



A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente me permito informar que se ha recibido en conformidad el informe técnico del proyecto **"ALGORITMO RECOMENDADOR PARA SELECCIÓN DE SEMILLAS POR VARIETADES DE MAIZ EN LA REGIÓN MONTAÑOSA CENTRAL DE VERACRUZ"** desarrollado en el periodo del 4 de abril del 2022 al 1 de diciembre del 2023, con la participación de M.C. Omar Alba Hernández, Dr. Rodrigo Rodríguez Franco, M.C. Jessecka Alba Hernández, el cual cumple con:

**Innovación:** Se desarrolló 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, pues se podrá usar el uso que se le va a dar al maíz como uno de los indicadores para la mejor selección de las semillas.

**Originalidad:** De manera tradicional los productores de maíz se basaban en los usos y costumbres para la selección de sus semillas, la herramienta ahora permitirá a los productores sembrar semillas diferentes a las que normalmente sembraban con el uso de esta herramienta que se puede consultar desde un celular con acceso a internet, y mediante el uso de un navegador web, lo cual lo hace más accesible a los productores.

Además, ha contribuido en la formación de:

**Recursos humanos del TecNM**

Nombre del alumno/a	Programa Académico	Número de control
JUAN JAIR AVENDAÑO SANCHEZ	Maestría en Sistemas Computacionales	217002546

**Recursos humanos del H. Ayuntamiento constitucional de Coacoatzintla**

Nombre	Puesto o rol
David Alexander Hernández Rivera	Director de Medio Ambiente

Coacoatzintla Ver. a 5 de diciembre de 2023

Atentamente

Daniel Martínez Tirado  
Director de Fomento Agropecuario



H. AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL  
DE COACOATZINTLA, VER.  
2022 - 2025  
FOMENTO AGROPECUARIO MUNICIPAL



# Instituto Tecnológico Superior de Xalapa Subdirección de Posgrado e Investigación

## Informe técnico del proyecto:

### ALGORITMO RECOMENDADOR PARA SELECCIÓN DE SEMILLAS POR VARIETADES DE MAIZ EN LA REGIÓN MONTAÑOSA CENTRAL DE VERACRUZ

Xalapa-Enríquez Veracruz a 5 de diciembre de 2023.





## Contenido

Introducción.....	3
Estado del arte .....	3
Objetivos .....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
Justificación .....	9
Innovación .....	11
Originalidad.....	11
Participación de Recursos Humanos .....	11
Resultados y Conclusiones .....	12
Diseño de la base de conocimiento.....	12
Funcionamiento del motor de inferencia .....	13
Construcción del prototipo.....	14
Vista principal del sistema .....	14
Vista del catálogo de recomendaciones .....	14
Vista de registro de usuarios.....	15
Vista de inicio de sesión.....	16
Vista principal del usuario.....	17
Vista para agregar parcelas .....	17
Vista para generar una recomendación.....	19
Vista de resultados.....	19
Conclusiones .....	21
Referencias Bibliográficas.....	22





## Introducción

La agricultura es una actividad que ha acompañado al hombre desde hace miles de años, las técnicas y conocimientos utilizados han evolucionado con el paso del tiempo. Hoy en día, la agricultura se integra con las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) para lograr mejorar el rendimiento de cultivos, optimizar el uso de los recursos, disminuir el impacto ambiental y facilitar la toma de decisiones estratégicas y económicas. Esto permite desarrollar procesos agrícolas más eficientes, confiables, modernos y seguros en comparación con los métodos tradicionales utilizados por la mayoría de agricultores en países en desarrollo. Sin embargo, la integración de la tecnología y las técnicas de la agricultura no se pueden dar de manera inmediata, ya que podrían ocasionar problemas de adaptación y un alto costo de inversión a los productores. Es por estas razones, que una de las soluciones viable para ayudar a los mismos, es el diseño de sistemas de recomendación de semillas que mejor se adapten a las características del suelo con el que dispone el agricultor. La decisión de que semilla utilizar, es la más importante al momento de sembrar, ya que determina en gran medida el grado de producción, el tiempo necesario hasta el momento de la cosecha y las posibles ganancias que se obtendrán de la misma. La presente revisión de la literatura se hace con el fin de conocer: las características comunes que presentan los “Sistemas de Recomendación de Cultivos”; las técnicas y/o métodos principalmente utilizados; así como las variables de entrada consideradas en los algoritmos recomendadores. Esto con el objetivo de desarrollar un algoritmo recomendador de las variedades de semillas del maíz en la región montañosa del Estado de Veracruz.

Las técnicas de inteligencia artificial son utilizadas por la agricultura de precisión para lograr mejorar el rendimiento de cultivos, optimizar el uso de los recursos, disminuir el impacto ambiental y facilitar la toma de decisiones tanto estratégicas como económicas, en la actualidad aumentar el rendimiento de los cultivos es una necesidad para lograr la seguridad alimentaria de la creciente población mundial, es por esto, que se propone la creación de un algoritmo que recomiende la variedad de semilla de maíz que más se adapte a las propiedades del suelo. Para lograrlo, es necesario conocer las características presentes en los sistemas recomendadores de cultivos que se han desarrollado en los últimos años, por lo que se realizó una revisión sistemática de la literatura con el fin de identificar los diferentes métodos y técnicas que utilizan estos sistemas, y los parámetros más importantes que se deben de considerar para generar las recomendaciones, los resultados demuestran que la técnica más utilizada en los sistemas recomendadores de cultivos son los algoritmos de Machine Learning, siendo las Redes Neuronales Artificiales el método más encontrado dentro de los artículos seleccionados, y en los parámetros más utilizados por los diferentes sistemas se encuentran el pH, el nitrógeno, el fósforo, el potasio y la temperatura. En general, los sistemas revisados arrojan una precisión que va del 82% al 99.91%.

## Estado del arte

Para lograr el objetivo de desarrollar un sistema recomendador de maíces nativos que ayude a los usuarios del estado de Veracruz a seleccionar la variedad de semilla que pueda cumplir con sus necesidades, se realizó una revisión de la literatura sobre los diferentes “Sistemas recomendadores para la selección de cultivos”, con la finalidad de identificar las características en común, los principales métodos o técnicas utilizados por estos sistemas, así como los parámetros que se consideran para generar las recomendaciones y la finalidad que esperan cumplir. En la revisión de la literatura realizada, se extrajo y se sintetizó la información de un total de 26 estudios





relacionados a la recomendación de cultivos, en los cuales se observó que la técnica más utilizada son los algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning, Tabla 1). Dentro de estos las Redes Neuronales representan el modelo más utilizado, como el sistema propuesto por Kale y Patil (2019) el cual hace uso de las Redes Neuronales Artificiales (ANN) para desarrollar una fórmula y determinar la relación, utilizando una gran cantidad de ejemplos de entrada y salida, para establecer el modelo para las predicciones de rendimiento y sugerir el mejor cultivo posible. El sistema de soporte a decisiones de Rizaldi et al. (2019) genera recomendaciones de tres tipos de plantas que son las más adecuadas para sembrar, según las condiciones regionales o del terreno, mediante el método Learning Vector Quantization (LVQ). El modelo RNN-LSTM, Red Neuronal Recurrente para el pronóstico de rendimiento de cultivos a nivel estatal propuesto por Meeradevi et al. (2019) varían la cantidad de nutrientes suministrados para los cultivos y comparten este conocimiento con los agricultores para ayudar a aumentar el rendimiento de los cultivos, también define cuántos kg de nitrógeno y fósforo se requieren para aumentar el rendimiento rentable. Barbosa et al. (2020) propusieron una Red Neuronal Convolutiva (CNN) para capturar diferentes atributos y combinarlas para modelar la respuesta del rendimiento al manejo de la tasa de semillas y nutrientes. Shirsath et al. (2017) propusieron un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en ANN para ayudar a los agricultores a seleccionar un cultivo, utilizando diferentes parámetros del terreno, y así aumentar la productividad de sus campos, el producto interno bruto y reducir la pobreza en la India. Shu (2020) usó una arquitectura emergente de aprendizaje profundo, para predecir el rendimiento anual de soja a nivel municipal en Japón, utilizando datos numéricos obtenidos de estadísticas oficiales para garantizar una alta confiabilidad y disponibilidad de los datos. Hay estudios que utilizan las Redes Neuronales en combinación con los algoritmos de Machine Learning de aprendizaje supervisado, como Pande et al. (2021) propone un sistema de predicción de rendimiento viable y fácil de usar para los agricultores implementando y probando varios algoritmos como Máquina de vectores de soporte (SVM), Red Neuronal Artificial (ANN), Bosque Aleatorio (RF), Regresión Lineal Multivariante (MLR) y Vecino más Cercano (KNN), para guiar a los agricultores, maximizar el rendimiento del cultivo y sugerir el cultivo más rentable para la región específica. Bhanumathi et al. (2019) usaron los algoritmos Random Forest y Backpropagation para desarrollar un modelo preciso y exacto en la predicción del rendimiento del cultivo, proporcionando al usuario final las recomendaciones adecuadas sobre la proporción de fertilizante requerida, en función de los parámetros atmosféricos y del suelo, para aumentar el rendimiento del cultivo y aumentar los ingresos de los agricultores.

Dentro los sistemas que utilizan algoritmos de Machine Learning se encuentran el de Arooj et al. (2018) donde analizaron el comportamiento de diferentes algoritmos de clasificación (Decision Tree J48, BF Tree, OneR y Naive Bayes) en el conjunto de datos del suelo y evaluaron el algoritmo más predictivo y preciso, esto para fortalecer la idea de clasificación y recomendación, para aumentar el rendimiento y la producción. Katarya et al. (2020) compararon el rendimiento de cuatro modelos muy utilizados (Random Forest, Logistic Regression, Naive Bayes y Decision Table), para clasificar los cultivos en cuatro estaciones usando el conjunto de datos. Mishra et al. (2018) propusieron un sistema de predicción del rendimiento de cultivos usando técnicas de minería de datos (J48, LWL, Árbol LAD e IBK) por medio del análisis de conjuntos de datos agrícolas para ayudar a los agricultores a tomar decisiones importantes que antes tomaban utilizando métodos triviales, ineficientes o al azar. Otro modelo que utiliza diferentes algoritmos de Machine Learning es la técnica de ensamblaje, la cual fue utilizada por Pudumalar et al. (2017) mediante un sistema que utiliza el método de votación por mayoría utilizando Random tree, CHAID, K-Nearest Neighbor y Naive Bayes, para construir un modelo eficiente y preciso que ayudaría a los agricultores a sembrar la semilla adecuada en función de los requisitos del suelo y





augmentar la productividad. Kulkarni et al. (2018) diseñaron un sistema de recomendación de cultivos mediante la técnica de votación por mayoría usando Random Forest, Naive Bayes y Linear SVM, teniendo en cuenta el conjunto de datos del suelo con respecto a cuatro cultivos, para ayudar al agricultor en la selección precisa del cultivo.

Otra técnica de Inteligencia Artificial utilizada dentro de los estudios revisados es la Lógica Difusa, la cual es utilizada por sistemas como el propuesto por Vigneswaran y Selvaganesh (2020) basado en Neuro-Fuzzy, el cual pronosticará la comparación de nutrientes para predecir el cultivo adecuado y la rotación de cultivos, y así proporcionar el máximo rendimiento probable. Rajeswari et al. (2020) desarrollaron un modelo predictivo para la idoneidad de los cultivos, para mejorar la productividad y aumentar el beneficio del agricultor mediante la comparación de algoritmos de lógica difusa (CN2, LEM2, AQ e Indiscernibility). Kuanr et al. (2018) diseñaron un modelo de inferencia Mamdani Fuzzy Inference de 3 entradas y 2 salidas para cuantificar el rendimiento del arroz y dar una idea previa sobre un cultivo que sea adecuado según la ubicación del agricultor y las condiciones climáticas de los meses anteriores. Deepa y Ganesan (2019) propusieron un modelo de clasificación de clases múltiples mediante la integración de enfoques aproximados, suaves y difusos, para identificar cultivos adecuados y ayudar a los agricultores a tomar decisiones sobre el cultivo que se puede cultivar en la tierra agrícola dada.

Prabakaran et al. (2018) examinaron la toma de decisiones basada en lógica difusa para el diseño de procedimientos de cultivo de hortalizas, en función de los parámetros climáticos junto con las propiedades del suelo, y mejorar la productividad con el mínimo consumo de fertilizante.

Los sistemas basados en Internet de las cosas (IoT) también son utilizados para realizar recomendaciones a los agricultores, aprovechando el monitoreo constante de los sensores y el almacenamiento de los datos en la nube, algunos sistemas encontrados que utilizan este método, son por ejemplo el sistema de Varsha et al. (2020) que puede clasificar el suelo y predecir el tipo de cultivo que será más adecuado para el suelo dado. Reshma et al. (2020) desarrollaron un sistema IoT utilizando SVM y Decision Tree, para predecir la categoría de los conjuntos de datos de suelo analizados, para indicar el rendimiento del cultivo y ayudar a los analistas de suelos a aumentar la producción de cultivos. Shylaja y Veena (2017) generaron un sistema para maximizar el rendimiento agrícola, mediante el análisis de nutrientes, que pretende ayudar a los agricultores a tomar mejores decisiones y aumentar el rendimiento de los cultivos usando la tecnología. Sakthi y Rose (2020) proponen un sistema de agricultura inteligente basado en el conocimiento para ayudar al agricultor, al productor y a otros usuarios a tomar decisiones inteligentes sobre la agricultura, proporcionando información y conocimiento en tiempo real a los usuarios finales, permitiendo aumentar efectivamente el rendimiento del cultivo y disminuir el desperdicio de recursos sin afectar la calidad.

Otra técnica utilizada dentro de los estudios revisados, es el método TOPSIS en integración con Sistemas Expertos, fue utilizada por Tobing et al. (2019) para desarrollar un prototipo de sistema de apoyo a la decisión y determinar la ubicación de los terrenos de siembra para los cultivos, facilitando a los agricultores a determinar la decisión de elegir la ubicación de la tierra que esté de acuerdo con las condiciones para el cultivo deseado y aumentar la producción agrícola.

Ngo y Kechadi (2020) hicieron uso del Big Data para proponer un esquema de constelación de hechos, como un marco general, para integrar varios conjuntos de datos agrícolas y aplicar algunos métodos para extraer conocimiento con miras a mejorar el rendimiento de los cultivos.



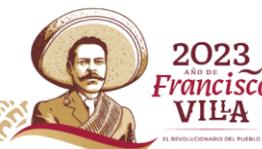


Tabla 1. Resumen de los diferentes métodos utilizados en los estudios.

Métodos		Técnicas	Autor(es)	No.
Machine Learning	Redes Neuronales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redes Neuronales Artificiales (ANN)</li> <li>Backpropagation</li> <li>Red Neuronal Recurrente (RNN)</li> <li>Learning Vector Quantization (LVQ)</li> <li>Red Neuronal Convolutacional (CNN)</li> <li>Redes Neuronales Autonormalizantes (SNN)</li> </ul>	(Shirsath et al., 2017) (Kale & Patil, 2019) (Bhanumathi et al., 2019) (Meeradevi et al., 2019) (Rizaldi et al., 2019) (Barbosa et al., 2020) (Shu, 2020) (Pande et al., 2021)	8
	Algoritmos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decision Tree J48</li> <li>BF Tree</li> <li>Random tree</li> <li>OneR</li> <li>Naïve Bayes</li> <li>Máquina de vectores de soporte (SVM)</li> <li>Regresión lineal multivariante (MLR)</li> <li>Vecino más cercano (KNN)</li> <li>Random Forest (RF)</li> <li>Logistic Regression</li> <li>Decision Table</li> </ul>	(Arooj et al., 2018) (Mishra et al., 2018) (Katarya et al., 2020)	3
	Ensamblaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>CHAID</li> </ul>	(Pudumalar et al., 2017) (Kulkarni et al., 2018)	2
	Lógica Difusa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lógica Difusa</li> <li>Neuro-Fuzzy</li> <li>Mamdani Fuzzy Inference</li> <li>Z-soft fuzzy</li> </ul>	(Kuanr et al., 2018) (Prabakaran et al., 2018) (Deepa & Ganesan, 2019) (Rajeswari et al., 2020) (Vigneswaran & Selvaganesh, 2020)	5
	IoT		(Shylaja & Veena, 2017) (Reshma et al., 2020) (Sakthi & Rose, 2020) (Varsha et al., 2020)	4
	Método Topsis y Sistemas Expertos		(Tobing et al., 2019)	1
	Promedio móvil de series de tiempo		(Castro et al., 2019)	1
	Big Data		(Ngo & Kechadi, 2020)	1
	Visión artificial		(Uddin & Hassan, 2022)	1
	<b>TOTAL</b>			26

Castro et al. (2019) desarrollaron una aplicación móvil que tiene como objetivo ayudar a los agricultores y usuarios con las diferentes técnicas en la siembra de cultivos. Utilizan el algoritmo de promedio móvil de series de tiempo, que permite a los agricultores y otros usuarios monitorear sus gastos y pronosticar la demanda de sus cultivos.

Uddin y Hassan (2022) desarrollaron un sistema automatizado de clasificación de suelos basado en visión artificial para predecir el tipo de suelo, e identificar y seleccionar el tipo de suelo apropiado, debido a que diferentes cultivos necesitan diferentes tipos de suelo, para garantizar la máxima producción utilizando los recursos limitados de la tierra. La tabla 4 muestra de manera





general una agrupación de los diferentes modelos utilizados por los sistemas de recomendación de los estudios revisados.

En base a la síntesis de los datos obtenidos de los trabajos revisados, se pudo observar que la inmensa mayoría de estos trabajos fueron realizados en la India (69%), esto puede explicarse debido a la importancia de la agricultura en la economía de este país, ya que aporta alrededor del 20% anual del PIB. La finalidad de los sistemas revisados es principalmente recomendar un cultivo o predecir el rendimiento del mismo, con la finalidad de aumentar la producción. Los principales cultivos recomendados por los sistemas son el arroz, maíz, caña de azúcar, algodón, cacahuate, trigo y plátano. Las principales fuentes de información utilizadas para alimentar estos sistemas son las fuentes en línea (sitios web) que cuentan con información agrícola de confianza, como las instituciones de gobierno, y los datos obtenidos por los diferentes sensores utilizados en algunos sistemas.

La mayoría de los estudios revisados no cuentan con ninguna interfaz con la que pueda interactuar el usuario, aunque los que sí la tienen se presenta mediante una aplicación móvil o una página web. En cuanto a las herramientas de desarrollo que utilizaron, la mayoría no las menciona, aunque dentro de los que sí lo hacen, se utilizaron Matlab, Python y WEKA.

La tabla 2 muestra la mayoría de los parámetros utilizados por los sistemas de recomendación de los diferentes estudios revisados, con lo que se concluyen que los más utilizados son el pH, los macronutrientes NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), la temperatura y el tipo de cultivo.

En cuanto a las métricas utilizadas para la validación de los sistemas, donde se puede observar que la principal es la precisión, seguida del Error cuadrático medio de la raíz (RMSE), la validación cruzada y la exactitud.

Los autores de los sistemas recomendadores revisados hacen uso de diferentes técnicas de inteligencia artificial para ayudar a los agricultores a tomar una decisión sobre la elección del cultivo, en base a diferentes parámetros considerados. Principalmente se hace una comparación entre varios algoritmos de aprendizaje automático, utilizando el mismo conjunto de datos, para así obtener la precisión de cada uno de ellos y elegir el que menor error demuestre con respecto a las métricas seleccionadas para su validación. En general, los sistemas revisados arrojan una precisión que va entre 82% a 99.91%, dependiendo de los diferentes algoritmos o métodos utilizados.

La revisión de la literatura demuestra que los sistemas de recomendación de cultivos cuentan con una estructura básica definida, la cual consiste en la recopilación de datos, los cuales se pueden obtener de páginas de internet de confianza, como lo pueden ser organizaciones y/o instituciones de gobierno encargadas de llevar el registro de estos datos, o mediante el uso de sensores que monitorean los parámetros necesarios para el funcionamiento del sistema, una vez que se cuenta con esta colección de datos se hace un pre-procesamiento de los mismos, para depurar los datos faltantes o atípicos que podrían generar problemas, después se hace una extracción de características mediante la identificación de los atributos más importantes y su relación, para posteriormente utilizar el modelo de entrenamiento, el cual puede ser más de uno, y así generar una comparación entre los modelos en base al modelo de evaluación y elegir el que mejor rendimiento otorgue (menor error), con lo cual se hace la clasificación de los cultivos y finalmente la recomendación sugerida como salida del sistema.





Las diferentes técnicas y métodos, los parámetros, las pruebas de validación y los experimentos que se utilizaron en estos estudios revisados podrían ser de utilidad para lograr el objetivo de diseñar un sistema recomendador de maíces nativos en el estado de Veracruz.

Tabla 2 Parámetros y el número de veces utilizados por los diferentes sistemas de recomendación de cultivos.

#	Parámetro	# de Veces	%	#	Parámetro	# de Veces	%
1	pH	11	6.88 %	21	Retención de agua	3	1.88 %
2	Nitrógeno (N)	11	6.88 %	22	Manganeso (Mn)	3	1.88 %
3	Potasio (K)	10	6.25 %	23	Materia orgánica (MO) del suelo	3	1.88 %
4	Fósforo (P)	9	5.63 %	24	Estado	2	1.25 %
5	Temperatura (°C)	9	5.63 %	25	Color del suelo	2	1.25 %
6	Cultivo	8	5.00 %	26	Urea	2	1.25 %
7	Temporada	7	4.38 %	27	Calcio (Ca)	2	1.25 %
8	Área	6	3.75 %	28	Azufre (S)	2	1.25 %
9	Distrito	6	3.75 %	29	Boro (B)	2	1.25 %
10	Precipitación (mm)	6	3.75 %	30	Altitud	2	1.25 %
11	Conductividad eléctrica del suelo (EC)	6	3.75 %	31	herbicidas e insecticidas	2	1.25 %
12	Tipo de suelo	6	3.75 %	32	Profundidad	1	0.63 %
13	Año	4	2.50 %	33	Permeabilidad	1	0.63 %
14	Textura	4	2.50 %	34	Drenaje	1	0.63 %
15	Magnesio (Mg)	4	2.50 %	35	Erosión	1	0.63 %
16	Hierro (Fe)	4	2.50 %	36	Molibdeno (Mo)	1	0.63 %
17	Zinc (Zn)	4	2.50 %	37	Metano	1	0.63 %
18	Cobre (Cu)	4	2.50 %	38	Imagen satelital	1	0.63 %
19	Humedad (HR)	4	2.50 %	39	Precio	1	0.63 %
20	Producción	3	1.88 %	40	No menciona	1	0.63 %
<b>TOTAL</b>						<b>160</b>	<b>100 %</b>

El principal problema observado en los resultados de la revisión de la literatura y el sistema recomendador propuesto, es el acceso a la información necesaria para lograr generar la clasificación de las variedades de maíz nativo, especialmente sobre los parámetros relacionados al suelo. Las recomendaciones dependen del tipo y la cantidad de datos alimentados, por lo que, si no se cuenta con la información necesaria, la recomendación podría no ser la adecuada. Dado que el sistema propuesto tiene la finalidad de recomendar las variedades de semilla de maíz nativo que más le convenga y beneficie al usuario en base a los factores climáticos con los que





cuenta su parcela y la finalidad de producción deseada, se deben de clasificar los diferentes usos específicos que tienen cada una de las razas, esto espera lograr que, al hacer uso de las semillas nativas se promueva la conservación de las mismas y así mantener la soberanía alimentaria del estado de Veracruz (Avendaño Sánchez et al., 2022).

## Objetivos

### Objetivo General

Diseñar un sistema recomendador de maíces nativos para ayudar a los usuarios a seleccionar la(s) variedad(es) de semilla que cumplan con los propósitos de la producción.

### Objetivos Específicos

- ✍ Explorar el estado del arte para contrastar los diferentes sistemas recomendadores de cultivos existentes, a fin de identificar las características relevantes y necesarias que se deben considerar.
- ✍ Construir el modelo de representación y almacenamiento de los datos de los parámetros necesarios para cada una de las variedades de maíz nativo, que servirán como referencia dentro del sistema.
- ✍ Establecer las relaciones entre las variables de entrada y salida, para crear el proceso de recomendación.
- ✍ Desarrollar el prototipo encargado de generar las recomendaciones.
- ✍ Evaluar las recomendaciones generadas por el sistema.

## Justificación

Uno de los objetivos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el año 2030, es el poner fin a la pobreza y el hambre en todo el mundo, aunado a garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales. Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha señalado que la gravedad de la actual crisis de hambre mundial es resultado de décadas de negligencia y pocas inversiones en el sector agropecuario. La población afligida por el hambre representa el 16 % de la población de los países en desarrollo. Concentrándose en zonas rurales donde sus medios de vida dependen de la agricultura, la pesca, los bosques y la ganadería.

En este caso, la agricultura tradicional aporta significativamente a la producción mundial de alimentos, la preservación de alimentos tradicionales, la generación de empleos y la mitigación de la pobreza, la conservación de la biodiversidad y las tradiciones culturales, reposicionando este tipo de producción en las políticas agrícolas, ambientales y sociales. Es así como surgen dos enfoques para resolver la problemática alimentaria: la Seguridad Alimentaria y la Soberanía Alimentaria, el primer concepto delineado y forjado principalmente por la FAO y el segundo cobijado desde una red transnacional de organizaciones y movimientos sociales. Aunque ambas tienen en común el interés de garantizar la alimentación difieren en su contenido, visión y prácticas. La FAO define: "La seguridad alimentaria a nivel individual, familiar, nacional, regional y global se alcanza cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos, sanos y nutritivos que les permitan satisfacer sus necesidades y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana" (Mariscal Méndez et al., 2017). Mientras la Soberanía Alimentaria se define como: "el derecho de cada nación a mantener y





desarrollar su capacidad de producir alimentos básicos, en lo concerniente a la diversidad cultural y productiva y el derecho a producir nuestro propio alimento en nuestro territorio” (Bringel, 2010).

En este sentido, las organizaciones campesinas señalan que, para acabar con la inseguridad alimentaria, no solo se trata de asegurar una producción suficiente de alimentos y lograr su acceso a las personas, sino también es importante considerar qué alimentos se producen, cómo y en qué escala (Mariscal Méndez et al., 2017). La soberanía alimentaria, habla del modo de producir los alimentos, la apropiación y gestión de los recursos, la tierra y el territorio, el comercio local e internacional, el desarrollo sostenible, la acción colectiva, la participación social, la agroecología y el derecho a la alimentación (Bringel, 2010).

El empleo de tecnologías múltiples y flexibles adecuadas a la diversidad de los ecosistemas, en general, el empleo diversificado y sostenible de los recursos humanos y naturales, los cuales pueden reforzar los saberes de la ciencia formal y mejorar los métodos tradicionales de producción bajo un esquema de cómo producir más y hacerlo mejor sin ocasionar daños al medio ambiente. Una herramienta tecnológica utilizada en los diferentes procesos agrícolas, durante el ciclo de vida de los cultivos, son los Sistemas de Soporte a Decisiones, su implementación depende de la meta deseada por los agricultores y los resultados esperados son consecuencia del uso de dicha tecnología, si bien la mayoría de productores en nuestro país siguen usando técnicas tradicionales en la selección de semillas, al no contar con asistencia técnica adecuada, ya que actualmente las únicas fuentes de asistencia son las tiendas de agroquímicos o las múltiples filiales mexicanas que trabajan para las empresas transnacionales que solo recomiendan sus propias semillas híbridas. El Conahcyt (Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías) mediante la Dirección de Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) pretenden constituir andamiajes para la colaboración y la convergencia de las comunidades académica y tecnológica, los cuales permitan el uso más eficaz y eficiente de los recursos públicos en beneficio de la población y el ambiente; el objetivo es que conduzcan a una mayor independencia en la atención de los retos nacionales (Conahcyt, 2023a). El Programa Nacional Estratégico de Soberanía Alimentaria se propone modificar el sistema agroalimentario para contribuir al bienestar de la población mexicana. En particular, se busca encontrar soluciones a algunos de los problemas derivados de dicho sistema, tales como la desigualdad en la distribución de la riqueza socialmente generada, la precarización de las condiciones laborales en el ámbito rural, el creciente consumo de alimentos ultraprocesados o el debilitamiento de los pequeños y medianos productores en favor de una agroindustria alimentaria donde los circuitos de producción-distribución-consumo dependen de grandes oligopolios (Conahcyt, 2023b).

Es así como surge la necesidad de una herramienta tecnológica que les ayude a seleccionar entre las variedades de semillas nativas, para que puedan cumplir con el objetivo de su producción y se promueva desde la agroecología una forma de reducir la pérdida de las especies agrícolas ocasionada por la implementación de sistemas agrícolas convencionales basados en unas pocas especies de alto rendimiento que provocan una homogeneidad genética, evitando la evolución y adaptación de nuevas semillas que puedan afrontar problemas meteorológicos, agronómicos y biológicos. En la actualidad existen variados sistemas de recomendación dentro del área de la agricultura, los cuales se encargan de ayudar al productor a mejorar o predecir la producción de un cultivo en particular, aunque en su mayoría se rigen bajo el concepto de aumentar la producción y rendimientos de los diferentes cultivos. Teniendo en cuenta los puntos anteriores se propone el primer diseño y desarrollo de un sistema recomendador de las variedades de semillas nativas de maíz, debido a que el maíz es alimento más consumido en el país y también tiene una gran importancia social y cultural, al realizar estas recomendaciones se pretende ayudar a





seleccionar las variedades que mejor adaptación puedan tener a las condiciones climáticas con las que cuenta el campo de cultivo del productor pero además que le permite cumplir el objetivo de uso deseado y en consecuencia se promueva el uso y conservación de estos recursos genéticos, al mismo tiempo de garantizar la soberanía alimentaria del estado de Veracruz y de la región montañosa central.

### Innovación

El proyecto desarrollado para la Dirección de Fomento Agropecuario de Coacoatzintla representa una innovación disruptiva, puesto que viene a cambiar la manera en la que actualmente se está realizando el proceso de selección de semillas, anteriormente siempre se han utilizado las mejores semillas cultivadas para llevar a cabo los siguientes ciclos de siembre. Sin embargo, con el desarrollo de este proyecto se pretende que el productor no depende únicamente de las semillas obtenidas en las anteriores cosechas, sino que tenga la posibilidad de explorar otras opciones, mediante el uso del recomendador, a fin de alcanzar otros mercados aunado a la producción de subsistencia.

### Originalidad

La originalidad del proyecto consiste en el hecho de que los productores del municipio de Coacoatzintla ahora podrán planear sus cultivos mediante el uso de una herramienta tecnológica que les permita seleccionar la semilla que van a sembrar, no solo con la información que normalmente manejan, sino ahora pudiendo hacer suposiciones del uso que se pretende de la cosecha, basándose además en la información de altitud y clima de la parcela donde se llevará acabo.

### Participación de Recursos Humanos

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

Nombre	Trabajo realizado
Juan Jair Avendaño Sánchez	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión bibliográfica del estado del arte</li> <li>Consulta con expertos de INECOL</li> <li>Levantamiento de requerimientos</li> <li>Desarrollo de prototipo</li> </ul>
M.C. Omar Alba Hernández	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión bibliográfica del estado del arte</li> <li>Consulta con expertos de INECOL</li> <li>Análisis de requerimientos</li> <li>Diseño de base de datos</li> <li>Pruebas de prototipo</li> </ul>
Dr. Rodrigo Rodríguez Franco	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión bibliográfica del estado del arte</li> <li>Consulta con expertos de INECOL</li> <li>Diseño de la base de conocimiento</li> <li>Diseño de experimentos</li> <li>Diseño del motor de inferencia</li> </ul>



M.C. Jessecka Alba Hernández	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica del estado del arte</li> <li>• Validación de requerimientos</li> <li>• Diseño de aplicación web</li> <li>• Análisis de funcionalidad y usabilidad de la herramienta.</li> </ul>
------------------------------	---

## Resultados y Conclusiones

### Diseño de la base de conocimiento

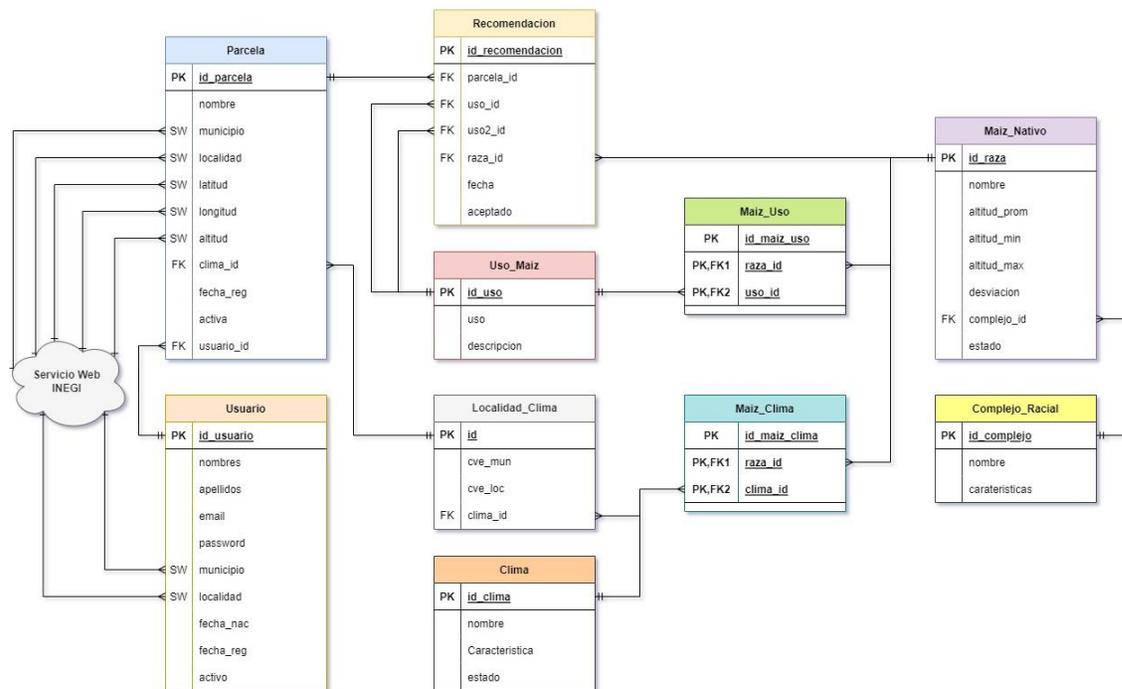


Figura 1. Modelo Entidad-Relación de la base de datos.

Una vez que se recolectó la información de los parámetros, se realizó el almacenamiento de los mismos dentro de una base de datos, la cual será la base del conocimiento del sistema para generar las recomendaciones. Además de las tablas necesarias para el almacenamiento de la información, se agregaron otras tablas (Usuario, Parcela y Recomendación) que son necesarias para el funcionamiento personalizado del sistema. La figura 1 muestra el modelo Entidad-Relación del diseño de la base de datos, en el cual se pueden observar las tres tablas que ayudan a mantener la información particular de cada *usuario*, la(s) *parcela*(s) registrada(s) y la(s) *recomendación*(es) correspondientes a la(s) misma(s). El servicio Web del INEGI se utiliza para el llenado de los campos del usuario y la parcela (municipio, localidad, latitud, longitud y altitud). Las siete tablas que contienen la información necesaria de los parámetros utilizados, la tabla *maíz nativo* almacena las razas recomendadas y los datos de altitud correspondientes de cada una; la tabla *complejo racial*, solo especifica al grupo que pertenece cada raza; la tabla *clima* almacena los diferentes unidades climáticas según la clasificación de Köppen; la tabla *maíz clima* guarda la



relaciones entre las razas de maíz y los climas; la tabla *uso* almacena la clasificación de los grupos de usos; la tabla *maíz uso* guarda las relaciones de las razas de maíz y sus usos y finalmente la tabla *localidad clima* tiene almacenado el tipo de clima de todas las localidades del estado de Veracruz (tabla 1), esto con la finalidad de obtenerlo de manera automática al seleccionar la localidad donde se encuentra la parcela del usuario.

Tabla 3. Resumen de la información almacenada en la tabla Localidad clima.

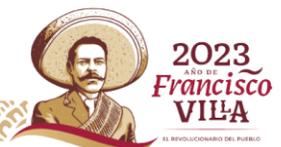
TIPO DE CLIMA (UNIDAD CLIMÁTICA)	NO. DE LOCALIDADES	PORCENTAJE
CÁLIDO HÚMEDO	18	0.066%
CÁLIDO SUBHÚMEDO	15521	57.092%
CÁLIDO SEMICÁLIDO HÚMEDO	7210	26.521%
TEMPLADO SEMICÁLIDO HÚMEDO	3030	11.145%
TEMPLADO SEMICÁLIDO SUBHÚMEDO	15	0.055%
TEMPLADO HÚMEDO	1034	3.803%
TEMPLADO SUBHÚMEDO	229	0.842%
TEMPLADO SEMIFRÍO HÚMEDO	18	0.066%
TEMPLADO SEMIFRÍO SUBHÚMEDO	37	0.136%
SECO TEMPLADOS Y SEMIFRÍOS SEMISECOS	73	0.269%
FRÍO	1	0.004%
<b>TOTAL</b>	<b>27186</b>	<b>100%</b>

#### Funcionamiento del motor de inferencia

Para el funcionamiento del sistema, se formalizó el conocimiento a través de reglas, utilizando una tabla de decisión como herramienta, para sintetizar el proceso de recomendación, se dio un conjunto de condiciones (uso, tipo de clima y altitud) y un conjunto de posibles acciones a realizar (variedades de maíz nativo) en dependencia del valor que tomen dichas condiciones (Tabla 8). Su estructura permite el análisis para la toma de decisiones ya que muestra todas las posibles combinaciones de valores de las condiciones. Sin embargo, debido a las condiciones utilizadas es común recibir como resultado múltiples soluciones, por lo que para ordenar la lista de posibles soluciones se implementó una pequeña fórmula basada en la altitud promedio y se le asignó un valor denominado “porcentaje”, este valor indica la proximidad que se tiene de la condición altitud respecto a la altitud promedio de las posibles soluciones, ordenando de mayor a menor su valor dependiendo del rango permitido que se estableció, este valor no es representativo ya que cualquier solución otorgada aún permanece dentro de sus rangos, por lo que es solo un indicador que señala que tan cerca se encuentra de los límites establecidos para cada solución. Entre mayor sea el valor del porcentaje, menor será la diferencia de la condición altitud respecto a la altitud promedio.

$$\text{Porcentaje} = 100 - \frac{|Altitud Promedio - Altitud de la parcela| * 50}{Desviación Estándar}$$

Es importante mencionar que, con base a la información utilizada, algunos casos en que la condición de altitud, el sistema no puede generar ninguna salida de respuesta, por lo que aún se deben definir aquellos casos especiales en los que la altitud queda fuera de cualquier rango establecido para los resultados, que va de los 0 a los 2800 metros sobre el nivel del mar. De igual





manera hay casos en los cuales no se genera ningún resultado en la condición del uso principal y secundario por lo que se deben aún se deben establecer las reglas especiales en estos casos.

### Construcción del prototipo

Para desarrollar el prototipo del sistema y lograr que se encuentre al alcance de todos los interesados, se decidió realizar una aplicación web, para que independientemente del dispositivo con el que cuente el usuario, este pueda utilizar el sistema. Para desarrollar el prototipo se utilizaron diferentes herramientas que a continuación se mencionan:

### Vista principal del sistema

La página principal (figura 2) es la primera vista del sistema, en la cual se observa una breve explicación del funcionamiento del prototipo. En la parte superior se observa una barra de navegación, en donde se encuentran los botones que nos dirigen a las vistas que corresponden al registro de usuarios “Registrarse” y al inicio de sesión “Iniciar Sesión” en la aplicación web, también nos encontramos con el catálogo de las razas de maíz nativo que recomienda el sistema “Razas de Maíz”.



Figura 2. Página principal de la aplicación web.

### Vista del catálogo de recomendaciones

En esta vista el usuario puede encontrar información acerca de las razas recomendadas por el sistema, esto con la intención de informar sobre las características generales de las diferentes razas y los grupos raciales a los que pertenecen. En este catálogo se pueden observar el rango de altitud, el tipo de clima y duración promedio del ciclo de vida de cada una de las 25 razas



recomendadas. En la figura 3 se observa esta interfaz, donde se puede ver el grupo racial Dentados Tropicales y las razas Celaya y Tepecintle pertenecientes a este grupo.

Inicio Información Razas de Maíz Iniciar Sesión Registrarse

## Catálogo de Maíces Nativos

### Dentados Tropicales

Las razas que incluye se cultivan principalmente en zonas bajas e intermedias de trópico húmedo y seco. Las razas de este grupo se caracterizan "por plantas de altura entre 250 y 320 cm, de 85 a 105 días a floración, 20 a 25 hojas por planta, y muchas ramas de espiga (20 a 35). Las mazorcas son medianas a largas (12 a 20 cm), cilíndricas, con 12 a 16 hileras de granos profundamente dentados y con endospermo que va de suave a medio duro. Las razas de este grupo y sus derivados, son probablemente las más usadas en los programas de mejoramiento genético públicos y privados en el ámbito mundial".  
— (Sánchez 2011)



#### Celaya

**Características:** mazorca cilíndrica y grande de alto número de hileras con grano dentado de color blanco.  
**Altitud:** 1200 – 2100.  
**Clima:** Semicálido a templado.  
**Ciclo:** 9 – 10 meses.

**Uso grano:** Tortilla, elote, atole, botana y harina.  
**Otros:** Forraje y hoja.



#### Tepecintle

**Características:** mazorca cilíndrica con grano dentado y de punta descubierta de color blanco, amarillo y anaranjado.  
**Altitud:** 100 – 1300.  
**Clima:** Cálido y semicálido.  
**Ciclo:** 6 – 8 meses.

**Uso grano:** Tortilla, elote, dulces, atole, y bebida.  
**Otros:** Forraje.

Figura 3. Catálogo de maíces nativos que recomienda el sistema.

### Vista de registro de usuarios

Podemos acceder a esta vista una vez que en la página principal se ha presionado el botón "Registrarse", aquí se debe de introducir la información personal (nombre, apellido, fecha de nacimiento, municipio y localidad de residencia) del usuario que desea utilizar el sistema, además de vincular una dirección de correo electrónico y crear la correspondiente contraseña para el acceso a la aplicación. Para llenar los campos correspondientes a municipio y localidad se utilizó el Servicio Web del Catálogo Único de Claves Geoestadísticas del INEGI, por lo que al seleccionar el municipio automáticamente se llenara el campo localidad con el listado correspondiente al municipio seleccionado. La figura 4 muestra el formulario de registro de un usuario.



## Registro Nuevo Usuario

Nombre(s)	Apellido(s)
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Email	
<input type="text"/>	
Contraseña	
<input type="text"/>	
Municipio	Localidad
Selecciona el Municipio	
Fecha de Nacimiento	
dd/mm/aaaa	
<input type="button" value="Registrarse"/>	
<input type="button" value="Regresar"/>	



© 2022-2023 Recomendador de Maíz Nativo

Figura 4. Formulario de registro de nuevo usuario.

### Vista de inicio de sesión

Una vez que se realizó el registro del nuevo usuario, se muestra la vista correspondiente al inicio de sesión (figura 5). En esta página se deben ingresar el correspondiente correo electrónico y contraseña con la cual se registró el usuario.

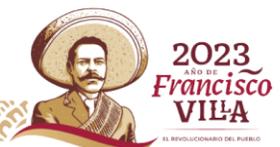
## Iniciar Sesión

Correo Electrónico
<input type="text"/>
Contraseña
<input type="text"/>
<input type="button" value="Iniciar sesión"/>
Sí no tiene una cuenta, favor de registrarse primero. <a href="#">Registrarse</a>
<input type="button" value="Regresar"/>



© 2022-2023 Recomendador de Maíz Nativo

Figura 5. Página de inicio de sesión de usuarios.





### Vista principal del usuario

Una vez iniciada la sesión por el usuario se mostrará la vista principal del usuario (figura 6). En esta página se pueden observar todas las parcelas registradas y recomendaciones del sistema generadas por el usuario. La información de las tablas permanecerá vacía hasta generar el registro de una parcela. En el caso de las recomendaciones primero se debe agregar la parcela, para que el sistema pueda realizar las recomendaciones sobre la misma.

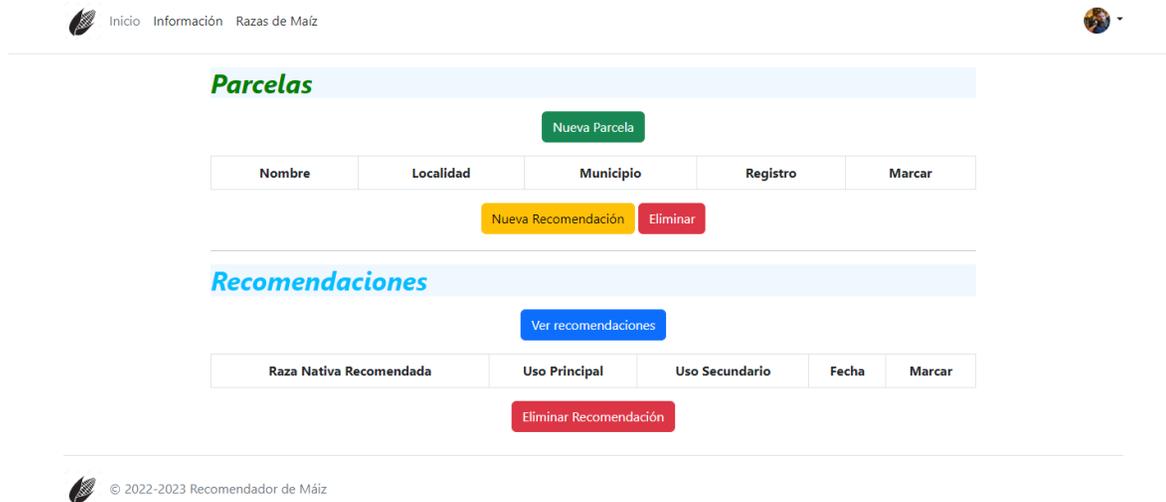


Figura 6. Página principal del usuario.

### Vista para agregar parcelas

El primer paso para generar una recomendación es registrar una parcela en el sistema, esto se hace desde la página principal del usuario, al presionar el botón "Nueva Parcela" el sistema mostrará la vista correspondiente al formulario para agregar una nueva parcela (figura 7). En esta página se debe seleccionar el municipio y la localidad donde se encuentra la parcela del usuario, posteriormente los campos "Latitud", "Longitud", "Altitud" y "Tipo de clima" se llenaran de manera automática, al obtener los datos del Servicio Web del INEGI y de la base de datos. Si se desea se puede mover indicador dentro del mapa proporcionado por Google Maps para obtener con mayor precisión las coordenadas de la ubicación de la parcela, finalmente se deberá asignar un nombre a la misma para su identificación dentro de los registros del usuario y las recomendaciones.





**Agregar Nueva Parcela**

Municipio:  
Xalapa

Localidad:  
Colonia Santa Bárbara

Latitud:  
19.5043556

Longitud:  
-96.8745669

Altitud:  
1261

Tipo de Clima:  
Templado semicaldo húmedo

Nombre de Parcela:  
Invernadero ITSX

Guardar

© 2022-2023 Recomendador de Maíz Nativo

Figura 7. Formulario para agregar una nueva parcela al sistema.

Una vez que se llenan los campos necesarios y se presiona el botón “Guardar” el sistema se redirigirá nuevamente a la página principal del usuario y se podrá observar el registro recién guardado de la parcela (figura 8).

Inicio
 Información
Razas de Maíz

**Parcelas**

Nueva Parcela

Nombre	Localidad	Municipio	Registro	Marcar
Invernadero ITSX	Colonia Santa Bárbara	Xalapa	2023-05-28 18:50:11	<input type="radio"/>

Nueva Recomendación
Eliminar

**Recomendaciones**

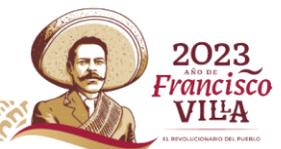
Ver recomendaciones

Raza Nativa Recomendada	Uso Principal	Uso Secundario	Fecha	Marcar

Eliminar Recomendación

© 2022-2023 Recomendador de Maíz

Figura 8. Página principal del usuario con el registro de una parcela.





### Vista para generar una recomendación

Cuando el usuario ya cuenta con uno o más registros de parcelas, el sistema podrá generar las recomendaciones para las mismas. Para hacerlo se debe seleccionar la parcela de la cual se quiere recibir una recomendación por el sistema, y después presionar el botón “Nueva Recomendación” y se mostrará la vista Generar Recomendación (figura 9), en donde se podrá elegir el uso principal y secundario para los que el usuario desea utilizar la producción.



© 2022-2023 Recomendador de Máziz Nativo

Figura 9. Formulario para seleccionar los usos deseados por el usuario.

### Vista de resultados

Después de seleccionar los usos principales y secundarios para los que se desea la producción, el sistema realizará las combinaciones entre las condiciones de la parcela y los usos seleccionados y se mostrarán los resultados en la vista Resultados (figura 10). En esta página se mostrarán todas las posibles variedades que podrían tener mejor desarrollo en la parcela del usuario y que al mismo tiempo cumplan con los usos que el usuario necesita. Los resultados son variables, podría recomendarse una o más variedades, y en algunos casos especiales podría no generarse ninguna recomendación. En el caso de que se recomienden más de una variedad estas aparecerán ordenadas de mayor a menor porcentaje. Por lo que se recomienda seleccionar las que tengan un mayor porcentaje, debido a que se encuentran más centradas al rango de altitud establecido en el sistema. Para guardar la recomendación se debe seleccionar la variedad elegida y presionar el botón “Aceptar”.





### Resultados

Raza Nativa	Nombre	Porcentaje	Seleccionar
	Ancho	<div style="width: 56.98%; background-color: #28a745; height: 10px; margin: 0 auto;"></div> 56.98%	<input type="radio"/>

[Aceptar](#)

© 2022-2023 Recomendador de Maíz Nativo

Figura 10. Página de resultados recomendados por el sistema.

Una vez que se guarda la variedad que seleccionó el usuario, el sistema nos redirige a la página principal del usuario, en donde al seleccionar la parcela a la que se generó la recomendación y presionar el botón “ver recomendaciones” se podrá observar la recomendación recién guardada. La parcela puede recibir múltiples recomendaciones dependiendo los usos que desee el usuario. Cualquier parcela o recomendación se puede eliminar del registro presionando los botones correspondientes a “Eliminar” y “Eliminar Recomendación”.

Inicio Información Razas de Maíz

### Parcelas

[Nueva Parcela](#)

Nombre	Localidad	Municipio	Registro	Marcar
Invernadero ITSX	Colonia Santa Bárbara	Xalapa	2023-05-28 18:50:11	<input checked="" type="radio"/>

[Nueva Recomendación](#)
[Eliminar](#)

### Recomendaciones

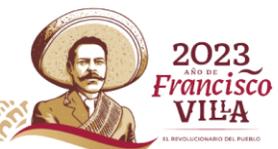
[Ver recomendaciones](#)

Raza Nativa Recomendada	Uso Principal	Uso Secundario	Fecha	Marcar
Ancho	Pozole y Sopas	Forraje	2023-05-28 19:00:40	<input type="radio"/>

[Eliminar Recomendación](#)

© 2022-2023 Recomendador de Maíz

Figura 11. Página principal del usuario con la recomendación seleccionada y registrada por el usuario.





## Conclusiones

Después de realizar este experimento se pudo comprobar que no hubo ninguna diferencia significativa entre las variables evaluadas durante el desarrollo de la planta, sin embargo, en el desarrollo de la mazorca si hubo diferencia entre estas, aunque debido a que la raza Cacahuacintle no proporcionó el producto suficiente para realizar el análisis estadístico de las diferencias en relación a las variables que se tenían consideradas (longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos) para observar la diferencia entre las razas Palomero Toluqueño y Cacahuacintle. Si bien faltó comparar estas razas que no fueron las recomendadas con alguna raza que si fuera recomendada para el lugar donde se llevó a cabo el experimento. Se puede concluir que la raza Cacahuacintle no tuvo un adecuado desarrollo de la mazorca debido a los factores climáticos que se presentaron durante el ciclo del cultivo, y a los cuales no son los mismo en los que regularmente se siembra (Climas templados y fríos). Sin embargo, la raza palomero si tuvo un mejor desarrollo de crecimiento de la planta y desarrollo de la mazorca (figura 4.13), y al igual que la raza Cacahuacintle, por lo general esta raza se cultiva en climas mas fríos, por lo que la hipótesis de que estas razas no tendrían un buen desarrollo en la parcela utilizada, solo aplicó para la raza Cacahuacintle, por lo que otro factor que puso hacer esto posible son las nutrientes y minerales con los que cuenta el suelo. Otra posible causa fue la pudrición del tallo después de la floración, una enfermedad que provoca que las plantas presentan solo rudimentos de mazorcas con granos contraídos y mal desarrollados.



Figura 12. Mazorcas de maíz nativo Palomero Toluqueño.

El diseño y desarrollo de un sistema recomendador de maíces nativos para ayudar a los usuarios a seleccionar la(s) variedad(es) de semilla que cumplan con los propósitos de la producción permitió observar la falta de información respecto a este grano en México, donde los recursos necesarios para la investigación de los maíces nativos no ha sido prioridad para el gobierno, a pesar del amplio "interés" que muestran por la conservación de los mismos. Permitiéndole el control principalmente a empresas transnacionales que solo trabajan bajo un interés económico, aprovechando los recursos genéticos conservados por los agricultores tradicionales de nuestro país y sin regresar ningún beneficio para estos, y ocasionando problemas como la erosión del suelo y la contaminación del agua debido al uso de agrotóxicos, además de reducir la biodiversidad causando una erosión genética que no cumplirá con la necesidad de hacer frente al cambio climático. Por lo que se necesita mantener, sembrar y usar las semillas nativas de maíz para que estas puedan seguir evolucionando ante los cambios climáticos y logren la adaptación



a estos nuevos factores durante el ciclo de vida del cultivo (mayor y menor temperatura, cambios en la época de lluvias, etc.).

Si bien se logró alcanzar el objetivo de la investigación al realizar un sistema recomendador de semillas de maíces nativos mediante la implementación de un sistema basado en reglas respecto a factores climáticos y socioculturales. La evaluación del sistema obtuvo 70%, en base a los casos de pruebas utilizados, aunque se limitó a la poca información disponible, por lo que aún no se pueden garantizar las recomendaciones generadas por el sistema en la realidad. Debido a los múltiples factores que dependientes para el desarrollo del maíz, como el manejo y cuidado al que está acostumbrado y que es diferente en cada region. Se necesita establecer bancos y casas comunitarias de semillas además de realizar más investigaciones bajo el mismo tema y los mismos objetivos en base a las necesidades de las diferentes regiones, para complementar el funcionamiento del sistema y así establecer que razas de maíz son las más adecuadas para cada región, basada en los factores climáticos, agronómicos, biológicos y socioculturales.

## Referencias Bibliográficas

- Arooj, A., Riaz, M., & Akram, M. N. (2018). Evaluation of predictive data mining algorithms in soil data classification for optimized crop recommendation. *2018 International Conference on Advancements in Computational Sciences (ICACS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icacs.2018.8333275>
- Barbosa, A., Trevisan, R., Hovakimyan, N., & Martin, N. F. (2020). Modeling yield response to crop management using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105197. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105197>
- Bhanumathi, S., Vineeth, M., & Rohit, N. (2019). Crop Yield Prediction and Efficient use of Fertilizers. *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 769–773. <https://doi.org/10.1109/iccsp.2019.8698087>
- Castro, P. J. M., Caliwag, J. A., Pagaduan, R. A., Arpia, J. M., & Delmita, G. I. (2019). A Mobile Application for Organic Farming Assistance Techniques using Time-Series Algorithm. *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Information Science and Systems*, 120–124. <https://doi.org/10.1145/3322645.3322697>
- Deepa, N., & Ganesan, K. (2018). Hybrid rough fuzzy soft classifier based multi-class classification model for agriculture crop selection. *Soft Computing*, 23(21), 10793–10809. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3633-8>
- Kale, S. S., & Patil, P. S. (2019). A Machine Learning Approach to Predict Crop Yield and Success Rate. *2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/punecon46936.2019.9105741>
- Katarya, R., Raturi, A., Mehndiratta, A., & Thapper, A. (2020). Impact of Machine Learning Techniques in Precision Agriculture. *2020 3rd International Conference on Emerging Technologies in Computer Engineering: Machine Learning and Internet of Things (ICETCE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icetce48199.2020.9091741>
- Kuanr, M., Rath, B., & Mohanty, S. (2018). Crop Recommender System for the Farmers using Mamdani Fuzzy Inference Model. *International Journal of Engineering & Technology*, 277–280. [https://drsachinandan.com/publication/17%20ACFrOgCg2usVBT5ead-RpoQJQHsAQX7LHUGqa7iMosdjK8w57PjbcCPAgnBJ2HhQWySWxiGUZelavy9NHwieXuDCK2NjsmFAoOLbFd1fre9jef\\_DWF3Dv6\\_Y9obDbh8RWasHvHBJvhz2mpTRIKr.pdf](https://drsachinandan.com/publication/17%20ACFrOgCg2usVBT5ead-RpoQJQHsAQX7LHUGqa7iMosdjK8w57PjbcCPAgnBJ2HhQWySWxiGUZelavy9NHwieXuDCK2NjsmFAoOLbFd1fre9jef_DWF3Dv6_Y9obDbh8RWasHvHBJvhz2mpTRIKr.pdf)
- Kulkarni, N. H., Srinivasan, G. N., Sagar, B. M., & Cauvery, N. K. (2018). Improving Crop Productivity Through A Crop Recommendation System Using Ensembling Technique. *2018 3rd International*





*Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, 114–119. <https://doi.org/10.1109/csitss.2018.8768790>

Meeradevi, Sanjana, V., & Mundada, M. R. (2019). Decision Support System to Agronomically Optimize Crop Yield based on Nitrogen and Phosphorus. *2019 4th International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution (CSITSS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/csitss47250.2019.9031054>

Mishra, S., Paygude, P., Chaudhary, S., & Idate, S. (2018). Use of data mining in crop yield prediction. *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, 796–802. <https://doi.org/10.1109/icisc.2018.8398908>

Ngo, V., & Kechadi, M. (2020). Crop Knowledge Discovery Based on Agricultural Big Data Integration. *Proceedings of the 4th International Conference on Machine Learning and Soft Computing*. <https://doi.org/10.1145/3380688>

Pande, S. M., Ramesh, P. K., Anmol, A., Aishwarya, B. R., Rohilla, K., & Shaurya, K. (2021). Crop Recommender System Using Machine Learning Approach. *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 1066–1071. <https://doi.org/10.1109/iccmc51019.2021.9418351>

Prabakaran, G., Vaithyanathan, D., & Ganesan, M. (2018). Fuzzy decision support system for improving the crop productivity and efficient use of fertilizers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.030>

Pudumalar, S., Ramanujam, E., Rajashree, R. H., Kavya, C., Kiruthika, T., & Nisha, J. (2017). Crop recommendation system for precision agriculture. *2016 Eighth International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, 32–36. <https://doi.org/10.1109/icoac.2017.7951740>

Rajeswari, A., Anushiya, A., Fathima, K. A., Priya, S., & Mathumithaa, N. (2020). Fuzzy Decision Support System for Recommendation of Crop Cultivation based on Soil Type. *2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (48184)*, 768–773. <https://doi.org/10.1109/icoei48184.2020.9142899>

Reshma, R., Sathiyavathi, V., Sindhu, T., Selvakumar, K., & SaiRamesh, L. (2020). IoT based Classification Techniques for Soil Content Analysis and Crop Yield Prediction. *2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 156–160. <https://doi.org/10.1109/i-smac49090.2020.9243600>

Rizaldi, T., Putranto, H. A., Riskiawan, H. Y., Setyohadi, D. P. S., & Riaviandy, J. (2019). Decision Support System for Land Selection to Increase Crops Productivity in Jember Regency Use Learning Vector Quantization (LVQ). *2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)*, 82–85. <https://doi.org/10.1109/icomitee.2019.8921033>

Sakthi, U., & Rose, J. D. (2020). Smart Agricultural Knowledge Discovery System using IoT Technology and Fog Computing. *2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 48–53. <https://doi.org/10.1109/icssit48917.2020.9214102>

Shirsath, R., Khadke, N., More, D., Patil, P., & Patil, H. (2017). Agriculture decision support system using data mining. *2017 International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/i2c2.2017.8321888>

Shu, K. (2020). Prediction of Soybean Yield using Self-normalizing Neural Networks. *Proceedings of the 2020 5th International Conference on Machine Learning Technologies*, 51–55. <https://doi.org/10.1145/3409073.3409092>

Shylaja, S. N., & Veena, M. B. (2017). Real-time monitoring of soil nutrient analysis using WSN. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, 3059–3062. <https://doi.org/10.1109/icecds.2017.8390018>

Tobing, D. M. L., Kurniasih, J., Tetik, Y. N., & Kusriani. (2019). The Prototype of Decision Support System For Selecting The Lands of Crops. *2019 4th International Conference on Information Technology,*





*Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, 276–280.  
<https://doi.org/10.1109/icitisee48480.2019.9003836>

Uddin, M., & Hassan, M. R. (2022). A novel feature based algorithm for soil type classification. *Complex & Intelligent Systems*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s40747-022-00682-0>

Varsha, A., Midhuna, V., & Rilty, R. (2020). Agrotech: Soil Classification and Crop Recommendation. *Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 202–205. [https://www.ijresm.com/Vol.3\\_2020/Vol3\\_Iss6\\_June20/IJRESM\\_V3\\_I6\\_54.pdf](https://www.ijresm.com/Vol.3_2020/Vol3_Iss6_June20/IJRESM_V3_I6_54.pdf)

Vigneswaran, E. E., & Selvaganesh, M. (2020). Decision Support System for Crop Rotation Using Machine Learning. *2020 Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, 925–930. <https://doi.org/10.1109/icisc47916.2020.9171120>

