

Automated Irrigation Systems in Farm Corn Cultivation: A Systematic Review Across a 10-year Period

Anderson N. Perales López, Bachelor¹, Jose M. Leython Lías, Bachelor¹, and Rolando J. Berrú Beltrán, Master¹
¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00122874@upn.pe, n00099811@upn.pe, rolando.berru@upn.edu.pe

Abstract– This research was carried out with the objective of publicizing the use of automated irrigation systems in corn crops for agricultural farms, based on the review of the scientific literature since 2010 and 2020. This work was developed following the steps established by the PRISMA strategy. After conducting a systematic search of the studies published in the previously mentioned period of time, 37 investigations were selected, which were extracted from databases such as: SCIELO, Dialnet, EBSCOhost, among others. To select the papers, search criteria such as IMRD structure, language and study quality were used. The results obtained describe different strategies for the use of automated irrigation systems in corn crops, which can be grouped into 3 categories according to their contributions: the first refers to environmental factors in the crop; the second, to the use of fertilizers; the third refers to irrigation performance. And the second categorization made according to the type of irrigation used we have 4 categories: drip irrigation, sprinkler irrigation, gravity irrigation and finally deficient irrigation. In accordance with the aforementioned, it is concluded that the implementation of automated irrigation systems is notable in corn crops, because they allow managing the water resource required by the crop plants.

Keywords- Automated systems, irrigation, corn crops, agricultural farm.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.20>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Sistemas Automatizados de Riego en el Cultivo de Maíz en Fincas Agrícolas: Una Revisión Sistemática Durante los Últimos 10 Años

Anderson N. Perales López, Bachiller¹, Jose M. Leython Lías, Bachiller¹, y Rolando J. Berrú Beltrán, Magister¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00122874@upn.pe, n00099811@upn.pe, rolando.berru@upn.edu.pe

Resumen- La presente investigación se realizó con el objetivo de dar a conocer del uso de los sistemas automatizados de riego en cultivos de maíz para fincas agrícolas, tomando como base la revisión de la literatura científica desde los años 2010 y 2020. Este trabajo se elaboró siguiendo los pasos establecidos por la estrategia PRISMA. Luego de realizar una búsqueda sistemática de los estudios publicados en el periodo de tiempo previamente mencionado, se seleccionaron 37 investigaciones, las que extraídas de bases de datos como: SCIELO, Dialnet, EbscoHost, entre otras. Para seleccionar los trabajos se usaron criterios de búsqueda como la estructura IMRD, el idioma y la calidad del estudio. Los resultados obtenidos describen distintas estrategias del uso de sistemas automatizados de riego en cultivos de maíz, las cuales pueden ser agrupadas en 3 categorías según sus aportes: la primera, se refiere a factores ambientales en el cultivo; la segunda, al uso de fertilizantes; la tercera, hace referencia al rendimiento del riego. Y la segunda categorización realizada según el tipo de riego usado tenemos 4 categorías: Riego por goteo, riego por aspersión, riego por gravedad y finalmente riegos deficientes. Acorde con lo mencionado, se concluye que la implementación de los sistemas automatizados de riego es notable en cultivos de maíz, debido a que permiten gestionar el recurso hídrico que requieren las plantas del cultivo.

Palabras claves- Sistemas automatizados, riego, cultivos de maíz, finca agrícola.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la revisión sistemática realizada consistió en mostrar los diferentes enfoques de los sistemas automatizados de riego en el cultivo de maíz en fincas agrícolas, a partir de análisis de investigaciones realizadas a nivel global, de forma que se pueda responder la pregunta planteada ¿Cuáles son los enfoques de los sistemas automatizados de riego en el cultivo de maíz en fincas agrícolas entre los años 2010 y 2020?

Los sistemas automatizados de riego permiten suministrar agua de manera artificial al perfil del suelo, para su posterior utilización por los cultivos. Con estos sistemas es posible determinar la frecuencia de aplicación del agua y la cantidad de esta de acuerdo con la etapa del cultivo [1]. Asimismo, estos sistemas pueden adaptarse a cada tipo de cultivo que se encuentre sembrando el agricultor y también pueda ser alimentado por un sistema basado en energía renovable [2]; inclusive, los sistemas de riego consolidan acciones que buscan aprovecharlo, logrando una gran producción, con el

calentamiento global y la disminución de afluentes hídricos [3].

El maíz es un cultivo de elevado potencial en producción de grano y es altamente sensible a las deficiencias ambientales [4] puesto que, el cultivo de maíz tiene un ciclo que comprende cinco periodos fundamentales que son: nascencia, crecimiento, floración, fructificación y maduración-secado [5]. Por otro lado, los productores dependen económicamente del cultivo del maíz, cuya productividad está limitada por la utilización de una tecnología de altos insumos [6], ya que, frecuentemente en los campos agrícolas siempre existen sobre irrigación causadas porque no se controla el exceso de agua, lo que origina desperdicios de esta. Esta se convierte en el líquido vital para el desarrollo, crecimiento y producción de los cultivos [7].

Un sistema automatizado de riego permite administrar el recurso hídrico para proveer a la planta el líquido necesario [1], y en cuanto al cultivo de maíz, este comprende un ciclo de vida lo cual va requiere de un tiempo de riego en cada una de sus fases de crecimiento [5], a través de esto podemos observar que el cultivo de maíz requiere de una mejor gestión del agua y esto se puede lograr haciendo uso de los sistemas automatizados de riego que son capaces de controlar las necesidades hídricas del maíz a través de los sensores que recolectan los datos que permite tomar las decisiones necesarias para el desarrollo del cultivo.

La revisión de la literatura realizada permitió ver la importancia del cultivo de maíz y cómo este tiene un gran impacto económico por el excesivo uso del agua que esta demanda en su producción, pero a pesar de muchas soluciones propuestas la eficiencia de riego no supera el 40% en el cultivo de maíz y en algunos países, donde los recursos hídricos son cada vez más escasos, constituyen un lujo que no se pueden permitir. Debido a la pérdida del agua por conducción y distribución que tienen algunos sistemas de riego tradicionales, siendo este motivo por el cual es un problema central que quiere solucionar aún en las fincas de cultivo en el maíz.

Además, se buscó definir cómo los sistemas automatizados en la agricultura pueden brindar una mejor gestión del agua al implementar un sistema de riego enfocado al ciclo de vida del maíz, para un riego óptimo, debido a que,

este líquido vital influye en el desarrollo, crecimiento y producción del maíz el cual debe ser manejado eficientemente, aplicando, de forma que las pérdidas innecesarias del líquido esencial para el maíz garanticen las necesidades del cultivo en cada momento.

II. METODOLOGÍA

A. Tipo de estudio

Para esta investigación se realizó una revisión sistemática de la literatura científica basada en la metodología PRISMA (Preferred Reporting, Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [8].

B. Estrategia de búsqueda y criterios de selección

Para la selección se tomaron en cuenta las tesis y artículos extraídos de bases de datos científicas indexadas, aquellos que estuvieran redactados en idioma español e inglés, que cuenten con la estructura IMRD, publicados entre los años 2010 y 2020, que mostraran la implementación de sistemas autónomos de riego en cultivos de maíz en fincas agrícolas.

Al momento de realizar la búsqueda se revisaron bases de datos nacionales e internacionales donde se encuentren artículos y tesis que cumplieran los criterios que se mencionaron anteriormente.

TABLA I
BASE DE DATOS CONSULTADAS

Base de datos consultadas	Link de referencia
Academica-e	https://academica-e.unavarra.es/
Alicia	https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/
Arvix	https://arxiv.org/
Biblioteca Digital Uncuyo	https://bdigital.uncu.edu.ar/
Biblioteca Digital Wilson Popeneo	https://bdigital.zamorano.edu/
Ciencia Unisalle	https://ciencia.lasalle.edu.co/
Consorcio de Bibliotecas	http://www.consorcio.edu.pe/bibliotecas/
DialnetPlus	https://dialnet.unirioja.es/
Digital.CSIC	https://digital.csic.es/
DSpace	https://duraspace.org/dspace/
EBSCOHost	https://search.ebscohost.com
ESPAMMFL	http://www.espam.edu.ec/
REBIOL	https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/index
Redalyc	https://www.redalyc.org/
Repositorio Científico y Tecnológica UPSE	https://repositorio.upse.edu.ec/
Repositorio CitaREA	https://www.cita-aragon.es/
Repositorio de la Universidad	http://sedici.unlp.edu.ar/

de Plata	
Repositorio de la Universidad de Valladolid	https://uvadoc.uva.es/
Repositorio de la Universidad del Altiplano	http://repositorio.unap.edu.pe/
Repositorio de la Universidad Nacional Agraria	http://repositorio.lamolina.edu.pe/
Repositorio de la Universidad San Francisco de Quito	http://repositorio.usfq.edu.ec/
Repositorio de Universidad de Costa Rica	http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/
Repositorio Digital INIFAP	https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content#
Repositorio Ecorfan	http://www.ecorfan.org/
Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana	https://dspace.ups.edu.ec/
Repositorio SENA	https://repositorio.sena.edu.co/
Repositorio Universidad distrital Francisco José de Caldas	http://repository.udistrital.edu.co/
ResearchGate	https://www.researchgate.net/
Repositorio de la Universidad César Vallejo	http://repositorio.ucv.edu.pe/
Repositorio de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	http://repositorio.ucsg.edu.ec/
Repositorio Institucional RIUMA	https://riuma.uma.es/xmlui/
Repositorio Jóvenes de la ciencia	http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia
Repositorio UNITRU	http://dspace.unitru.edu.pe/
Scielo	https://scielo.org/
Semantic Scholar	https://www.semanticscholar.org/

Para asegurar que los estudios encontrados correspondían a la revisión, se aplicó un filtro en las bases de datos consultadas. Como primer filtro se usaron las palabras clave obtenidas a partir de la pregunta de investigación, estas fueron: “sistemas automatizados de riego”, “cultivo de maíz”, “sistema de riego”, “irrigation system”, “riego”, “sistema

automático”, “sistema automatizado”, “automatización”, “agrícola”, “agricultura”, “maíz”, “finca”. También se filtraron las búsquedas por los idiomas español e inglés, se tomó en cuenta que los años de publicación estuvieran entre 2010 y 2020. Se definió como base de datos especializada a CitaREA el cual es un repositorio científico especializado en artículos de revistas enfocadas al desarrollo agrario ubicado en España y como buscador genérico se usó Google Académico.

Para realizar la exclusión de artículos, se descartaron principalmente todos aquellos que no cumplieran con el formato IMRD. Tampoco se tomaron en cuenta los artículos que no se enfocaran completamente en sistemas de riego. Se descartaron también algunos documentos que hayan sido publicados por fuentes que no sean especialistas en el tema. Otra razón que se tomó en cuenta para realizar el descarte fue el impacto científico que tiene los autores en las revistas donde se publicaron, a partir de las publicaciones realizadas se empezó a tomar en cuenta que los sistemas automatizados analizaran también los factores ambientales que pueden afectar de manera negativa al cultivo de maíz. Al finalizar, se excluyeron un total de 8 artículos y 19 tesis.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A. Generalidades

Los resultados obtenidos después de realizar la búsqueda y la selección de los artículos bajo los criterios mencionados se obtuvo un total de 33 artículos y 4 tesis (ver Tabla II).

TABLA II
NÚMERO DE TRABAJOS SELECCIONADOS POR MOTORES DE BÚSQUEDA ESPECIALIZADOS

Base de datos	Nº	Porcentaje	Año de publicación
Academica-e	1	2.7 %	2010
Digital.CSIC	3	8.1 %	2010, 2012 y 2017
Scielo	16	43.2 %	2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2018
Biblioteca Digital Wilson Popeneo	2	5.4 %	2011
Repositorio citaREA	1	2.7 %	2012
EBSCOhost	3	8.1 %	2013, 2014 y 2018
REBIOL	1	2.7 %	2013
Repositorio de la Universidad de Plata	1	2.7 %	2014
Repositorio Ecorfan	1	2.7 %	2014
Repositorio SENA	1	2.7 %	2014
Redalyc	1	2.7 %	2015
Biblioteca Digital Uncuyo	1	2.7 %	2016
Repositorio Científica y Tecnológica UPSE	1	2.7 %	2016
Repositorio de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	1	2.7 %	2017
Repositorio Jóvenes en la Ciencia	1	2.7 %	2017
ResearchGate	1	2.7 %	2018
DSPACE	1	2.7 %	2019

Los estudios tienen orígenes en países diversos, siendo dichos países ordenados por cantidad de publicaciones: México (19), España (5), Argentina (2), Cuba (2), Ecuador (2), Honduras (2), Perú (2), Uruguay (2), y Colombia (1). Por otra parte, a pesar de que el problema aún persiste en la actualidad los años donde más se realizaron publicaciones fueron 2013 (19%), 2014 (14%) y 2010 (14%).

TABLA III
NÚMERO DE TRABAJOS SEGÚN TIPO DE DOCUMENTO

Tipo de documento	Nº	%
Artículo de revista	30	81%
Artículo de conferencia	3	8%
Tesis pregrado	4	11%

TABLA IV
NÚMERO DE TRABAJOS SELECCIONADOS POR AÑO DE PUBLICACIÓN

Año de publicación	Nº
2010	5
2011	2
2012	4
2013	7
2014	5
2015	4
2016	3
2017	2
2018	3
2019	2

B. Tipos de investigación aplicadas

Las investigaciones de tipo experimental tienen como objetivo predecir fenómenos y construido por el investigador para poder explicar algún tipo de casualidad [9]. Por otra parte, los estudios no experimentales, son estudios exploratorios donde no pueden sacarse conclusiones seguras por lo cual abren el camino para que de ellos puedan derivarse estudios más profundos [9].

En este sentido, las investigaciones halladas, muestran el resultado de una revisión de la literatura científica completa y que deja ver la actividad científica que se ha estado desarrollando durante los últimos diez años por la comunidad científica y académica. Así, de las 37 publicaciones que se seleccionaron según los criterios mencionados, 23 de estos estudios son de tipo experimental, y los 14 estudios restantes son de tipo no experimental.

C. Principales hallazgos

1) *Hallazgos según aportes:* En la literatura analizada se encontraron distintas estrategias sobre el uso de sistemas automatizados de riego en el cultivo de maíz en fincas agrícolas, las cuales se pueden agrupar en 3 categorías. La primera categoría se refiere a los factores ambientales que pueden afectar de manera negativa al cultivo de maíz, ya que existen evidencias donde intervienen la humedad, la temperatura, las precipitaciones que se dan en el medio y cómo este afecta a la reducción del ciclo del maíz en sus etapas de crecimiento, el cual puede ser más vulnerable, al ser susceptible a estrés térmico o hídrico. Por ello los sistemas automatizados de riego están empezando a tomar en cuenta los factores ambientales para llevar una mejor gestión de las necesidades de los cultivos. A través de los sensores, estos, detectan si los niveles de temperatura o humedad afectan al cultivo y toman acciones necesarias para tratar de normalizar estos niveles ofreciéndole al cultivo condiciones óptimas para su crecimiento (ver Tabla V).

En la segunda categoría se referencia a los diferentes resultados que se obtienen con el uso de fertilizantes para mejorar la producción del maíz. Se demostró que la aplicación de estas sustancias genera resultados que podemos observar en la planta y la calidad de esta, obtendremos resultados más o menos favorables. Debido a la necesidad de controlar este balance se hace uso de sistemas automatizados de riego que nos permiten administrar la cantidad de fertilizante necesario, a través canales de irrigación las plantas reciben la cantidad de nutrientes necesarios para su crecimiento acortando el tiempo que tarda la planta en llegar a su etapa de madurez, de esta manera ayuda a reducir pérdidas de los nutrientes y disminuye costos (ver Tabla VI).

En el factor de rendimiento del riego se nos aclara que tener un mejor manejo en el rendimiento del agua aplicado al riego del cultivo del maíz conduce a una reducción del uso de esta, ya que actualmente hay escasez de agua en el mundo siendo así un recurso muy valioso que hay que preservar. Esto nos conduciría a reducir la huella hídrica en el riego de los cultivos sembrados. Por esa razón, se están implementado los sistemas de riego automatizados que permiten hacer un uso controlado del agua, llegando a tener un gran impacto económico en los ingresos netos medios y obteniendo mayor productividad a diferencia de los sistemas de riego tradicionales; en consecuencia, los maiceros han mejorado los procesos complejos, progresivos y sostenibles que requiere el riego del maíz (ver Tabla VII).

TABLA V
PRINCIPALES HALLAZGOS DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN EL CULTIVO

Autor	Objetivo(s)	Principales Hallazgos
[2]	Diseñar un sistema de riego para las islas Galápagos alimentado por energía solar y monitoreado mediante el uso de una interfaz web.	*El estudio arrojó los valores necesarios para un buen riego de los cultivos, entre los factores se encuentran la humedad del suelo, intensidad de luz y temperatura ambiente. *La zona donde se llevó a cabo la investigación recibía suficiente radiación solar para suministrar energía a todo el sistema de riego.
[10]	Analizar el impacto esperado del cambio climático en las demandas hídricas y en el desarrollo de los cultivos	*Se demostró que la temperatura es un factor que puede influenciar en el rendimiento del maíz, acortando su ciclo fenológico. *Los problemas de polinización, el incremento de respiración o la disminución de fotosíntesis pueden generar un rendimiento bajo del cultivo de maíz.
[11]	Estudiar el comportamiento de los cultivos en condiciones climáticas y escenarios de manejo agronómico e hídrico diferentes.	* Las condiciones climáticas pueden generar un estrés hídrico en el vegetal. *El rendimiento del cultivo depende del manejo agronómico y las condiciones climáticas de la región.
[12]	Asociar bajo criterios probabilísticos las cuatro variables de la estación lluviosa: Inicio, terminación, duración, y la cantidad de precipitación y al mismo tiempo asociarlas con la agricultura del maíz bajo condiciones de temporal, reduciendo entre otras, los eventos de fracaso, al estimar la probabilidad de satisfacer la demanda hídrica como función de las cuatro variables asociadas a la estación lluviosa.	*La región de Zacatecas, México posee un periodo de duración de 110 días apto para el maíz, contando con una probabilidad de lluvia de 78.5% y una holgura de 15 día del periodo donde la lluvia acumulada es menor a 20 mm.
[13]	Estimar el papel de modificación del índice integral de fertilidad del suelo en los cálculos de la productividad de los cultivos de maíz de grano y trigo en varios distritos de riego de México.	*Las tierras agrícolas de México que se ubican en las zonas climáticas húmedas, semihúmedas y semiáridas son las más susceptibles a los cambios climáticos. *Se debe considerar el efecto de la alteración del índice de fertilidad del suelo ya que este puede influir en el rendimiento de los cultivos.
[14]	Evaluar la vulnerabilidad ante la variabilidad climática	*Se comprobó que las lluvias y granizadas intensas son las

	en los cultivos de maíz de temporal en el distrito de desarrollo rural 073-Toluca, México.	precipitaciones climáticas que más afectan a los cultivos. *La temporada de riego se ve influenciada por las alteraciones de las precipitaciones, lo cual conlleva a problemas con los cultivos y para la población que se dedica a la actividad agraria.
[15]	Aportar información objetiva sobre la eficiencia y el ahorro de agua del riego localizado para las condiciones de suelos y clima del Uruguay.	*En Uruguay, las condiciones climáticas provocan que el riego por goteo consume un 40% más de agua que un riego tradicional debido a que este último aprovecha el agua de la lluvia.

	75%, 75-50 %, 75-75 % y 100-100 %, de una lámina de riego de 80 cm y 200 kg de nitrógeno ha ⁻¹ .	agua y nitrógeno puede dar como resultado un mayor rendimiento de tortillas por hectárea.
[20]	Reconocer los tipos de tecnologías y cómo influyen en la productividad del maíz en el municipio de estudio	* Para la fertilización del terreno con fertilizantes químicos, las tecnologías modernas son las predominantes; mientras que las tecnologías campesinas sobresalen cuando se trata de fertilizar mediante la aplicación de estiércol. * El uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados sobresale en la fertilización química, aunque en cantidades menores a las recomendadas por el INIFAP.
[21]	Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes biológicos derivados de algas marinas aplicados al suelo y al follaje en un maíz forrajero (zea mays l.).	*Los fertilizantes hechos en base a extractos de algas marinas y follaje de maíz forrajero provocaron una mayor cantidad de clorofila en las plantas, dando como resultado una mayor altura y diámetro del tallo de la planta, así como también mayor peso seco de esta.
[22]	Realizar un trabajo económico. Análisis de fertilización química y orgánica en maíz. Se llevó a cabo en el rancho borundas en Tototlán, Jalisco.	*Una fertilización de maíz con productos orgánicos ayuda a la cosecha y puede restaurar los ecosistemas que han sido dañados por la aplicación de fertilizantes químicos y a su vez disminuir los costos de su producción.
[23]	Comparar el efecto de seis niveles de fósforo (0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg de p ₂ o ₅ ha ⁻¹) en la eficiencia en el uso de la radiación, la tasa de asimilación neta y las unidades calor de los cultivares de maíz amarillo almoloya, cacahuacintle y cóndor, en condiciones de punta de riego, en el cerrillo piedras blancas, estado de México.	*La eficiencia del uso de radiación (EUR) afecta el rendimiento del maíz en 40kg ha ⁻¹ con una dosis baja y 6040kg ha ⁻¹ con una dosis alta.
[24]	Enfocar el efecto e interacción de diferentes niveles de mantillo y nitrógeno en diferentes ambientes y años en la región, así como examinar las bases fisiológicas y agronómicas de la posible interacción rastrojo-nitrógeno.	*Hubo un incremento de materia seca después de la aplicación de biofertilizante y 160 kg N ha ⁻¹ , sin embargo, esto no representa un cambio significativo en el rendimiento.

TABLA VI

PRINCIPALES HALLAZGOS DEL USO DE FERTILIZANTES

Autor	Objetivo(s)	Principales Hallazgos
[16]	Conocer los benéficos del riego por goteo en maíz.	*Es necesario adoptar sistemas de riego más eficientes, ya que estos permiten una mejor gestión del agua, la cual es un factor muy importante porque permite reducir la contaminación que genera el excesivo uso de los fertilizantes, más específicamente los nitrogenados. *Se detectó un aumento de la eficiencia de la productividad del agua y en la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados.
[17]	Reducir el uso del agua a partir de estrategias de productividad.	*Los fertilizantes nitrogenados si bien pueden ayudar con la productividad, suponen también un riesgo de contaminación si llegan a filtrarse en los mantos acuíferos, por ellos es necesario un personal capaz de realizar el riego de forma adecuada y evitar esos problemas.
[18]	Conocer el efecto del riego por gravedad por diferentes técnicas en la eficiencia de uso del nitrógeno (N) en el cultivo de maíz.	*El uso de técnicas de riego por superficie demostró aumentar la eficiencia y disminuir la pérdida de los nutrientes aplicados al cultivo.
[19]	Evaluar las características de calidad del nixtamal del híbrido de maíz 'puma' propiedad de la empresa Monsanto, cultivado durante el ciclo primavera-verano 2004 en cinco condiciones de fertilización E irrigación (50-50 %, 50-	*La aplicación de 75% de riego y 75% de nitrógeno dio como resultado un grano de maíz con las características necesarias para el proceso de nixtamalización y una buena transformación a masa y tortilla. *La reducción del 25% de

TABLA VII
PRINCIPALES HALLAZGOS DEL RENDIMIENTO DEL RIEGO

Autor	Objetivo(s)	Principales Hallazgos
[5]	Calcular el beneficio neto de cada hectárea en los principales productos sembrados.	*El tipo de riego, así como la dosis de fertilizante aplicada en el cultivo afectan de manera directa al rendimiento de este.
[25]	Evaluar la demanda del uso de agua y cédulas de cultivo en los sectores de riego de la Cuenca Baja del río Jequetepeque.	*Se encontró que la superficie óptima con fines de riego resulta ser mayor que el área irrigable, el cual debe tener en cuenta la viabilidad del volumen del agua y bajo control permitiendo tener una mayor deficiencia en los sectores hídricos probados en sectores Guadalupe-Limoncarro- Pacanga, San José-San Pedro y Jequetepeque y los sectores de menor magnitud las que tendrán demandas de agua con más rendimiento para los próximos años.
[26]	Determinar funciones de agua rendimiento para trazar estrategias de manejo.	*Según los resultados obtenidos es posible aceptar la existencia de una relación entre la cantidad de agua aplicada y la eficiencia de la técnica de riego empleada.
[27]	Realizar un análisis estadístico respecto a la gestión hídrica y la productividad agrícola.	*Se puede estimar el valor económico del distrito en base al consumo de agua, y este permite tener una referencia para multiplicar la productividad y los riesgos económicos que conllevaría realizar una mala administración del recurso hídrico.
[4]	Determinar los rendimientos de maíz en situaciones de bienestar hídrico.	*Se encontraron que los sistemas de control de agua deficientes provocan que el recurso hídrico tenga pérdidas en el rendimiento

		aproximadas al 50% del potencial y el estrés hídrico generó disminuciones del rendimiento cercanas a 30% y las deficiencias acumuladas en la etapa vegetativa y el riego provocando un descenso del rendimiento de 56%.
[28]	Probar si el prototipo es capaz de satisfacer las necesidades hídricas a través de sensores.	* La aplicación de un riego programado dio niveles de producción similares a las técnicas de riego manual pero con un menor uso de agua (14% - 18%).
[29]	Facilitar la tarea de programar adecuadamente los riegos y reducir el tiempo dedicado a estas actividades en sistemas de aspersión.	*Los dos tipos de programaciones automáticas (T1 y T2) dieron como resultado una cantidad de producción utilizando una menor cantidad de agua. *La programación T2 redujo el agua empleada en el riego en 15% sin tener variaciones estadísticas en la producción.
[30]	Desarrollar una red neuronal capaz de administrar el riego de un mini-invernadero.	*Los sistemas de riego con inteligencia artificial son capaces de mejorar la producción de las plantas mediante el uso de estrategias de control que aplican diferentes variables y procesos.
[7]	Realizar un análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC ejecutando la simulación del sistema monitoreándola por el programa Wincc.	*El Sistema de riego es capaz de adaptarse a los coeficientes y las necesidades hídricas del cultivo, utilizando el agua de manera óptima para los días soleados a través del uso del programa SCADA.
[6]	Conocer el estado del arte de la producción de maíz dentro del sector agrario de la provincia de Huambo.	*A través de nuevos indicadores es posible visualizar la eficiencia de la producción de maíz en Huambo, Angola.

		Y mediante estos resultados facilitar el cambio de pensamiento de los decisores locales a una producción de maíz más sostenible.		sobre las exportaciones de N.	
[31]	Diseñar un sistema de riego por goteo para la producción de cultivos hortícolas y semillas en Zona 1, ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	*El sistema de riego puede ser diseñado para un cultivo específico, supliendo las necesidades hídricas, edáficas, agronómicas y climáticas de este. De modo que se le administre el agua necesaria sin sobrepasar o no alcanzar los límites adecuados, obteniendo así una producción favorable.		[34]	Revisar exhaustivamente la bibliografía sobre indicadores de desempeño del riego y evaluar las eficiencias de aplicación (efa), de aplicación del cuarto inferior (efaci), de almacenaje (ealm), de distribución (efd) y el coeficiente de uniformidad (cu) de tres métodos de riego de maíz por surcos con pendiente. *La eficiencia de aplicación de riego con dos caudales y riego por pulsos es mayor al riego por caudal único en 44,8% y 53,9% respectivamente.
[1]	Definir el sistema de producción de agricultores de pequeña escala a partir del Sistema de riego empleado.	*Los sistemas de riego por goteo permiten que se realice un humedecimiento directo y constante del suelo consiguiendo así un uso óptimo del agua.		[35]	Analizar la reducción de la presión de trabajo en el aspersor. *La administración del agua en el cultivo tuvo un efecto diferente a la uniformidad medida sobre la cubierta vegetal. Por otro lado, las menores pérdidas por evaporación y arrastre de los tratamientos de baja presión pueden explicar que las diferencias en uniformidad medidas sobre la cubierta no hayan afectado al rendimiento de la producción.
[32]	Estimar las HH verde y azul del maíz en provincias del centro y del noreste argentino bajo tres condiciones (secano, riego y riego y fertilidad edáfica óptimos) y analizar el impacto de estas prácticas.	*Mediante el riego es posible reducir la huella hídrica y así mismo el productor puede aprovecharlo haciendo una buena gestión del agua y la fertilización para alcanzar un valor potencial alto. *Mediante los valores obtenidos de la reducción de la huella hídrica es posible concientizar a los encargados de administrar el agua, así como también exponer la necesidad de diseñar e implementar estrategias adecuadas para su uso sostenible.		[36]	Evaluar dos estudios de caso con maíz forrajero, en el primero establecer la relación de las variables lámina (ev y agua aplicada) en función del tiempo y a cielo abierto, en el segundo estudio relacionar la producción de ms con el iaf en maíz forrajero con y sin acolchado plástico a través del tiempo, con el fin de comprender el fenómeno que se presenta en los dos ensayos evaluados. *Mediante la herramienta matemática regresión lineal se pueden entender las variables de la ingeniería del riego como evaporación y lámina de riego para los cultivos de maíz forrajero.
[33]	Comparar el manejo del agua y de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz en la Comunidad de regantes de Almúdevar (CRA) en los años 1995 y 1996 (riego por inundación) y en 2011 (riego por aspersión), así como su influencia	*Los tipos de riego modernos permiten elevar los niveles de producción, así como también reducir el uso de agua y la carga de contaminantes (N).		[37]	Establecer una forma de darle acceso a tecnologías que facilitarían el cultivo de vegetales a los agricultores locales. *La realización de un ambiente controlado de siembra permitiría tener un nivel de tecnología mayor al actual y por lo tanto usar técnicas de riego que ayuden a mejorar el rendimiento del riego.
				[3]	Dar a conocer el proceso y resultado de la implementación de un prototipo para optimizar la automatización de sistemas de riego mediante la utilización de estrategias de control a través de dispositivos móviles, se establece como las estrategias de sistemas de telecontrol que involucran sistemas duales Tone Multifrequency (DTMF) *Un sistema de riego automatizado permitió reducir el espacio entre planta y planta de 2 metros a 60 centímetros, dando como resultado que la producción del cultivo de sandía se triplicara.

[38]	Evaluar el efecto de variantes de riego en el comportamiento agronómico del maíz bajo diferentes láminas de riego utilizando como instrumento de medición de la evaporación la tina clase A.	*Se encontró que los tratamientos bajo presión del 60% a 80% tienen resultados prometedores, si se considera la región donde el suministro de agua es limitado y que este pudiera considerar la programación de riego para mejorar el rendimiento del riego y la disponibilidad del agua.
[39]	Implementar un modelo tecnológico en los cultivos de México.	*Se halló que las innovaciones radicales y progresivas que se aplicaron en el manejo de maíz no tienen una relación directa entre el Índice de Apropiación de Tecnologías Radicales (IATR) y rendimientos, pero sí entre éstos y el Grado de Empleo de Tecnologías Progresivas (GETP); el 19 % de los maiceros fueron de altos rendimientos, y si se transfiere su patrón tecnológico se podría incrementar en 91 % los rendimientos para productores de baja y 24 % para los de media productividad.

2) *Hallazgos según el tipo de riego:* En los estudios analizados se pudo encontrar distintos tipos de riego que fueron implementados a la vez que el riego ya existente de forma que se pudo evaluar cuales son más eficaces para gestionar del agua, reduciendo su consumo sin afectar negativamente a la productividad del cultivo. Sin embargo, en algunos de ellos solo se llegan a mencionar el tipo de riego aplicado, más no sus ventajas, por lo que solo se categorizó el 43% de los estudios. La primera categoría nos habla del riego por goteo, este es el tipo de riego más eficiente en comparación con otros tipos debido a que posee una casi nula evaporación directa, debido a que el agua es administrada en pequeñas cantidades, teniendo un impacto positivo en el rendimiento, los fertilizantes y costos económicos [16], [2], [31], [36], [15].

En la segunda categoría se habla del riego por aspersión, el cual consta en expulsar con fuerza cortinajes de agua que son emitidos por el bombeo del aspersor, permitiéndonos reducir el tiempo de la actividad de riego, lo cual supondría un considerable ahorro de energía y una mejora en la rentabilidad del agua [28], [29], [7], [35].

Para la tercera categoría tenemos el riego por gravedad, el cual es menos eficiente que los tipos de riego mencionados anteriormente. No obstante, puede manejar el recurso hídrico de manera adecuada y con instalaciones de equipo de bajo costo [17], [11], [34].

Finalmente tenemos 3 tipos de riego que al tener pocas investigaciones fueron agrupados en una misma categoría llamada Riegos deficientes (Riego por inundación, riego seco y riego por superficie). Estos tipos de riego incrementan el uso del recurso hídrico ya que algunos tienen que cubrir cierto nivel parcelario provocando pérdidas de nitratos a través suelo, y otros dependen completamente de precipitaciones de lluvia como el tipo de riego seco [5], [33], [1], [18].

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo obtuvo como resultado un total de 33 artículos y 4 tesis, a través de los cuales pudimos observar el efecto que tienen los sistemas automatizados de riego en los cultivos de maíz en fincas agrícolas.

En las características de estudio que se muestran en la tabla 1, podemos observar que un 81% (30 documentos), fueron artículos de revista, mientras que el resto, listados de manera descendente, fueron tesis y artículos de conferencia. De igual manera el año en que se realizaron más publicaciones fueron los años 2013 (19%), 2014 (14%) y 2010 (14%). Asimismo, se observa que la revista que ha publicado más investigaciones sobre el tema de estudio fue la Revista Mexicana de ciencias agrícolas con un total de 5 publicaciones.

De acuerdo con la clasificación de las investigaciones por categoría según los aportes, se concluyó que los estudios correspondientes a la categoría “Factores ambientales en el cultivo”, se enfocan en el impacto de las condiciones ambientales y cómo los sistemas automatizados de riego están tomándolos en cuenta al momento de cultivar el maíz. Por otro lado, las investigaciones pertenecientes a la categoría “Uso de Fertilizantes” establecen que los sistemas de riego automatizados son bastantes factibles para reducir la huella hídrica con un mejor manejo del agua y de fertilizantes. De igual forma, los estudios de la categoría del “Rendimiento del riego” demuestran que es factible mejorar el rendimiento del agua aplicada al cultivo haciendo uso de sistemas automatizados.

En la mayoría de las investigaciones se comparó el riego tradicional (riego por inundación) con otros tipos de riego más avanzados, de forma que se cuantificara su nivel de eficacia mediante el consumo de agua de cada uno. Por otro lado, para

implementar estos tipos de riego con mas eficacia, algunos de los trabajos revisados optaron por desarrollar un sistema de riego automatizado, a través del cual es posible no solo administrar el agua al cultivo, sino que también registrar los valores de entrada de los sensores (humedad o temperatura) y en algunos casos usar esos valores para adaptar el riego a las necesidades hídricas del cultivo teniendo en cuenta los factores ambientales.

Del análisis realizado, se puede afirmar que existen un gran número de publicaciones relacionadas a la implementación de sistemas automatizados para el cultivo de maíz a través de los años. Donde las aportaciones más relevantes se aprecian en los años 2012, 2013 y 2014; años en los cuales se realizaron más de esos trabajos debido al aumento de la problemática, la cual requería buscar soluciones tecnológicas a través de sistemas automatizados de riego que fueran más eficientes que los métodos de riego convencionales. De este modo podemos demostrar la importancia de usar sistemas automatizados de riego en los cultivos de maíz, enfocándonos en fincas agrícolas.

Para finalizar, algunas recomendaciones son: En futuras investigaciones se puede considerar incluir otros idiomas en el proceso de búsqueda, así como realizar la búsqueda en revistas especializadas en el tema. Asimismo, es recomendable que las tendencias encontradas puedan ser agrupadas en categorías más específicas, como el uso de fertilizantes sólidos y líquidos, o nuevas formas tecnológicas aplicables a los cultivos. Por otro lado, se recomienda buscar investigaciones que tomen en cuenta la forma de alimentar el sistema para reducir aún más los costos, debido a que la mayoría de las investigaciones no toman en cuenta el costo que requiere alimentar todo el sistema de riego lo cual puede afectar a las ganancias obtenidas de la producción del maíz.

También se recomienda que se realicen búsquedas de fuentes de energía ecológicas para alimentar el sistema, estas pueden ser energía eólica, hidráulica, solar. En último lugar se sugiere tomar en cuenta añadir nuevos sensores para el sistema de riego de manera que se esté reciba más información del estado del cultivo.

REFERENCIAS

- [1] Fuentes Portillo L. Y. (2011). Estrategia productiva y económica de agricultores de pequeña escala de acuerdo al sistema de riego utilizado: El caso de Honduras (Título de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- [2] Rojas Andrade, D. A. y Castellanos Gonzalez, J. N. (2019). Diseño de un sistema de riego automatizado para el Parque Nacional Galápagos usando energía renovable (Título de pregrado). Universidad de las Américas, Perú.
- [3] Parada, J. y Carrillo, J. (2014). Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles. *Renovat: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, (1), 138-160.
- [4] Giménez, L. (2012). Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), 92-102.
- [5] Oyarzun Arrechea, M. (2010). Respuesta productiva de un cultivo de maíz ("Zea mays" L. Var. Dracma) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos. (Título de pregrado). Universidad pública de Navarra, España.
- [6] Vaz Pereira, D. J. y Leyva Galán, Á. (2015). El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) dentro del sector agrario de Huambo-Angola. Parte I. Indicadores determinantes hacia la sostenibilidad. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 153-158.
- [7] Álvarez Arboleda, AA (2017). Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC (Título de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- [8] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D., & Prisma Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- [9] Maldonado Gamez T. (2016). Artículo: Investigaciones experimentales. Universidad Yacambu, Venezuela.
- [10] Ojeda Bustamante, W., Sifuentes Ibarra, E., Ñiguez Covarrubias, M. y Montero Martínez, M. J. (2010). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 1-11.
- [11] Flores Gallardo, H., Ojeda Bustamante, W., Flores Magdaleno, H., Sifuentes Ibarra, E. y Mejía Saénz, E. (2013). Simulación del rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) en el norte de Sinaloa usando el modelo Aquacrop. *Agrociencia*, 47(4), 347-359.
- [12] Ñiguez Covarrubias, M., Ojeda Bustamante, W., Díaz Delgado, C. y Sifuentes Ibarra, E. (2013). Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 101-114.
- [13] Terrazas Mendoza, L., Nikolskii Gavrilo, I., Herrera Gómez, S. S., Castillo Álvarez, M. y Exebio-García, A. A. (2010). Alteración de la fertilidad del suelo, y vulnerabilidad de maíz y trigo bajo riego debido al cambio climático. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 87-102.
- [14] Reyes Anistro, G. I., Adame Martínez, S. y Cadena Vargas, E. (2018). Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. *Sociedad y ambiente*, (17), 93-113.
- [15] García Petillo, M. (2010). Análisis crítico del método de riego por goteo en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 14(1), 36-43.
- [16] Mendoza Pérez, C., Ramírez Ayala, C., Flores Magdaleno, H., Sifuentes Ibarra, E. y Macías Cervantes, J. (2018). Uso de programa Irrimodel para la programación de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Agroproductividad*, 11(1), 49-55.
- [17] Flores Gallardo, H., Sifuentes Ibarra, E., Flores Magdaleno, H., Ojeda Bustamante, W. y Ramos García, C. R. (2013). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2), 241-252.
- [18] Sifuentes Ibarra, E., Macías Cervantes, J., Islas, R., del Rosario, J., Preciado Rangel, P., Ojeda Bustamante, W., ...Samaniego Gaxiola, J. A. (2015). Mejoramiento del grado de uso del nitrógeno en maíz mediante técnicas parcelarias de riego por superficie. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1903-1914.
- [19] Salazar Martínez, J., Rivera Figueroa, C. H., Arévalo Gallegos, S., Guevara Escobar, A., Malda Barrera, G. y Rascón-Cruz, Q. (2014). Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente de cultivo del maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(1), 67-73.
- [20] Turiján Altamirano, T., Damián Huato, M. Á., Ramírez Valverde, B., Juárez Sánchez, J. P. y Estrella Chulín, N. (2012). Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1085-1100.
- [21] Zermeño González, A., Cárdenas Palomo, J. O., Ramírez Rodríguez, H., Benavides Mendoza, A., Cadena Zapata, M. y Campos Magaña, S. G. (2015). Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE12), 2399-2408.
- [22] Luna, A. D., García, M., Rodríguez, E., Vázquez, J. y Rodríguez, E. (2014). Impacto Económico de la Agricultura Orgánica en comparativo con la Agricultura Tradicional en el cultivo del Maíz. Universidad de Guadalajara. Ecorfan.
- [23] Díaz López, E., Loeza Corte, J. M., Campos Pastelín, J. M., Morales Rosales, E. J., Domínguez López, A. y Franco Mora, O. (2013). Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral

- térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 47(2), 135-146.
- [24] Aguilar Carpio, Cid, Escalante Estrada, José Alberto Salvador, & Aguilar Mariscal, Immer. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 51-62.
- [25] Guerrero, A. y Florián, J. (2013). Demanda y uso de agua en los sectores de riego de la cuenca baja del río Jequetepeque (La Libertad, Perú). *Revista de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú. REBIOL*, 33(1), 1-17
- [26] González Robaina, F., Herrera Puebla, C. J., López Seijas, C. T. y Cid Lazo, C. G. (2013). Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 5-11.
- [27] Peinado Guevara, V. M., Peinado Guevara, H. J., Campista León, S. y Delgado Rodríguez, O. (2015). Análisis de la producción agrícola y gestión del agua en módulos de riego del distrito 063 de Sinaloa, México. *Estudios Sociales: Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 23(46), 113-136.
- [28] Anadón, R., Zapata, N., Playán, E., Salvador, R., Cavero, J. y López, C. Prueba en el campo de un prototipo de programador automático de riego por aspersión. Comunicación C-13. El regadío: una apuesta por el desarrollo del medio rural, XXVIII Congreso Nacional de Riegos, León, 2010.
- [29] Zapata Ruiz, N., Anadón Herrera, R., Salvador Esteban, R., Cavero Campo, J., Lecina Brau, S. y Playán Jubillar, E. (2012). Autoprogramadores para coberturas de riego por aspersión. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.
- [30] Rueda, M. G. V., Reyes, M. I., García, F. G. F. y Casillas, H. A. M. (2018). Redes neuronales aplicadas al control de riego usando instrumentación y análisis de imágenes para un micro-invernadero aplicado al cultivo de Albahaca. *Research in Computing Science*, 147, 93-103.
- [31] Aguirre, J. L. y Meza, M. J. (2011). Diseño de un sistema de riego por goteo para producción de hortalizas y semilla en zamorano. Zamorano.
- [32] Alvarez, A., Morábito, J. y Schilardi, C. (2016). Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48(1).
- [33] Jiménez Aguirre, M. T. y Isidoro Ramírez, D. (2012). Efectos de la modernización de la Comunidad de Regantes de Almudéver (Huesca) sobre el cultivo del maíz. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA-DGA).
- [34] Génova, L. J., Andreau, R. y Etchevers, P. (2014). Desempeño de tres métodos de riego de maíz por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 113(2), 174-191.
- [35] Zapata, N., Robles, O., Cavero, J. y Playán, E. (2017). Análisis del riego por aspersión a baja presión en un cultivo de maíz. *Tierras Castilla y León. Agric*, 253, 68-75.
- [36] Montemayor Trejo, J. A., Munguía López, J., Segura Castruita, M. Á., Yescas Coronado, P., Orozco Vidal, J. A., Reza, W. y Luis, J. (2016). La regresión lineal en la evaluación de variables de ingeniería de riego agrícola y del cultivo de maíz forrajero. *Acta universitaria*, 27(1), 40-44.
- [37] Hernández, A. F. y Hernández, A. O. (2015). Sistema de instrumentación eficiente para cultivos de producción controlada a través de un sistema de gestión rentable. *JÓVENES INVESTIGADORES*, 1(3), 31-35.
- [38] León, Á., Arzube, M. y Ramírez, L. (2016). Efecto de variante de riego en la producción de maíz (*zea mays* l.) En la Comuna Río Verde, cantón Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(2), 100-104.
- [39] Damián Huato, M. A., Cruz Leon, A., Ramirez Valverde, B., Romero Arenas, O., Moreno Limón, S. y Reyes Muro, L. (2013). Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(2), 157-176.