



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Culiacán

Nombre de la investigación:

“OPTIMIZACIÓN DEL USO EFICIENTE DEL AGUA EN CULTIVOS DE MAÍZ EN
SINALOA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL”

Tópicos de Inteligencia Artificial

Profesor:

Mora Felix Zuriel Dathan

Integrantes:

Corrales Cabanillas Eleazar

Trujillo Acosta Bryant

[Repositorio](#)

Índice

1. Introducción	3
2. Objetivo General	4
2.1 Objetivos Específicos	4
3. Justificación	5
4. Alcance	6
5. Desarrollo	7
5.1 Descripción del Problema Ambiental Abordado	7
5.2 Análisis de las Soluciones Actuales de IA y su Efectividad	8
5.3 Nueva Propuesta o Mejora con IA	9
5.3.1 Definición de Variables del Sistema	10
5.3.2 Construcción del Dataset	10
5.3.3 Preprocesamiento y Preparación de Datos	11
5.3.3.1 Limpieza de Datos	11
5.3.3.2 Transformación de Variables	12
5.3.4 División del Dataset y Validación	12
5.3.5 Entrenamiento del Modelo	12
5.3.6 Evaluación del Modelo	13
5.3.10 Implementación Futura	13
5.4 Impacto Potencial de esta Solución en el Medio Ambiente	14
6. Agenda (Plan de Trabajo o Cronograma)	15
7. Conclusiones	16
Referencias	17

1. Introducción

Hoy en día, Sinaloa atraviesa una situación crítica en cuanto a disponibilidad de agua. La disminución constante en los niveles de agua de las presas, las altas temperaturas y la falta de lluvias han generado un panorama preocupante para el sector agrícola, que depende en gran medida del riego. Esta problemática no es solo ambiental, sino también económica y social, ya que el campo sinaloense es uno de los principales motores productivos del estado.

El cultivo de maíz, uno de los más importantes en Sinaloa, es también uno de los que más demanda agua. Para producir una hectárea de maíz se requieren miles de metros cúbicos de agua durante el ciclo agrícola. En un contexto donde el recurso es cada vez más limitado (En todo el mundo), continuar utilizando esquemas tradicionales de riego representa un riesgo tanto para la producción como para la sostenibilidad del agua a largo plazo.

Además de la sequía y el cambio climático, existe otro problema importante: la forma en que se utiliza el agua en el campo. En muchos casos, el riego se realiza por inundación o calendario fijo, sin considerar datos reales como la humedad del suelo, la etapa de crecimiento del cultivo o el pronóstico del clima. Esto provoca que en algunas parcelas se aplique más agua de la necesaria, generando desperdicio de hasta el 70% en algunos casos, mayor gasto energético y afectaciones al suelo. (Castro, 2024)

A través de la inteligencia artificial se pueden desarrollar modelos que analicen las condiciones actuales del cultivo, como la humedad del suelo y el estado de crecimiento del maíz, junto con su comportamiento histórico en cada etapa de desarrollo. Con esta información, es posible determinar con mayor precisión cuándo y cuánto regar, ajustando la cantidad de agua según lo que realmente necesita la planta. De esta manera, las decisiones dejan de basarse en suposiciones o en prácticas tradicionales y pasan a fundamentarse en datos concretos, reduciendo el desperdicio de agua y evitando errores que pueden afectar tanto la producción como la disponibilidad del recurso.

La siguiente investigación propone el diseño de una solución tecnológica basada en IA que permita mejorar la eficiencia del riego. La finalidad es contribuir a la reducción del desperdicio hídrico, fortalecer la sostenibilidad agrícola y ofrecer una alternativa innovadora frente a la crisis actual de escasez de agua en el estado.

2. Objetivo General

- Desarrollar una investigación acerca de cómo mediante la aplicación de un modelo de aprendizaje automático tipo Random Forest, se podría optimizar el uso del agua en el cultivo de maíz en Sinaloa, con el fin de contribuir a una gestión más eficiente del riego y a la reducción del desperdicio hídrico en el contexto de la actual problemática de escasez de agua en el estado.

2.1 Objetivos Específicos

- **Analizar los factores climáticos, del suelo y de manejo del cultivo** que influyen en la cantidad de agua que necesita el maíz en el estado de Sinaloa.
- **Plantear un modelo basado en Random Forest** que permita estimar cuánta agua necesita el maíz según las condiciones del entorno y del cultivo.
- **Evaluar la precisión del modelo propuesto**, analizando qué tan confiables son sus estimaciones.
- **Proponer propuestas basadas en los resultados obtenidos**, que contribuyan a una mejor administración del recurso hídrico en la agricultura sinaloense.

3. Justificación

La presente investigación surge a partir de una problemática real y urgente que enfrenta el estado de Sinaloa: la crisis hídrica. En los últimos años, la disminución en los niveles de las presas ha dejado de ser una advertencia para convertirse en una situación crítica. A finales de 2024 y principios de 2025, los niveles de almacenamiento se ubicaron por debajo del 19%, y las proyecciones climáticas asociadas a fenómenos como “La niña” anticipan la prolongación de la sequía. Este escenario representa uno de los periodos más severos de escasez de agua en las últimas décadas. Aunque en años como 2025, se ha notado un incremento en la captación de agua en las presas esto no ha podido cambiar el futuro cercano que se avecina en el sector agrícola.

El impacto de esta situación afecta directamente al sector agrícola, particularmente al cultivo de maíz, que es uno de los principales motores económicos del estado y uno de los cultivos más demandantes de agua. De las aproximadamente 500 mil hectáreas que tradicionalmente se siembran, solo una fracción ha podido establecerse debido a la limitada disponibilidad del recurso hídrico. Esto no solo compromete la producción, sino también la estabilidad económica de miles de familias que dependen del campo.

Sin embargo, el problema no radica únicamente en la falta de lluvia, sino también en la forma en que se gestiona el agua disponible. Diversos estudios académicos señalan que en muchos sistemas de riego tradicionales (Riego por inundación) se pierde una cantidad considerable de agua debido a prácticas poco eficientes. Esto evidencia la necesidad de modernizar los métodos de riego y de aprovechar mejor la información disponible para tomar decisiones más precisas.

En este contexto, la inteligencia artificial representa una alternativa viable para analizar datos climáticos y agrícolas, identificar patrones y estimar de manera más adecuada las necesidades hídricas del cultivo. Esta investigación propone analizar el potencial de un modelo Random Forest como herramienta para estimar el consumo óptimo de agua en el maíz, con el objetivo de contribuir a una gestión más eficiente del recurso.

En un contexto de cambio climático y creciente presión sobre los recursos naturales, resulta indispensable que la agricultura sinaloense evolucione hacia modelos más responsables orientados hacia la agricultura de precisión.

4. Alcance

El presente proyecto de investigación se desarrolla geográficamente en el estado de Sinaloa, con énfasis en las zonas agrícolas dedicadas al cultivo de maíz, donde la superficie sembrada ha disminuido considerablemente debido a la escasez de agua.

La investigación contempla el análisis del contexto actual del riego agrícola en el estado y la elaboración de una propuesta basada en Inteligencia Artificial como herramienta para mejorar el uso del agua en la producción de maíz. De manera específica, se plantea el diseño conceptual de un sistema apoyado en un modelo Random Forest, orientado a estimar de forma más precisa los requerimientos de agua del cultivo en sus distintas etapas de desarrollo.

La propuesta se enfoca en su posible integración con sistemas monitoreo y de riego actuales, los cuales se han empezado a adoptar por algunos productores del valle sinaloense, reduciendo pérdidas por exceso o desperdicio. A través del uso de tecnologías digitales, se busca contribuir a disminuir el desperdicio actual de agua en las parcelas y fomentar una gestión más eficiente del recurso.

En conjunto, el alcance de esta investigación se orienta a proponer una alternativa tecnológica viable, enfocada en la optimización del agua a nivel de parcela, con la intención de aportar fundamentos que puedan apoyar futuras aplicaciones prácticas en el sector agrícola sinaloense.

5. Desarrollo

5.1 Descripción del Problema Ambiental Abordado

El problema ambiental en el que se centra este proyecto es la escasez extrema y el uso ineficiente del agua en el sector agrícola de Sinaloa, particularmente en el cultivo de maíz. Actualmente, el estado enfrenta una crisis hídrica significativa. La disminución en los niveles de almacenamiento de las presas ha sido alarmante, ubicándose por debajo del 20% de su capacidad hacia finales de 2024 y principios del 2025. Además, las condiciones climáticas asociadas al fenómeno de La Niña han prolongado la sequía, configurando uno de los periodos más críticos de las últimas décadas.

Esta situación ha impactado directamente la producción agrícola. Tradicionalmente, en Sinaloa se sembraban alrededor de 500 mil hectáreas de maíz; sin embargo, ante la falta de agua, la superficie cultivada se redujo considerablemente en el ciclo reciente a un número aproximado de 270,000 hectáreas esto según Roberto Bazua Campaña, líder del AARC (Asociación de Agricultores del Río de Culiacán). El maíz es un cultivo que demanda grandes cantidades de agua, por lo que la escasez no solo limita la siembra, sino que también pone en riesgo el desarrollo adecuado de las plantas.

No obstante, el problema ambiental no se explica únicamente por la falta de lluvias. Una parte importante radica en la forma en que se utiliza el agua disponible en las parcelas. Diversos especialistas han señalado que, bajo métodos tradicionales de riego, puede desperdiciarse entre el 50% y el 70% del agua debido a prácticas poco precisas en su aplicación. En muchos casos, el agua se desborda hacia los drenes por falta de supervisión constante o por esquemas de distribución que no consideran el volumen exacto requerido por el cultivo.

A esto se suma un factor administrativo: el cobro del agua por hectárea sembrada y no por volumen real consumido, lo que reduce los incentivos para promover una cultura de ahorro. Como resultado, el recurso hídrico se utiliza sin un control exacto, generando pérdidas significativas en un contexto donde cada metro cúbico es crucial.

En conjunto, el problema ambiental abordado por esta investigación se centra en cómo enfrentar el alto nivel de desperdicio de agua en las parcelas de maíz dentro de un escenario de sequía histórica. La necesidad no es solo producir más, sino utilizar de manera más responsable y precisa el recurso disponible, buscando alternativas tecnológicas que permitan avanzar hacia una gestión más eficiente y sostenible del agua en la agricultura sinaloense.

5.2 Análisis de las Soluciones Actuales de IA y su Efectividad

El estado de Sinaloa atraviesa una crisis hídrica que afecta directamente al cultivo de maíz. Frente a este problema, se han empezado a aplicar diferentes soluciones basadas en Inteligencia Artificial (IA), tanto en México como en otros países, con el objetivo de aprovechar mejor el agua en la agricultura. A continuación presento un análisis de las principales soluciones y qué tan efectivas han sido.

Sistemas de riego inteligente con sensores y modelos predictivos

Una de las aplicaciones más comunes de la IA en el campo es el riego inteligente. Estos sistemas utilizan:

- Sensores de humedad en el suelo
- Sensores de clima (temperatura, radiación solar, humedad)
- Estaciones meteorológicas
- Algoritmos que procesan los datos en tiempo real

Con esta información, los sistemas calculan la cantidad exacta de agua que necesita el cultivo y el momento ideal para aplicarla.

En estudios realizados en otros países, se ha logrado ahorrar entre 20% y 40% de agua en comparación con los métodos tradicionales. En cultivos como el maíz, que requieren bastante agua, esto significa un uso mucho más eficiente. Sin embargo, para que funcionen bien se necesita calibrar los sensores, contar con buena conectividad en zonas rurales y capacitar a los productores. En Sinaloa, donde todavía predominan las prácticas tradicionales, la adopción de esta tecnología es un reto.

Agricultura de precisión con imágenes satelitales y drones

Otra solución es el uso de imágenes satelitales y drones combinados con IA. Con visión por computadora se puede:

- Detectar estrés hídrico en las plantas
- Identificar zonas con falta de humedad
- Generar mapas de variabilidad dentro de la parcela

Esto permite aplicar riego solo en las áreas que lo necesitan, evitando desperdicios.

La agricultura de precisión puede mejorar la eficiencia del agua hasta en un 30% y aumentar el rendimiento del cultivo. El problema es que requiere inversión en equipos y software, lo que limita su adopción por pequeños y medianos productores.

Modelos predictivos climáticos con IA

La IA también se usa para analizar datos históricos de clima y generar predicciones más precisas sobre sequías, lluvias y cambios estacionales. Esto es clave en fenómenos como La Niña, que afectan directamente la disponibilidad de agua.

Estos modelos ayudan a planear mejor los ciclos de siembra y anticipar escenarios de escasez. Aunque no reducen el consumo de agua de manera directa, sí apoyan en la toma de decisiones estratégicas a nivel

regional. La limitación principal es que requieren bases de datos completas y actualizadas, además de coordinación entre instituciones.

4. Sistemas automatizados de control de válvulas y caudales

Existen sistemas que integran IA con dispositivos IoT para controlar válvulas, bombas y caudales de agua. Estos sistemas miden el volumen real aplicado y lo ajustan dinámicamente según las necesidades del cultivo.

A diferencia del esquema tradicional de cobro por hectárea sembrada, estos sistemas permiten gestionar el agua por volumen real consumido, fomentando un uso más responsable. En lugares donde se ha implementado, se ha visto una reducción importante en el desperdicio y mayor transparencia en la distribución del recurso.

Las soluciones de IA en la agricultura han demostrado que pueden:

- Reducir el desperdicio de agua
- Mejorar la eficiencia del riego
- Incrementar la productividad
- Optimizar la toma de decisiones

Pero en Sinaloa todavía hay obstáculos importantes:

1. Los costos iniciales de implementación
2. La brecha tecnológica en el campo
3. La falta de incentivos económicos para medir el consumo real
4. La resistencia al cambio en prácticas tradicionales

Las soluciones de IA son herramientas viables para enfrentar la crisis hídrica en el cultivo de maíz. Sin embargo, su efectividad depende no solo de la tecnología, sino también de factores económicos, sociales y administrativos. Para que tengan un impacto real en Sinaloa, es necesario integrarlas dentro de una estrategia regional que combine innovación tecnológica, capacitación a los agricultores y cambios en la gestión del agua.

5.3 Nueva Propuesta o Mejora con IA

La problemática identificada consiste en la aplicación ineficiente del recurso hídrico en sistemas agrícolas, derivada principalmente de decisiones de riego basadas en calendarios fijos o en la experiencia empírica del productor. Esta práctica puede generar tanto déficit hídrico como sobreirrigación, afectando el rendimiento del cultivo y la sostenibilidad del recurso.

Desde el punto de vista técnico, el problema puede formularse como una tarea de aprendizaje supervisado, cuyo objetivo es modelar la relación entre un conjunto de variables ambientales y agronómicas las cuales pasarían a ser nuestras variables independientes y una variable numérica continua dependiente, definida como:

Volumen óptimo de agua a aplicar en un evento de riego (m³ por hectárea).

El modelo debe aprender patrones históricos que permitan estimar, dadas ciertas condiciones actuales del cultivo y del entorno, la cantidad adecuada de agua necesaria para mantener un balance hídrico óptimo.

5.3.1 Definición de Variables del Sistema

Variables necesarias para el entrenamiento del modelo:

Las variables seleccionadas responden a criterios de agricultura relacionados con la necesidad hídrica del cultivo de maíz:

1. Humedad del suelo (%): indicador directo del contenido de agua disponible para la planta.
2. Temperatura del suelo : influye en la evaporación y absorción radicular.
3. Temperatura ambiente : relacionada con la evaporación del agua.
4. Etapa fenológica del cultivo: determina la demanda hídrica específica de su etapa.
5. Días transcurridos desde el último riego: variable temporal relevante.
6. Tipo de suelo: condiciona capacidad de retención de agua.
7. Agua Aplicada: Cantidad de agua aplicada en el ultimo riego.

Variable Objetivo

- Volumen de agua aplicado (m³/ha) que haya generado condiciones óptimas de desarrollo.

5.3.2 Construcción del Dataset

El modelo requiere un dataset estructurado compuesto por registros históricos representativos del comportamiento real del sistema agrícola.

Cada observación del dataset corresponderá a un evento de medición con la siguiente estructura:

| Humedad | Temp. Suelo | Temp. Ambiente | Etapa | Días sin riego | Tipo suelo | Agua aplicada |

El rendimiento del modelo va depender directamente de la calidad de los datos con los que el modelo sea entrenado, se recomienda que el dataset abarque múltiples ciclos agrícolas para mejorar la precisión del modelo.

- Cantidad suficiente de registros.
- Diversidad de condiciones climáticas.
- Representatividad de distintas etapas fenológicas.
- Precisión de los sensores.

5.3.3 Preprocesamiento y Preparación de Datos

Antes del entrenamiento, se realiza una fase crítica de preparación del dataset.

5.3.3.1 Limpieza de Datos

- Eliminación de registros duplicados.
- Detección de valores físicamente imposibles.
- Imputación de valores faltantes mediante:

La preparación de los datos es una fase vital debido a que los datos agrícolas no suelen ser de la mejor calidad semánticamente hablando, por ello una buena preparación de los datos va a determinar el rendimiento de nuestro modelo.

5.3.3.2 Transformación de Variables

- **One-Hot Encoding** para la codificación de variables categóricas como el tipo de suelo y la etapa en la que se encuentra el cultivo. Esto es vital ya que el modelo se alimenta de variables numéricas para su entrenamiento, por ello se deben convertir de categoría a número.

5.3.4 División del Dataset y Validación

Para evaluar el desempeño real del modelo:

- 80% del dataset se destina a entrenamiento.
- 20% se reserva para pruebas.

5.3.5 Entrenamiento del Modelo

El entrenamiento del modelo constituye una de las fases más importantes de la propuesta, ya que es el proceso mediante el cual el algoritmo aprende la relación existente entre las condiciones del cultivo y el volumen óptimo de agua requerido.

En esta etapa, el modelo de Random Forest analiza los datos históricos previamente preparados y comienza a construir múltiples árboles de decisión. Cada árbol se genera a partir de subconjuntos aleatorios del dataset, lo que permite que el modelo no dependa únicamente de un único patrón, sino que aprenda diferentes perspectivas del comportamiento del sistema hídrico.

De manera natural, el modelo intenta encontrar reglas como por ejemplo:

- Si la humedad del suelo es baja y la temperatura es alta, entonces se requiere mayor volumen de agua.
- Si el cultivo se encuentra en etapa de floración, la demanda hídrica aumenta.
- Si ha habido precipitación reciente, la cantidad de riego necesaria disminuye.

Un entrenamiento bien realizado garantiza que el modelo no solo funcione correctamente con los datos históricos, sino que también sea capaz de predecir de forma confiable bajo nuevas condiciones climáticas o variaciones en el cultivo.

5.3.6 Evaluación del Modelo

Para verificar que el modelo funciona correctamente, se evalúa utilizando datos que no fueron usados durante el entrenamiento. Esto permite comprobar si realmente puede hacer buenas predicciones en situaciones nuevas y no solo memorizar los datos históricos.

La precisión se podría medir bajo 3 métricas principales en la evaluación de modelos de aprendizaje supervisado:

- **MAE (Error Absoluto Medio):** indica cuánto se equivoca el modelo en promedio al predecir el volumen de agua.
- **RMSE:** permite identificar si existen errores grandes en las predicciones.
- **R²:** muestra qué tan bien el modelo logra explicar el comportamiento del riego.

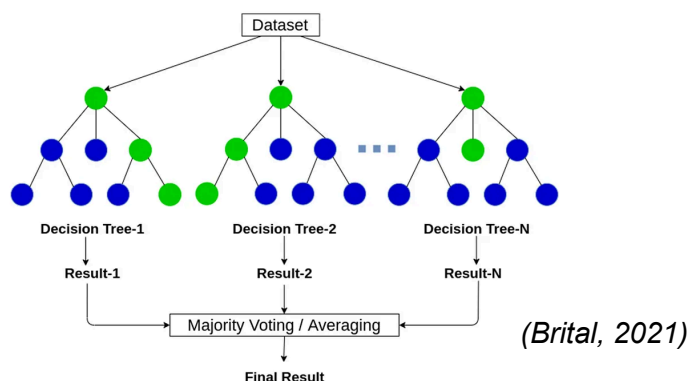
Además, puede realizarse una validación práctica comparando las recomendaciones del modelo con consultores expertos y de los mismos productores para recibir retroalimentación de los resultados.

5.3.10 Implementación Futura

Una vez validado el modelo, puede integrarse en una arquitectura funcional común utilizada por algunos productores de maíz de la región:

1. Sensores capturan datos en tiempo real.
2. Los datos se envían a un servidor o plataforma.
3. Se ejecuta el modelo entrenado.
4. Se genera predicción del volumen óptimo.
5. Se presenta recomendación al usuario acerca del riego óptimo.

Random Forest



5.4 Impacto Potencial de esta Solución en el Medio Ambiente

La implementación de un modelo predictivo basado en Random Forest para la optimización del riego tiene un impacto ambiental potencial significativo, especialmente en contextos como el de Sinaloa donde el uso del agua representa uno de los principales desafíos para la sostenibilidad agrícola.

En primer lugar, el impacto más directo se relaciona con la reducción del desperdicio de agua. Al predecir el volumen óptimo de riego en función de variables como humedad del suelo, temperatura y etapa fenológica del cultivo, se evita la sobre irrigación, una práctica común en esquemas tradicionales basados en calendarios fijos. Esto contribuye a un uso más eficiente del recurso hídrico y a la conservación de fuentes de agua superficiales y subterráneas.

En segundo lugar, la optimización del riego ayuda a prevenir problemas ambientales asociados al exceso de agua, tales como:

- Reducción de nutrientes del suelo.
- Erosión del suelo.
- Salinización en determinadas condiciones.

Al aplicar únicamente el volumen necesario, se reduce el arrastre de fertilizantes y agroquímicos hacia mantos freáticos, disminuyendo el riesgo de contaminación hídrica (Responsable del Sargazo).

Asimismo, la solución promueve una gestión agrícola basada en datos, lo que fortalece la toma de decisiones sostenibles y fomenta prácticas de agricultura inteligente. Este enfoque permite adaptarse mejor a condiciones climáticas variables, contribuyendo a una mayor resiliencia ante escenarios de cambio climático.

Finalmente, desde una perspectiva de sostenibilidad, la implementación de modelos predictivos no solo mejora la eficiencia productiva, sino que también favorece un equilibrio entre rendimiento agrícola y conservación ambiental. La combinación de tecnología e inteligencia artificial aplicada al riego representa una herramienta estratégica para avanzar hacia sistemas agrícolas más responsables con el entorno.

6. Agenda (Plan de Trabajo o Cronograma)

El desarrollo del presente proyecto de investigación se propone en un periodo estimado de 12 semanas, distribuidas en fases organizadas de manera secuencial para garantizar un proceso estructurado.

Fase	Periodo	Objetivos y Actividades
1. Investigación y Fundamentación	Semanas 1–2	Revisión de la crisis hídrica en Sinaloa. Análisis de agricultura de precisión. Estudio teórico de Random Forest. Recolección de variables agronómicas del maíz.
2. Diseño del Modelo Conceptual	Semanas 3–4	Diseño de la estructura del dataset. Esquema lógico del sistema predictivo. Planteamiento de arquitectura técnica.
3. Construcción del Dataset	Semanas 5–6	Simulación o recopilación de datos históricos. Organización en formato estructurado. Limpieza de datos y eliminación de duplicados.
4. Entrenamiento del Modelo	Semanas 7–8	División del dataset (Train 80% / Test 20%). Implementación de Random Forest. Ajuste de hiper parámetros. Generación de predicciones iniciales.
5. Evaluación y Análisis	Semanas 9–10	Cálculo de métricas, comparación e interpretación de resultados. Análisis de viabilidad en el contexto de Sinaloa.
6. Redacción y Conclusiones	Semanas 11–12	Redacción del documento final. Integración de análisis y resultados. Elaboración de conclusiones y revisión general.

7. Conclusiones

La crisis hídrica que enfrenta el estado de Sinaloa representa uno de los desafíos más importantes para la sostenibilidad del sector agrícola, particularmente en el cultivo de maíz, que constituye un pilar económico fundamental de la región. La disminución en los niveles de almacenamiento de agua y el uso ineficiente del recurso han evidenciado la necesidad urgente de adoptar soluciones tecnológicas que permitan optimizar su aprovechamiento.

A lo largo de esta investigación se analizó el potencial de la Inteligencia Artificial como herramienta estratégica para mejorar la gestión del riego agrícola. En particular, se planteó el uso de un modelo de aprendizaje automático tipo Random Forest como mecanismo para estimar el volumen óptimo de agua requerido según variables climáticas, del suelo y del estado fenológico del cultivo.

El análisis de las soluciones actuales demuestra que la agricultura de precisión y los sistemas de riego inteligente pueden reducir significativamente el desperdicio de agua, mejorar la productividad y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. Sin embargo, su efectividad depende de factores como la disponibilidad de infraestructura tecnológica, la capacitación de los productores y la existencia de incentivos adecuados para promover el uso responsable del recurso.

La propuesta desarrollada en este proyecto no solo contribuye a una mayor eficiencia hídrica, sino que también promueve un enfoque sostenible que equilibra productividad agrícola y conservación ambiental. La implementación futura de modelos predictivos en el riego del maíz podría representar un paso importante hacia una agricultura más resiliente frente al cambio climático y la escasez de agua.

En conclusión, la integración de Inteligencia Artificial en la gestión del riego no debe entenderse únicamente como una innovación tecnológica, sino como una estrategia necesaria para garantizar la sostenibilidad del campo sinaloense en las próximas décadas.

Referencias

Brital, A. (2021, 9 20). *Random Forest Algorithm Explained* .

<https://anasbrital98.github.io/blog/2021/Random-Forest/>

Castro, A. A. (2024, 2 1). DIRECCIÓN GENERAL DE COMUNICACIÓN SOCIAL.

<https://dcs.uas.edu.mx/noticias/8407/recomienda-especialista-cambios-en-tecnicas-de-riego-ante-la-escasez-de-agua-en-las-presas-de-sinaloa-desperdicio-en-parcelas-alcanza-hasta-el-70>

Cruz Delgado, D., & Leos Rodriguez, J. A. (2019). *La producción de maíz en Sinaloa, México, y sus implicaciones para el medio ambiente/*. Letras verdes.

<https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/3705>

Hernandez Salazar, C. A., González Estrada, O. A., & Silva, G. G. (2024). *Integración de la inteligencia artificial y la agricultura de precisión en cultivos de café*. HAL.

<https://hal.science/hal-04815497v1>

Inteligencia artificial y agua: soluciones contra el desperdicio hídrico. (2026, February 18). BBVA.

Retrieved February 25, 2026, from

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/inteligencia-artificial-y-gestion-del-agua-soluciones-contr-a-el-desperdicio-hidrico/>

Liakos, K. G. (n.d.). *Machine Learning in Agriculture: A Review*. MDPI. Retrieved February 25, 2026, from <https://doi.org/10.3390/s18082674>

Montoya, L. G., & Armenta Bojorquez, A. D. (2010). *REFLEXIONES SOBRE EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN SINALOA*.

<https://www.redalyc.org/pdf/461/46112896010.pdf>