la categoría de reglas de producción, además de que existe el basado en la red, estructura y lógico.

Las reglas de producción siguen una estructura IF-THEN, siendo uno de los enfoques más populares, dado que, cada regla plasma un conocimiento independiente, son modulares y pequeñas. Asimismo, facilita la actualización o borrado de una de ellas sin afectar a las demás.





Contemplando que el conocimiento de este sistema será reflejado en reglas de producción, en seguida se mencionan las variables que serán tomadas en cuenta, después de tener entrevistas con especialistas en el tema, productores de la región de Coacoatzintla y luego de consultar la literatura.

En primera instancia, en la reunión del 23 de mayo del 2022 en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa. La Dra. Rosa María González Amaro integrante del Instituto de Ecología A.C., y gracias a su experiencia adquirida en diversos estudios y publicaciones con relación al cultivo de maíz. Donde actualmente se encuentra trabajando con productores de la región del municipio de Coacoatzintla con el mismo cultivo. Permitió definir la importancia de ciertas variables en el crecimiento de maíz, como los son: pH, nitrógeno, fosforo y potasio.



Ilustración 1 Reunión instalaciones ITSX con la Dra. Rosa

Al consultar el libro de ¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz? Escrito por Zaragoza et al (2019), se comprobó la relevancia de algunos nutrientes en el desarrollo del maíz. Entre las que destacan: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

Al contrastar la información obtenida por los diferentes medios, la Dra. Rosa, Zaragoza et al (2019), Córdova et al (s.f.), Dabre et al (2018), Ambildhuke & Banik e Irawan et al (2017), toman en cuenta los nutrientes primarios: NPK, así como, el pH y la conductividad eléctrica. Este último fue sugerido por el Ing. Eliud, integrante del departamento de Fomento Agropecuario del municipio anteriormente citado.



VARIABLES ÓPTIMAS Y SU IMPORTANCIA

En esta sección se describen las variables más importantes que se deben considerar para llevar a cabo una recomendación de fertilizantes (NPK).

pH: es un valor que va de 0 a 14, indica la disponibilidad de los nutrientes en el suelo. Si esta variable se encuentra en un rango medio, la mayoría de los nutrientes se encuentran presentes. Un nivel bajo determina limitaciones de NPK, calcio y magnesio. La solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre disminuye en números altos (Barbaro et al, s.f.). Cuando se presentan problemas la cal permite aumentar este factor y el yeso minimiza su toxicidad. Especialmente en el cultivo de maíz, el pH preferido es entre 6 y 7.2 (Yara, 2017). Un debido análisis de suelo proporciona esta información.

Conductividad eléctrica: permite monitorear la cantidad de sales disponibles en la solución. Básicamente es la capacidad en que un elemento puede conducir la corriente eléctrica. A mayor concentración de CE mayor presencia de sales. Se recomienda que la disposición de este sea menor a 1dS m^{-1} , por consiguiente, facilita el manejo de esquemas de fertilización (Barbaro et al, s.f.).

Nitrógeno (N): el maíz requiere de N para producir clorofila, aminoácidos y proteínas. Por lo general se recomienda una aplicación de N en 2 o 3 fracciones desde la siembra hasta el espigado. A partir de V6 la hortaliza absorbe más porcentaje de N y en comparación con los demás nutrientes este se requiere en superior proporción. Su déficit reduce el crecimiento de la planta y mazorca. (INTA, 2015; Zaragoza & Fertilab, 2019).

Fósforo (P): se requiere en menor cantidad de N y hasta V6 la absorción es mínima. Impacta en el crecimiento de la mazorca-grano, mejora la calidad del cultivo, aumenta la resistencia del tallo, crecimiento de las raíces y eleva la productividad. Su deficiencia limita el desarrollo del elote y del grano, retrasa la madurez del cultivo, en etapas tardías, las hojas tienden a tornarse de un color morado (YARA, 2022; Zaragoza & Fertilab, 2019).

Potasio (K): se considera un nutriente inmóvil en el suelo, pero muy móvil en la planta. Por lo general suele estar presente en aguas superficiales o en minerales del suelo. Su presencia incrementa el sistema de defensas, se traduce en un follaje sano, mejora el crecimiento de las raíces, aumento en la producción de proteínas y mejora la resistencia a insectos. Una deficiencia severa puede identificarse en tallos delgados, hojas color verde pálido y demora en el progreso del cereal. (YARA, 2022; Zaragoza & Fertilab, 2019).

Gracias a estas variables se puede realizar una recomendación básica de fertilizante. Indudablemente se debe efectuar un análisis de suelo para conocer el valor de cada uno. En la siguiente sección se aborda la NOM-021-RECNAT-2000 la cual especifica la metodología que deben seguir los diferentes laboratorios que realizan este tipo de estudios.





Otras variables importantes

Considerando las variables descritas en la sección anterior, es preciso mencionar que existe una norma mexicana (NOM-021-RECNAT-2000) la cual establece las especificaciones de salinidad, clasificación de suelos, fertilidad, estudios y muestreos. Publicada por el Diario Oficial de la Nación en octubre del año 2000.

Clasificación de los suelos

En seguida se muestran los rangos propuestos por la NOM-021-RECNAT-2000, los cuales serán de gran ayuda para conformar las reglas de producción.

Clasificación del pH:

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Tabla 1 clasificación del pH según NOM-021-RECNAT-2000. Por SEMARNAT, 2000.

Interpretación de resultados de nitrógeno:

Clase	Nitrógeno total
Muy bajo	< 0.05
Bajo	0.05 – 0.10
Medio	0.10 – 0.15
Alto	0.15 – 0.25
Muy alto	> 0.25

Tabla 2 interpretación de resultados de nitrógeno según NOM-021-RECNAT-2000

Interpretación de resultados fósforo:

Clase	mg Kg ⁻¹ de P
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 – 11





Alto	> 11
------	------

Tabla 3 interpretación de resultados de fósforo según NOM-021-REC NAT-2000. Por SEMARNAT, 2000.

Interpretación de resultado potasio:

Clase	K (cmol kg ⁻¹)
Muy baja	< 0.2
Baja	0.2 – 0.3
Media	0.3 – 0.6
Alta	> 0.6

Tabla 4 interpretación de resultados de potasio según NOM-021-REC NAT-2000. Por SEMARNAT, 2000.

La NOM-021-REC NAT-2000 ofrece la metodología perfecta para sugerir diagnósticos precisos. Laboratorios que siguen y recomiendan análisis de suelo bajo esta norma permiten formular mejores esquemas de fertilización.

Reglas para la base de conocimiento

Después de conocer los fertilizantes, su concentración y las variables (NPK, pH, CE). Se elaboró un cuestionario con la finalidad de analizar las 60 reglas para la recomendación del fertilizante. Con la ayuda de un cuestionario y al crear 60 casos hipotéticos. La tarea del especialista agrónomo consistió en evaluar la veracidad de estos o en su caso agregar una recomendación diferente. En seguida se muestran las reglas que emplea el SE después de comparar las respuestas de los formularios.

Reglas para sugerir el tipo de fertilizante				
ID	N	P	K	Recomendación
R1	Muy bajo	Bajo	Muy baja	Urea y Nutri wunder
R2	Muy bajo	Bajo	Baja	Urea y Nutri wunder
R3	Muy bajo	Bajo	Media	Urea y Triple 17
R4	Muy bajo	Bajo	Alta	Urea y DAP
R5*	Muy bajo	Medio	Muy baja	Urea y DAP
R6	Muy bajo	Medio	Baja	Urea y Nutri wunder
R7	Muy bajo	Medio	Media	Urea y Triple 17
R8	Muy bajo	Medio	Alta	Urea y DAP
R9	Muy bajo	Alto	Muy baja	Urea y Nitrato de potasio





R10	Muy bajo	Alto	Baja	Urea y Nitrato de potasio
R11	Muy bajo	Alto	Media	Urea y Triple 17
R12	Muy bajo	Alto	Alta	Urea y Triple 17
R13	Bajo	Bajo	Muy baja	Urea y Nutri wunder
R14	Bajo	Bajo	Baja	Urea y Nutri wunder
R15	Bajo	Bajo	Media	Urea y DAP
R16	Bajo	Bajo	Alta	Urea y DAP
R17	Bajo	Medio	Muy baja	Urea y Nutri wunder
R18	Bajo	Medio	Baja	Urea y Nutri wunder
R19	Bajo	Medio	Media	Urea y Triple 17
R20	Bajo	Medio	Alta	Urea y DAP
R21*	Bajo	Alto	Muy baja	Urea y Nitrato de potasio
R22*	Bajo	Alto	Baja	Urea y Nitrato de potasio
R23	Bajo	Alto	Media	Urea y Triple 17
R24	Bajo	Alto	Alta	Urea
R25	Medio	Bajo	Muy baja	Urea y Nutri wunder
R26	Medio	Bajo	Baja	Urea y Nutri wunder
R27	Medio	Bajo	Media	Urea y Triple 17
R28	Medio	Bajo	Alta	Urea y DAP
R29	Medio	Medio	Muy baja	Urea y Nitrato de potasio
R30	Medio	Medio	Baja	Urea y Nitrato de potasio
R31	Medio	Medio	Media	Urea y Triple 17
R32	Medio	Medio	Alta	Urea y DAP
R33	Medio	Alto	Muy baja	Urea y Nutri wunder
R34	Medio	Alto	Baja	Urea y Nutri wunder
R35	Medio	Alto	Media	Urea y Triple 17
R36	Medio	Alto	Alta	Urea
R37	Alto	Bajo	Muy baja	Urea y Nutri wunder
R38	Alto	Bajo	Baja	Urea y Nutri wunder
R39	Alto	Bajo	Media	Urea y Triple 16
R40	Alto	Bajo	Alta	Urea y DAP





R41	Alto	Medio	Muy baja	Triple 16 y DAP
R42*	Alto	Medio	Baja	Triple 16 y Nutri wunder
R43	Alto	Medio	Media	Triple 16 y DAP
R44	Alto	Medio	Alta	DAP
R45	Alto	Alto	Muy baja	Nitrato de potasio y DAP
R46	Alto	Alto	Baja	Nitrato de potasio y DAP
R47*	Alto	Alto	Media	Nutri wunder y DAP
R48*	Alto	Alto	Alta	Nutri wunder y Triple 16
R49	Alto	Bajo	Muy baja	Nutri wunder y Triple 16
R50	Alto	Bajo	Baja	Nutri wunder y Triple 16
R51	Alto	Bajo	Media	Triple 17 y Nutri wunder
R52	Alto	Bajo	Alta	Triple 17 y Nutri wunder
R53	Alto	Medio	Muy baja	Nutri wunder y Nitrato de potasio
R54	Alto	Medio	Baja	Nutri wunder y DAP
R55	Alto	Medio	Media	Triple 16
R56	Alto	Medio	Alta	Triple 16
R57	Alto	Alto	Muy baja	Triple 16 y Nitrato de potasio
R58	Alto	Alto	Baja	Triple 16 y Nitrato de potasio
R59	Alto	Alto	Media	Triple 16
R60	Alto	Alto	Alta	Triple 16

Tabla 5 Reglas recomendación fertilizante

Interfaz del sistema

Una vez maquetado el diagrama relacional de la base de datos, formulado las reglas para la sugerencia del fertilizante, y al emplear las tecnologías de desarrollo entes citadas, en seguida se muestran las interfaces graficas del SE.

Al ingresar a la página de inicio del sistema muestra una interfaz como la de la Ilustración 11.





Recomendador

Te sugerimos la cantidad apropiada de fertilizante en función del tipo suelo

¡Exclusivo para cultivo de maíz!



Obtener recomendación

Ingresar pH, NPK y CIC

Ilustración 2 Home SE

Al dar clic en la opción de “Obtener recomendación” el sistema redirige al usuario a la Ilustración 12, en caso de estar registrado únicamente ingresa sus credenciales e inicia sesión. Por otro lado, sino tiene una cuenta da clic en “Regístrate” y el software muestra la pantalla como la de la Ilustración 13.

Recomendador

Iniciar sesión en recomendador

Usuario *

Contraseña *

Iniciar sesión

¿No tienes una cuenta? Regístrate

Ilustración 3 Iniciar sesión SE





Ilustración 4 Registrarse SE

Ya en la sección de recomendación, el usuario ingresa los datos pertinentes. El SE clasifica el tipo de suelo en función de los datos ingresados y sugiere la cantidad de fertilizante apropiada (Ilustración 14 y 15).

Ilustración 5 Recomendación



Clasificación del suelo en función de la NOM-021-RECNAT-2000

Elemento	Nivel	Interpretación
pH	5	Fuertemente ácido
Nitrógeno	0.03	Muy bajo
Potasio	0.2	Bajo
Fósforo	2	Bajo
Conductividad eléctrica	5	Suelo salino

En función de los valores analizados fertiApp recomienda aplicar: **Urea y Nutri Wunder.**

De acuerdo con el rendimiento esperado se debe aplicar:
367.0 kg de Urea , 204.0 kg de Fósforo , 365.0 kg de Potasio

Guardar Cancelar

Ilustración 6 Clasificación del suelo, recomendación de cantidad y tipo de fertilizante

Tomando en cuenta los datos ingresados y en función de la recomendación del SE. Urea y Nutri wunder serán los fertilizantes a suministrar en las cantidades apreciadas en la Ilustración 15.

Experimento en la zona Chapultepec

Ubicación

Por último, Chapultepec localizado a 1565 m de altura, a 2.9 km en dirección sur de dicho municipio. En la parcela se probaron dos tratamientos de fertilización (fertilización tradicional y recomendación del SE) y un testigo.

La superficie es completamente plana (Ilustración 33), abarcando una extensión de una hectárea, empleando un total de 5,250 m² para el área experimental.





Ilustración 7 Parcela en el predio de Chapultepec

Siembra

El proceso de siembra se ejecutó el 17 de febrero de 2023 con ayuda de un azadón. Al igual que Los Planes se fijó una semilla de maíz elotero A-7573 por hoyo. Considerando un periodo de 3 meses para el desarrollo de la planta, lapso en que se realizaron diferentes mediciones de dicho cultivo.

La Ilustración 32 muestra el área solicitada y rodeada por bambús para la fácil identificación de cada tratamiento. Por zona se sembraron 100 plantas de maíz, seleccionándose 10 para su posterior análisis estadístico.





Ilustración 8 Zona de experimentación: Chapultepec

Análisis físico y fisicoquímico del suelo

Al igual que en los otros dos predios y previo a la siembra se tomaron muestras del suelo de distintas zonas, a una profundidad de 30 cm como lo establece la NOM-021-RECNAT-2000. Subsiguientemente fueron enviadas a GisenaLabs para su debido análisis.

Según los resultados proporcionados por GisenaLabs, la parcela muestra graves deficiencias en fósforo y potasio, así como un nivel medio en nitratos. Requiriendo atención inmediata para equilibrar los tres nutrientes, siendo de suma importancia en el cultivo de maíz. Este predio se encuentra muy descompensado en comparación a los predios restantes. Mientras el PH y el CIC se encuentran en rangos: Moderadamente ácido y Bajo respectivamente. Los resultados se aprecian en la Tabla 33.





Propiedades químicas	pH	Nitratos (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	CIC (cmol/kg)
Valor	5.82	24.1	1.42	0.19	0.15
Clasificación (NOM-021-RECNAT-200)	Moderadamente ácido	Medio	Bajo	Muy bajo	Salinidad despreciable

Tabla 6 Propiedades químicas del suelo: Chapultepec

Manejo agronómico del suelo

En similitud a Los Planes en esta área experimental no se colocó ningún dispensador de feromonas de confusión sexual.

En tanto, la limpia del terreno corrió a cargo de los agricultores, removiendo la maleza manualmente y con ayuda del azadón, aproximadamente cada 15 o 20 días.

Tratamientos y fertilización

En función del estudio de suelo proporcionado, se encontró con un terreno en alta disponibilidad de nutrientes. Al momento de ingresar los valores al SE, sugirió una aplicación de Urea y Nutri Wunder (Ilustración 33).

Clasificación del suelo en función de la NOM-021-RECNAT-2000

Elemento	Nivel	Interpretación
pH	5.8	Moderadamente ácido
Nitrógeno	24.1	Medio
Potasio	0.19	Muy bajo
Fósforo	1.42	Bajo
Conductividad eléctrica	0.15	Efectos despreciables de la salinidad

En función de los valores analizados fertiApp recomienda aplicar: **Urea y Nutri Wunder.**

De acuerdo con el rendimiento esperado se debe aplicar:
82 kg de Nitrogeno, 74 kg de Fosforo y 86 kg de Potasio

Guardar

Cancelar

Ilustración 9 Esquema de fertilización





El abonado químico se dividió en dos etapas, el primero tuvo lugar el día 9 de febrero de 2023, el segundo el 21 de abril de 2023, aplicando la fórmula que se muestra en la Tabla

La aplicación de los esquemas de fertilización se dividió en dos, el primer abonado se dio el día 9 de febrero de 2023 y el segundo el 21 de abril de 2023, aplicando las siguientes cantidades de químico.

Tratamiento	Aplicación	Cantidad
A	N/A	
B		
C	Urea y Nutri Wunder	82 kg N; 74 kg P; 86 kg K.

Tabla 7 Esquemas fertilización Chapultepec: Tratamientos A, B y C.

Nota: A= Testigo, B= Tratamiento tradicional y C= Sugerencia sistema experto.

Análisis estadístico

Altura de la planta

El análisis de varianza en la altura de la planta indicó en el día 14 que existe diferencia significativa entre los tratamientos, el B logró la altura de mayor promedio con 12.78 cm, seguida del A y B. Mientras en la segunda medición (48 ddg) no existió diferencia notoria con p-valor = 0.156. Esta tendencia se mantiene hasta el día 60, igualmente no se alcanzó una disparidad importante (p-valor = 0.279). Con una altura promedio entre los 116.5 y 123.4 cm. Hasta la última medición registrada es cuando se establece una diferencia significativa, obteniendo una altura de 218.1 cm en el tratamiento C, 40.5 y 51.3 cm más que el tratamiento A y B.

En este sentido la aplicación efectuada por el agricultor cada 8 días desde la germinación y hasta unas semanas antes de la cosecha no son de gran ayuda, dado que, en la altura de la planta, este químico no se ve reflejado e incluso es menor al del tratamiento C, el cual únicamente recibió dos etapas de fertilización. El excedente únicamente está degradando las condiciones fisicoquímicas del terreno.

Tratamientos	14 ddg	48 ddg	60 ddg	88 ddg
A	10.04	83.8	123.4	177.6
B	12.78	79.2	122.5	166.8
C	8.44	75.2	116.5	218.1
C.V. %	25.59	9.97	8.59	13.44
ANOVA	***	o	o	***





p-valor	0.0002	0.156	0.279	0.0001
---------	--------	-------	-------	--------

Tabla 8 Resumen estadístico durante 88 ddg: altura de la planta predio Chapultepec.

La Ilustración 34 muestra como del día 14 hasta el 60 el crecimiento entre los tres tratamientos es muy similar y a partir del día 68 el tratamiento C se empieza a despegar del resto. El tratamiento A y B son muy semejantes hasta la última medición registrada.

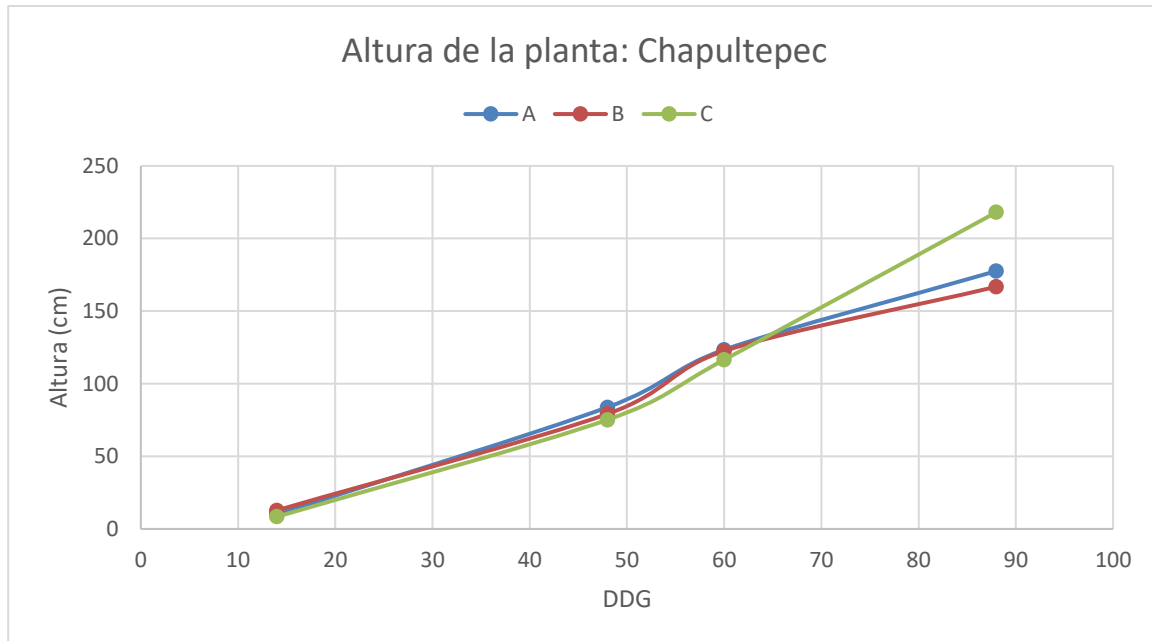


Ilustración 10 Altura de la planta durante 88 ddg predio Chapultepec.

Diámetro del tallo

A diferencia del análisis anterior, en el resumen estadístico del diámetro del tallo, prácticamente no existe diferencia significativa entre ninguna medición registrada. El valor de los mismos es muy similar entre sí. Aun cuando el productor aplicó exceso de fertilizante no se ve reflejado en los números (Tratamiento B).

Los datos del tratamiento C son muy similares al B, por lo que, el esquema sugerido por el SE es un gran ejemplo, con lo cual, tomar en cuenta las necesidades de la parcela y abonando lo requerido se logran buenos resultados.

Por las condiciones del terreno sin lugar a duda, se presentan ligeras elevaciones o hundimientos, dando paso a mayores acumulaciones de nutrientes en ciertas zonas. Lo anterior se ve reflejado en la zona del tratamiento A, sin aplicar





fertilizante se alcanzaron buenos números en el diámetro del tallo, datos similares a los del tratamiento C en la última medición del día 88.

Tratamientos	14 ddg	48 ddg	60 ddg	88 ddg
A	3.4	16.5	28.6	33.7
B	3.6	17	31	31.9
C	3.2	16.4	30.4	33.8
C.V. %	18.28	6.6	11.74	12.63
ANOVA	ϑ	ϑ	ϑ	ϑ
p-valor	0.368	0.439	0.294	0.537

Tabla 9 Resumen estadístico durante 88 ddg: diámetro del tallo predio Chapultepec.

La Ilustración 35 muestra el crecimiento del tallo durante 88 días, claramente su desarrollo desde la primera medición hasta la última es muy semejante. Por consiguiente, como se mostró en el análisis de anterior no existe diferencia notoria entre ningún tratamiento.

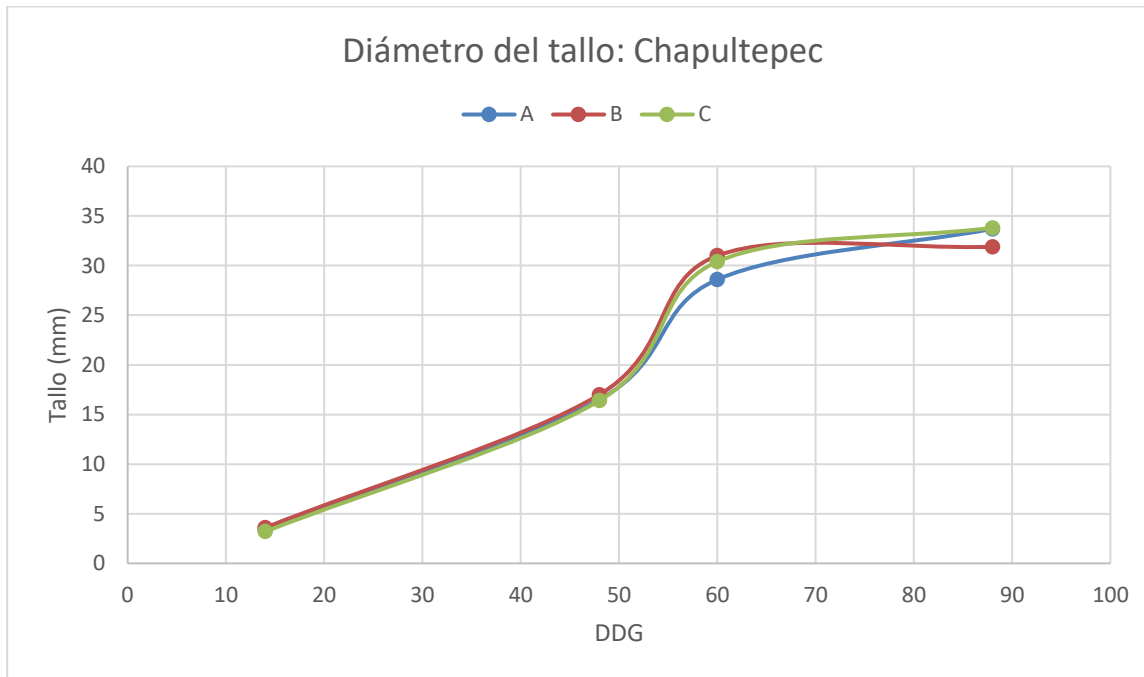
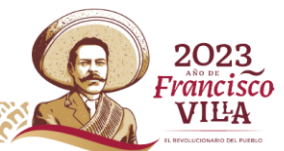


Ilustración 11 Diámetro del tallo durante 88 ddg predio Chapultepec.





Diámetro del elote

A diferencia del análisis del diámetro del tallo en esta evaluación el estadístico muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos. El diámetro de mayor tamaño se encuentra en el tratamiento C con 52.75 mm, seguido del B (38 mm) y A (31.25 mm).

La aplicación de Urea y Nutri Wunder en la dosis recomendada por el SE se ve refleja en un buen grosor del elote, logrando una diferencia de 14.75 mm con respecto al tratamiento B.

La fórmula suministrada por el productor no consiguió una disparidad notoria con respecto al tratamiento C, incluso esta se excedió y ni así el resultado fue favorable. Únicamente obtuvo 6.75 mm de diferencia con el tratamiento A.

Tratamiento	
A	31.25
B	38
C	52.75
C.V. %	23.99
ANOVA	***
p-valor	0.0001

Tabla 10 Resumen estadístico durante 88 ddg: diámetro del elote predio Chapultepec.

Largo del elote

Conforme a los resultados de la Tabla 38, los datos indican que existe una ligera diferencia significativa entre los tres tratamientos (p-valor = 0.049). El tratamiento C consiguió el mejor promedio con 24.25 cm, seguido del A y B.

Sorprendentemente el tratamiento A alcanzó un mayor promedio con respecto al B con una disparidad de 1.25 cm. Por lo que, el exceso de fertilizante aplicado en lote B no sirvió de nada. Generando en este análisis pérdidas para el productor, ya que, el largo del elote no creció de forma favorable.

El estado terreno pudo generar estas diferencias, dado que, en ciertas zonas se ubican elevaciones o hundimientos, mermando la comparación de estos lotes. Ya que la inversión aplicada en el tratamiento B no se ve reflejada.

Tratamiento	
-------------	--





A	20
B	18.75
C	24.25
C.V. %	16.74
ANOVA	*
p-valor	0.049

Tabla 11 Resumen estadístico durante 88 ddg: largo del elote predio Chapultepec.

Número de granos por hilera

Indudablemente el tratamiento C sigue destacando en relación al tratamiento A y B. En esta ocasión, el lote C consiguió 38.75 granos por hilera, el B 28.75 y el A 24.25.

Por lo tanto, suministrar una dosis de fertilizante en función de las necesidades del suelo se ve reflejado en un buen número de grano por hilera. Ni el exceso de químico aplicado en el tratamiento B obtuvo buenos estadísticos. Hasta este momento, solamente le está generando perdidas monetarias al productor.

Tratamiento	
A	24.25
B	28.75
C	38.75
C.V. %	22.50
ANOVA	***
p-valor	0.0002

Tabla 12 Resumen estadístico durante 88 ddg: número de granos por hilera predio Chapultepec.

Granos totales

Como es de esperarse y en función del análisis: Número de granos por hilera, expuesto en el apartado anterior. El tratamiento C alcanzó el mayor número de granos totales con 556, seguido del tratamiento B y A, con 448.75 y 330, respectivamente. Por ende, aplicar una dosis de fertilizante con base en las necesidades del suelo, los resultados se ven reflejados en un buen número de granos por hilera y por consiguiente en el número total (Tabla 40).

Tratamiento	
A	330





B	448.75
C	556
C.V. %	26.31
ANOVA	**
p-valor	0.006

Tabla 13 Resumen estadístico durante 88 ddg: número de granos totales predio Chapultepec.

Peso del grano

Aunque el tratamiento B en el análisis anterior mostró un mayor número de granos totales en relación al lote A, al momento de pesarlos sorprendentemente su peso es casi el mismo con una ligera diferencia de 0.25 gr.

Indudablemente existe diferencia significativa, el tratamiento C obtuvo el mejor estadístico con 116 gramos totales. En este cotejo si se ven reflejados los datos de la evaluación anterior.

El peso total del grano dependerá completamente de la maduración de los mismos, no basta con tener una buena cantidad, lo que importa es su llenado y masa.

Tratamiento	
A	57.5
B	57.75
C	116
C.V. %	41.12
ANOVA	***
p-valor	0.0004

Tabla 14 Resumen estadístico durante 88 ddg: peso total del grano predio Chapultepec.

Peso del elote

Evidentemente el peso del elote está influenciado por los análisis anteriores, como es de esperarse existe diferencia significativa p-valor = 0.0003. La masa de mayor promedio la obtuvo el tratamiento C con 298 gr, seguido del lote B (186.25 gr) y A (151.75).



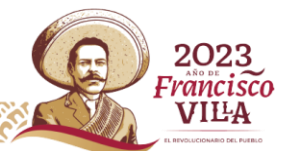


Aplicar abono foliar cada 8 días no representa un cambio significativo al suministrar lo que en realidad requiere el suelo, incluso el lote C logró un mejor peso, 111.75 y 146 gr más que el tratamiento B y A, respectivamente.

Tratamiento	
A	151.75
B	186.25
C	298
C.V. %	41.12
ANOVA	***
p-valor	0.0003

1. CONCLUSIONES

Es importante acercar la agricultura de precisión a la zona central de Veracruz, debido a que sus métodos de cultivo siguen siendo tradicionales, con la implementación de este tipo de proyectos se pudo maximizar la producción en el área experimental, con menos fertilizantes en pro del medio ambiente. El uso de sistemas de recomendación permite a los productores tener el conocimiento de los expertos en zonas marginadas y en cualquier momento, aunque sigue siendo aplicaciones que los productores tienen sus dudas a la hora de implementarlas, con los resultados obtenidos y la validación de los expertos ahora se busca concientizar a los productores del uso de este tipo de tecnología que les permitan cerrar esas brechas con otros productores.





Referencias Bibliográficas

1. Abdul, H., Azil, N., Davoudpoura, Y., Dungani, R., Hossain, M., Nazrul, I., Rosamah, E. & Saddon. N. (2014). The role of soil properties and it's interaction towards quality plant fiber: A review. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114010466>
2. Agrawal, R., Doshi, Z., Nadkarni, S., Shah, N. (2018). AgroConsultant: Intelligent Crop Recommendation System Using Machine Learning Algorithms. 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA). Obtenido de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8697349>
3. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA). (2018). ¿Conoces el origen del maíz? Más de 60 variedades de maíces forman parte de nuestra alimentación diaria. Obtenido de: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es>
4. Alimento. (2020). Propiedades y valor nutricional. Maíz: fuente de vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra. Obtenido de: https://www.alimento.elconfidencial.com/nutricion/2020-08-17/maiz-vitaminas-minerales-fibra_1517062/
5. ANDES. (s.f.). Manual. Desarrollo vegetativo del maíz. Obtenido de: <http://andes.center/wp-content/uploads/2019/10/Manual-Ciclo-del-Maiz.pdf>
6. Baeldung. (2022). Introduction to Drools. Obtenido de: <https://www.baeldung.com/drools>
7. Baula, A. (2020). Puente académico. Importancia de la agricultura en el desarrollo. Universidad Nacional de Rosario. Obtenido de: <https://observatorio.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/08/Importancia-de-la-agricultura-en-el-desarrollo-socio-econ%C3%B3mico.pdf>
8. Baker, N. & Capel, P. (2011). National Water-Quality Assessment Program. Environmental factors that influence the location of crop agriculture in the conterminous United States. Obtenido de: https://pubs.usgs.gov/sir/2011/5108/pdf/SIR2011_5108.pdf
9. Bayer. (2020). El incremento de la eficiencia de los sistemas agrícolas sólo se puede conseguir con el desarrollo de la tecnología. Obtenido de: <https://www.bayer.com/es/es/blog/espana-el-incremento-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-agricolas>
10. Bhatnagar, V., Chandra, R. & Sunda, S. (2019). State of the Art and Gap Analysis of Precision Agriculture: A Case Study of Indian Farmers. International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems. 10. 72-92. 10.4018/IJAEIS.2019070105.
11. Becerro, Z., Izquierdo, C. & Ramos, A. (2019). Herramienta web para el desarrollo ágil de sistemas expertos. Universidad Ciencia y Tecnología. Obtenido de: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/90>
12. Berger, R. (2019). Farming 4.0: How precision agriculture might save the world Precision farming improves farmer livelihoods and ensures sustainable food production. Obtenido de: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_precision_farming.pdf
13. Brecha cero. (2017). Las TIC como apoyo a la agricultura en países de desarrollo. Obtenido de: <https://brechacero.com/las-tic-como-apoyo-a-la-agricultura-en-paises-en-desarrollo/>
14. Bologna, J. & Walsh, A. M. (1997). The Accountant's Handbook of Information Technology, Editorial John Wiley and Sons.
15. Caro, A., Cisternas, I., Rodríguez, A. & Velásquez, I. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agricultura. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920312357>





16. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (s.f.). Maíz. Obtenido de:
<https://conacyt.mx/cibiogem/maiz>
17. Corona, I. (2016). El desarrollo de la agricultura y el impacto que tendría en las finanzas públicas de México. Premio nacional de las finanzas públicas 2016. Obtenido de: https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo_12a.pdf
18. Chakraborty, P., Kumar, A. & Pooniwala, O. (2021). Intelligent Crop Recommendation System using Machine Learning," 2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). Obtenido de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9418375>
19. Enciso, A. (2021). México ocupa doceavo lugar en producción mundial de alimentos: Sader. La Jornada. Obtenido de: <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/07/14/politica/mexico-ocupa-doceavo-lugar-en-produccion-mundial-de-alimentos-sader/>
20. Evans, R., Iversen, W. & Kim, Y. (2008). Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Obtenido de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4457920>
21. Forbes. (2022). La invasión de Rusia a Ucrania dispara hasta 180% el precio de los fertilizantes. Forbes. Obtenido de: <https://www.forbes.com.mx/invasion-rusia-ucrania-dispara-precio-fertilizantes/>
22. Fielding, R. (2000). Architectural styles and the design of network-based software architectures. doctoral dissertation, university of california, irvine. Obtenido de: http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm
23. González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). Obtenido de:
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
24. Grapheverywhere. (s.f.). Sistemas de recomendación | Qué son, tipos y ejemplos. Obtenido de: <https://www.grapheverywhere.com/sistemas-de-recomendacion-que-son-tipos-y-ejemplos/>
25. GRUMA. (2018). Inicio de cobertura. Obtenido de:
[https://www.monex.com.mx/portal/download/reportes/Inicio%20de%20Cobertura%20de%20Gruma%20\(Septiembre%202018\).pdf](https://www.monex.com.mx/portal/download/reportes/Inicio%20de%20Cobertura%20de%20Gruma%20(Septiembre%202018).pdf)
26. Hidroponia. (2015). Importancia de la agricultura en México. Obtenido de: <http://hidroponia.mx/importancia-de-la-agricultura-en-mexico/>
27. Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI). (2015). Guía para implementar un sistema de gestión de seguridad de datos personales junio de 2015. Obtenido de: [http://inicio.inai.org.mx/DocumentosdeInteres/Gu%C3%ADa_Implementaci%C3%B3n_SGSDP\(Junio2015\).pdf](http://inicio.inai.org.mx/DocumentosdeInteres/Gu%C3%ADa_Implementaci%C3%B3n_SGSDP(Junio2015).pdf)
28. INTAGRI. (2021). 17 consejos para mejorar el rendimiento de maíz. Parte I. Serie Cereales, Núm. 52. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/cereales/consejos-para-mejorar-el-rendimiento-en-maiz-p1>
29. Itelligent. (2021). Machine Learning e Inteligencia Artificial: cómo funciona un sistema de recomendación. Obtenido de: <https://itelligent.es/es/machine-learning-funciona-sistema-recomendacion/>
30. Intagri. (s.f.). La fenología del Maíz y su relación con la incidencia de plagas. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-fenologia-del-maiz-y-su-relacion-con-la-incidencia-de-plagas>





31. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). Fertilización nitrogenada en maíz y lavado de nitratos. Fertilización única vs fertilización fraccionada. Obtenido de:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_fertilizacion_nitrogenada_en_maiz_y_lavado_de_nitratos_1.pdf
32. Jiao, X., Lu, S., Song, L., Teng, Y., Wang, Y. & Wu, J. (2014). Soil and soil environmental quality monitoring in China: A review. *Environment International*, 69, 177–199. Obtenido de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412014001342>
33. Join Research Centre (JRC) of the European Commission, Monitoring Agriculture ResourcesS. (2014). Policy Department B: Structural and Cohesion Polices. Precision agriculture – An opportunity for EU farmers – Potential support with the CAP 2014-2020. Obtenido de:
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf)
34. Karthik, S., Shobana, M., Sabitha, R. & Vaishnavi, S. (2021). Agricultural Crop Recommendations based on Productivity and Season. En 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). Obtenido de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9441736>.
35. Koga, K., Kunkuro, P., Muto, Y. & Satta, N. (2014). A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 143, 172–179. Obtenido de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198714000282>
36. La Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión (ISPA). (2019). Precision Ag Definition. Obtenido de:
<https://www.ispag.org/about/definition>
37. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (s.f.). 3. Productos agropecuarios. Subproductos y desechos. Obtenido de: <https://www.fao.org/3/AB461S/AB461S03.htm>
38. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (s.f.). Land & Water. Maize. Obtenido de: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/en/>
39. Oficina de información científica y tecnológica para el congreso de la unión (INCYTU). 2018. Agricultura de precisión. Obtenido de: https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
40. Organismo internacional de Energía Atómica (IAEA). (2020). El uso equilibrado de fertilizante gracias a las técnicas nucleares contribuye a aumentar la productividad y a proteger el medio ambiente. IAEA. Obtenido de: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/el-uso-equilibrado-de-fertilizante-gracias-a-las-tecnicas-nucleares-contribuye-a-aumentar-la-productividad-y-a-proteger-el-medio-ambiente>
41. MariaDB. (2022). MariaDB. Obtenido de: <https://mariadb.com/>
42. Marini, E. (2012). El modelo cliente servidor. Obtenido de: <https://www.linuxito.com/docs/el-modelo-cliente-servidor.pdf>
43. Matadamas, E. (2021). Manual para el cálculo de fórmulas generales de fertilización. Universidad Autónoma Chapingo.
44. Mzori, B. (2015). Forward and Backward Chaining Techniques of Reasoning in Rule-Based Systems. Obtenido de: <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11129/2325/mzoribareen.pdf?sequence=1>
45. McBratney, A. & Whelan, B. Precision AG. – Oz Style. Obtenido de: <https://precision-agriculture.sydney.edu.au/wp-content/uploads/2019/08/PA-Oz.pdf>





26. Mejía, E., Menes, I. & Vaca, B. (2018). Metodología de construcción de un sistema experto utilizando reglas de inducción con programación estructurada. Obtenido de: <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/3658/7635>
47. Naciones Unidas (UN). (s.f.) Una población en crecimiento. Obtenido de: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Una%20poblaci%C3%B3n%20en%20crecimiento&text=Se%20alcanzaron%20los%2005.000%20millones,mundo%20de%207%20mil%20millones%22>.
48. Nagori, V. (2014). Types of Expert System: Comparative Study. Obtenido de: <https://www.ajouronline.com/index.php/AJCIS/article/view/948#:~:text=%C3%82%20There%20are%20mainly%20five,and%20neuro%20fuzzy%20expert%20system>.
49. Nigam, R. (2014). Why Usability Is Important? InfoBeans. Obtenido de: <https://www.infobeans.com/usability-testing>
50. Paredes, B. (2021). Retos, innovación y el futuro de la agricultura en 15 frases Cambio climático, inversión, mano de obra, entre otros temas se tocaron este miércoles en el Foro EF Agro. El financiero. Obtenido de: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/2021/08/18/retos-innovacion-y-el-futuro-de-la-agricultura-en-15-frases/>
51. Patel, A., & Jain, S. (2018). Formalisms of representing knowledge. Procedia Computer Science, 125, 542–549. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.070>
52. Patel, N., Shah, D., Shah, M., Talaviya, T. & Yagnik, H. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258972172030012X>
53. PricewaterhouseCoopers. (2016). Sizing the prize. What is the real value of AI for your business and how can you capitalize. ¿Cuál es el verdadero valor de la inteligencia artificial para tu negocio y cómo capitalizas? Obtenido de: <https://www.pwc.es/es/publicaciones/tecnologia/sizing-the-prize.html>
54. Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). Biofertilizantes. gov.mx. Recuperado de: <http://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es>
55. Raja, S., Rishi, R., Sundaresan, E. & Srijit, V. (2017). Demand based crop recommender system for farmers. 2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR). <https://ieeexplore.ieee.org/document/8273714>
56. Rosenberg, D. & Stephens, M. (2007). Use case driven modeling object modeling with UML. Theory and practice.
57. Secretaria de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). (2017). Planeación agrícola nacional 2017- 2030. Maíz grano blanco y amarillo mexicano. Obtenido de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf
58. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Con los colores del maíz, México se pinta solo. Obtenido de: <https://www.gob.mx/siap/articulos/con-los-colores-del-maiz-mexico-se-pinta-solo>
59. Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP). (2021). Comportamiento del PIB Agroalimentario al primer trimestre de 2021 (2020: I – 2021: I). Obtenido de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/643090/Comportamiento_PIB_Agroalimentario_1er_trim_estre_2021.pdf
60. Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP). (2020). Estadística de uso tecnológico y de servicios en la superficie agrícola. Obtenido de: <https://www.gob.mx/siap/prensa/estadistica-de-uso-tecnologico-y-de-servicios-en-la-superficie-agricola?idiom=es>





61. Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP). (2020). Datos abiertos .Estadística de producción agrícola .Obtenido de: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php
62. Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP). (2020). Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado. Obtenido de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
63. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Dirección de Análisis Estratégico 11 de marzo de 2021. Obtenido de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/621461/Escenario_maiz_blanco_feb_2021.pdf
64. Serratos, J. (2009). The Origin and Diversity of Maize in the Americas Continent. Obtenido de: <https://bit.ly/2T3vTgS>
65. Tauro, A. (s.f.). Las TIC en la aplicación de la agricultura – El contexto a nivel mundial retos y oportunidades. Obtenido de: <https://www.armandotauro.com/es/editorial/99-las-tic-en-la-aplicacion-de-la-agricultura-el-contexto-a-nivel-mundial-retos-y-oportunidades.html>
66. United States Department of Agriculture (USDA). (2020). Corn 2020 Export Highlights. Obtenido de: <https://www.fas.usda.gov/corn-2020-export-highlights>
67. Villanueva, J. (2018). Optimización de la fertilización del maíz forrajero (zea mayz) en Marcos Castellanos, Michoacán. IPN. Obtenido de: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27221>
68. Yakult. (2020). Beneficios del maíz: vitaminas y minerales. Obtenido de: <https://www.yakult.com.mx/2020/10/26/beneficios-del-maiz-vitaminas-y-minerales/>

