



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**EFFECT OF INTERVAL AND FREQUENCY IN DRIP IRRIGATION AND
MICROSPRAY SYSTEMS ON MAIZE CROP**

**SANCHEZ LEON DANIEL ALEJANDRO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**EFFECT OF INTERVAL AND FREQUENCY IN DRIP
IRRIGATION AND MICROSPRAY SYSTEMS ON MAIZE CROP**

**SANCHEZ LEON DANIEL ALEJANDRO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**EFFECT OF INTERVAL AND FREQUENCY IN DRIP
IRRIGATION AND MICROSPRAY SYSTEMS ON MAIZE CROP**

**SANCHEZ LEON DANIEL ALEJANDRO
INGENIERO AGRONOMO**

CUN CARRION JORGE VICENTE

**MACHALA
2024**



SANCHEZ DANIEL

4%
Textos sospechosos



5% Similitudes

< 1% similitudes entre comillas (ignorado)

< 1% entre las fuentes mencionadas (ignorado)

6% Idiomas no reconocidos (ignorado)

Nombre del documento: SANCHEZ DANIEL.docx
ID del documento: 87a4f27bbac3f0fcf28c56165abddd66be2c7608
Tamaño del documento original: 1,36 MB
Autores: []

Depositante: JORGE VICENTE CUN CARRION
Fecha de depósito: 18/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 18/2/2025

Número de palabras: 12.726
Número de caracteres: 83.470

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

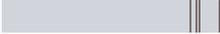
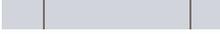
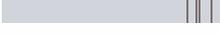
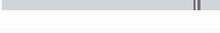
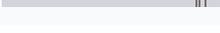
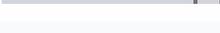
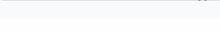
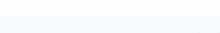
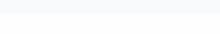
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.unl.edu.ec Determinar los requerimientos hídricos del pepino (Cucumis sat... http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18472 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	repositoriodigital.uns.edu.ar https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/4132/Tesis_Zubillaga.pdf?sequ... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
3	www.sag.gob.cl 2.- Morfología y órganos reproductores SAG https://www.sag.gob.cl/curso-de-semillas/2-morfologia-y-organos-reproductores#:~:text=La maz...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (41 palabras)
4	Documento de otro usuario #181f38 El documento proviene de otro grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	Documento de otro usuario #71eca2 El documento proviene de otro grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #e7aec0 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	doi.org https://doi.org/https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
3	dx.doi.org Assessment of fodder corn grown under surface and subsurface drip irri... http://dx.doi.org/10.48162/rev.39.047	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
4	localhost Identificación de aflatoxinas totales en cultivo de Zea mays como paráme... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/123456789/61510/3/BCIEQ-T-0752_Gómez_Ayol_Génesis_Julissa; ...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
5	dialnet.unirioja.es Edwin Stalin Hasang Morán - Dialnet https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=5037654	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.utmachala.edu.ec https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/23502/1/Trabajo_Titulacion_3247.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (256 palabras)
2	Documento de otro usuario #7dd65a El documento proviene de otro grupo	2%		Palabras idénticas: 2% (194 palabras)
3	repositorio.utmachala.edu.ec https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22739/1/Trabajo_Titulacion_2788.pdf	1%		Palabras idénticas: 1% (124 palabras)
4	Documento de otro usuario #6e5b01 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (83 palabras)
5	alicia.concytec.gob.pe Metadatos: Efecto de la frecuencia de riego por goteo en el ... https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_f01fd1d9d28a6c76559a825f09a96cc6/Details	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (84 palabras)
6	alicia.concytec.gob.pe Descripción: Efecto de la frecuencia de riego por goteo en e... https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_f01fd1d9d28a6c76559a825f09a96cc6	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (83 palabras)
7	repositorio.unasam.edu.pe Recently added https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4691/recent-submissions?offset=60	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (79 palabras)

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
8	 dx.doi.org Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (Zea mays. L) en el Ecu... http://dx.doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (69 palabras)
9	 goo.su https://goo.su/oDhPq	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (65 palabras)
10	 revistas.usfq.edu.ec https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/issue/download/189/Archivos Acadé...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (65 palabras)
11	 doi.org Uso equivalente de la tierra e índices de crecimiento y eficiencia fisiológica ... https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2603	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (58 palabras)
12	 www.produccioncientificaluz.org https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/articulo/download/35676/37912	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (66 palabras)
13	 produccioncientificaluz.org Eficiencia de Uso del Agua en Riego por Goteo Superfi... https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/articulo/download/35676/37912	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (66 palabras)
14	 repositorio.unasam.edu.pe Efecto de 3 láminas de agua aplicado mediante el sist... https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/5912/T033_46546400_T.pdf?sequ...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)
15	 cia.uagraria.edu.ec https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SEVILLA PAREDES PRISCILA JAMILETH.pdf	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (55 palabras)
16	 Documento de otro usuario #9bca64 El documento proviene de otro grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
17	 www.scielo.org.mx Evaluación multianual de las variables climatológicas y su relac... https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78902021000400021	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (48 palabras)
18	 revistas.utb.edu.ec Historia del maíz desde tiempos ancestrales hasta la actualida... https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/articulo/view/2951	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (43 palabras)
19	 Documento de otro usuario #3c8bc3 El documento proviene de otro grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (42 palabras)
20	 www.593dp.com https://www.593dp.com/index.php/593_Digital_Publisher/articulo/view/1879	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (44 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	 https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12123/14738
2	 https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v42n3/1819-4087-ctr-42-03-e08.pdf
3	 https://doi.org/https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06
4	 https://doi.org/http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5804
5	 https://secihti.mx/cibiogem/index.php/maiz

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, SANCHEZ LEON DANIEL ALEJANDRO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado EFECTO DEL INTERVALO Y FRECUENCIA EN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN EN UN CULTIVO DE MAÍZ., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



SANCHEZ LEON DANIEL ALEJANDRO

0751114257

JUSTIFICACIÓN.

El intervalo y la frecuencia de riego representan un desafío crítico en la gestión de sistemas de riego por goteo y microaspersión. Estos parámetros no solo influyen en la eficiencia y el rendimiento del sistema, sino que también determinan los recursos y esfuerzos necesarios para su mantenimiento operativo. Una gestión inadecuada del intervalo y la frecuencia puede conducir a problemas de obstrucción de los emisores, lo que resulta en una distribución desigual del agua y, en última instancia, en el estrés hídrico de las plantas, traducido en una disminución del rendimiento de los cultivos o en la pérdida de plantas. Además, el estrés hídrico puede aumentar la susceptibilidad de las plantas a enfermedades y plagas, lo que puede requerir el uso de pesticidas y otros productos químicos, con el consiguiente impacto ambiental y elevado costo de producción.

La optimización del riego en el cultivo de maíz requiere un conocimiento profundo de las necesidades hídricas de la planta en sus diferentes fases fenológicas. El estrés hídrico, especialmente durante la floración y el llenado de grano, puede afectar gravemente el rendimiento final de la cosecha. Por lo tanto, es crucial controlar y corregir la escasez de agua en estas etapas para asegurar una producción adecuada. En este contexto, la elección adecuada del intervalo y la frecuencia de riego, considerando factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas y las necesidades específicas del cultivo, se convierte en un factor determinante para el éxito de la producción.

El presente estudio se centra en determinar el efecto del intervalo y la frecuencia de riego en los sistemas de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de maíz, considerando la problemática de la obstrucción de emisores y el estrés hídrico en las plantas. Se evaluarán las variables biométricas del cultivo en cada sistema de riego y su efecto en la producción, así como el efecto del intervalo y frecuencia de riego en las diversas fases fenológicas del cultivo para optimizar sus necesidades hídricas.

DEDICATORIA

Quiero dedicar estas palabras de corazón a las personas que han sido mi mayor apoyo a lo largo de este camino. A mis padres por su amor incondicional, por ser mi guía, mi refugio y mi fortaleza en todo momento. A mis abuelas que con su sabiduría y cariño me han enseñado los valores más importantes de la vida. A mis tíos, por su generosidad y por estar siempre presentes cuando más los necesito.

Gracias por estar a mi lado, por creer en mí, por motivarme a seguir adelante y por ser mis pilares. Sin ustedes, no sería quien soy hoy y por supuesto, gracias a Dios, quien ha sido mi luz, mi fortaleza y el motor de todo lo que he logrado. Sin su gracia, nada de esto sería posible.

.

Daniel Alejandro Sánchez León
Ingeniero Agrónomo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores, quienes han sido parte fundamental de este proceso académico. Gracias por su dedicación, paciencia y por brindarme su invaluable apoyo y orientación en cada etapa de esta investigación.

Su conocimiento, compromiso y motivación constante me han permitido superar desafíos y alcanzar este importante logro. A lo largo de este proceso no sólo me han guiado académicamente, sino que también me han enseñado lecciones de vida que llevaré conmigo siempre, sin su ayuda, esta tesis no hubiera sido posible. Desde el fondo de mi corazón, gracias por tu tiempo, esfuerzo y por creer en mi trabajo.

Daniel Alejandro Sánchez León
Ingeniero Agrónomo

“EFECTO DEL INTERVALO Y FRECUENCIA EN SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN EN UN CULTIVO DE MAÍZ”

Daniel Alejandro Sánchez León
Ingeniero Agrónomo

RESUMEN

El presente estudio titulado "Efecto del intervalo y frecuencia en sistemas de riego por goteo y microaspersión en un cultivo de maíz" tuvo como objetivo determinar el impacto de diferentes intervalos y frecuencias de riego en los sistemas de goteo y microaspersión, evaluando su efecto sobre parámetros morfofenológicos y su incidencia en la productividad del maíz. Se implementaron dos sistemas de riego: microaspersión y goteo, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) para la recolección de datos. Las variables medidas incluyeron la altura de la planta, el diámetro del tallo, el peso de la mazorca, el peso del grano seco y la longitud de la mazorca. Los resultados obtenidos revelaron que el sistema de riego por goteo generó plantas de maíz con alturas, diámetros de tallo y pesos de mazorca más uniformes y ligeramente superiores en comparación con el sistema de microaspersión. Aunque no se encontraron diferencias significativas en el peso de la mazorca y del grano entre los tratamientos dentro de cada sistema, los promedios fueron levemente más altos en el riego por goteo. Estos hallazgos sugieren que, si bien ambos sistemas son adecuados para el cultivo de maíz, el riego por goteo podría ofrecer ventajas adicionales en términos de rendimiento y calidad del cultivo. En conclusión, este estudio proporciona información valiosa sobre la efectividad de los sistemas de riego en la producción agrícola, destacando la importancia del manejo adecuado del agua para optimizar el crecimiento y desarrollo del maíz.

Palabras clave: *Riego localizado, Eficiencia hídrica, Sistemas de riego, Intervalo y frecuencia de riego.*

“EFFECT OF INTERVAL AND FREQUENCY IN DRIP IRRIGATION AND MICROSPRAY SYSTEMS ON MAIZE CROP”

Daniel Alejandro Sánchez León
Ingeniero Agrónomo

ABSTRACT

The present study titled "Effect of Interval and Frequency in Drip and Microsprinkler Irrigation Systems on Maize Crop" aimed to determine the impact of different irrigation intervals and frequencies using drip and microsprinkler systems, evaluating their effect on morpho-phenological parameters and their incidence on maize productivity. Two irrigation systems, microsprinkler and drip, were implemented using a completely randomized design (CRD) for data collection. Measured variables included plant height, stem diameter, ear weight, dry grain weight, and ear length. Results revealed that the drip irrigation system produced maize plants with more uniform heights, stem diameters, and slightly higher ear weights compared to the microsprinkler system. Although no significant differences were found in ear and grain weights among treatments within each system, averages were slightly higher in drip irrigation. These findings suggest that while both systems are suitable for maize cultivation, drip irrigation may offer additional advantages in terms of yield and crop quality. In conclusion, this study provides valuable insights into the effectiveness of irrigation systems in agricultural production, highlighting the importance of proper water management to optimize maize growth and development.

Keywords: *Water efficiency, Irrigation systems, Irrigation interval and frequency.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

JUSTIFICACIÓN	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1. Cultivo de maíz en el Mundo	2
2.2. Importancia y Producción del maíz en Ecuador	3
2.3. Morfología del cultivo de maíz	4
2.4. Prácticas agronómicas en el cultivo de maíz	5
2.4.1. <i>Siembra</i>	5
2.4.2. <i>Riego</i>	6
2.4.3. <i>Manejo de malezas</i>	6
2.4.4. <i>Fertilización</i>	6
2.5. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo	7
2.5.1. <i>Suelo</i>	7
2.5.2. <i>Requerimiento hídrico</i>	7
2.5.3. <i>Temperatura</i>	8
2.6. El suelo y los parámetros de retención	9
2.6.1. <i>La textura</i>	9
2.6.2. <i>Retención hídrica</i>	9
2.6.3. <i>Necesidades hídricas del cultivo</i>	9
2.6.4. <i>Coefficiente del cultivo</i>	10
2.6.5. <i>La E_{Tc} del cultivo</i>	10
2.7. <i>Sistemas de riego</i>	11
2.7.1. <i>Efectos de riegos localizados en los cultivos agrícolas</i>	13
2.8. Parámetros de medición en la investigación	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Materiales	17

3.1.1. Ubicación Geográfica.....	17
3.1.2. Clima y Ecología	18
3.1.3. Material de campo.....	18
3.1.4. Diseño Experimental	19
3.2. Medición de variables.....	21
3.2.1. Altura de planta	21
3.2.2. Diámetro del tallo.....	22
3.2.3. Peso de mazorca	23
3.2.4. Peso del grano seco.....	23
3.2.5. Longitud de mazorca.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
4.1. Altura de planta.....	25
4.2. Diámetro del tallo	26
4.3. Peso de mazorca.....	27
4.4. Longitud de la mazorca.....	30
4.5. Peso del grano seco.....	32
5. CONCLUSIONES	35
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
7. ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz	9
Cuadro 2. Coeficiente Kc del cultivo de maíz en todas sus etapas fenológicas.	11
Cuadro 3. Estadísticos descriptivo peso de la mazorca de maíz por tratamientos.	27
Cuadro 4. ANOVA: peso de mazorca por tratamiento	28
Cuadro 5. Estadísticos descriptivo Longitud mazorca de maíz por tratamientos	29
Cuadro 6. ANOVA: longitud de mazorca por tratamiento.	30
Cuadro 7. Estadísticos descriptivo peso del grano de maíz.....	32
Cuadro 8. ANOVA: peso de mazorca por tratamiento.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema de riego tecnificado	12
Figura 2. Tipos de sistemas de riego	13
Figura 3. Mapa de ubicación del área experimental.	18
Figura 4. Diseño del Sistema de riego por goteo.	20
Figura 5. Diseño del Sistema de riego por aspersión	21
Figura 6. Medición de la variable altura de planta	22
Figura 7. Medición de la variable Diámetro del tallo.	22
Figura 8. Medición de la variable Peso de la mazorca	23
Figura 9. Medición de la variable Peso de granos secos al 14%	24
Figura 10. Medición de la variable Longitud de la mazorca	24
Figura 11. Promedio de altura de plantas de maíz por tratamiento: A) Riego por Goteo; B) Riego por microaspersión.	25
Figura 12. Promedio del diámetro de tallo de maíz por tratamiento.	26
Figura 13. Prueba de Tukey 5% para el peso del grano de mazorca: A) Goteo; B) Microaspersión; C) Comparación de medias.	28
Figura 14. Prueba de Tukey al 5% para la longitud de mazorca: A) Goteo; B) Microaspersión; C) comparación de medias.	31
Figura 15. Prueba de Tukey 5% para el peso del grano de mazorca: A) Goteo; B) Microaspersión; C) comparación de medias	33

1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, utilizado tanto para la alimentación humana como animal, así como para la producción de biocombustibles¹. Para asegurar rendimientos óptimos, el riego juega un papel fundamental, especialmente en regiones con déficit hídrico o distribución irregular de las precipitaciones¹³. La gestión eficiente del riego es esencial para optimizar el uso del agua, aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental¹.

En este contexto, los sistemas de riego por goteo y microaspersión se han posicionado como alternativas eficientes al riego tradicional por gravedad o aspersión¹⁴. Estos métodos permiten una aplicación precisa del agua directamente en la zona radicular de la planta, minimizando las pérdidas por evaporación y escorrentía, y optimizando la absorción de nutrientes a través de la fertirrigación¹.

El riego por goteo ofrece numerosas ventajas, como el aumento del rendimiento, la mejora de la calidad del grano, la reducción de la compactación del suelo, el ahorro de agua y la disminución de los costos laborales¹. Además, permite una mejor asimilación de nutrientes por la planta, lo que reduce la necesidad de fertilizantes y disminuye el riesgo de lixiviación de nitrógeno, generando beneficios medioambientales¹⁷. Un estudio realizado por la Universidad de Padua en 2015 demostró que el riego por goteo es la única técnica de irrigación capaz de evitar el estrés hídrico en el maíz sin aportar una cantidad de agua superior a la requerida, logrando un crecimiento de los cultivos mayor que con otras técnicas³⁵.

La microaspersión, por su parte, ofrece una distribución más uniforme del agua en comparación con el riego por goteo, lo que puede ser beneficioso en suelos con baja capacidad de retención hídrica. Si bien el riego por aspersión se considera una etapa intermedia en el desarrollo del riego tecnificado, su costo relativamente accesible lo convierte en una opción valiosa para las economías campesinas⁴.

La optimización del riego en el cultivo de maíz requiere un conocimiento profundo de las necesidades hídricas de la planta en sus diferentes fases fenológicas¹. El estrés hídrico, especialmente durante la floración y el llenado de grano, puede afectar gravemente el rendimiento final de la cosecha¹. Por lo tanto, es crucial controlar y corregir la escasez de agua en estas etapas para asegurar una producción adecuada¹.

El presente estudio se centra en determinar el efecto del intervalo y la frecuencia de riego en los sistemas de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de maíz. Se evaluarán las variables biométricas del cultivo en cada sistema de riego y su efecto en la producción, así como el efecto del intervalo y frecuencia de riego en las diversas fases fenológicas del cultivo para optimizar sus necesidades hídricas

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de intervalo y frecuencias en los sistemas de riego por goteo y microaspersión a través de los parámetros morfo-fenológicos y su incidencia en la productividad del cultivo de maíz.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las variables biométricas del cultivo en cada sistema de riego y su efecto en la producción.
- Evaluar el efecto del intervalo y frecuencia de riego en sus diversas fases fenológicas del cultivo para optimizar su necesidad hídrica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cultivo de maíz en el Mundo.

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, desempeñando un papel fundamental en la alimentación humana y animal, así como en diversas aplicaciones industriales (Blanco-Valdes & González-Viera, 2021; Andrade y otros, 2023). A nivel global, el maíz destaca como el cereal líder en términos de producción, extendiéndose a lo largo de zonas templadas y tropicales en todos los continentes (Deras-Flores, 2023; González-Robaina y otros, 2024; Zamora Salgado y otros, 2020). Su importancia radica en su versatilidad y amplia utilización, impulsada por

su diversidad genética (FAO, 2023). El maíz juega un papel crucial en la seguridad alimentaria y la nutrición, contribuyendo directa e indirectamente a la dieta humana. (Sáez-Cigarruista y otros, 2024).

Las proyecciones para la década de 2030 estiman que el maíz será el cultivo con mayor producción y consumo a nivel mundial (Zambrano & Andrade, 2021). Sin embargo, los productores enfrentan limitaciones significativas en el acceso a recursos como insumos, semillas mejoradas, agroquímicos y fertilizantes. Además, la alteración de factores agroclimáticos puede afectar el crecimiento y la productividad del maíz (Ahumada Cervantes y otros, 2020; Munguía-Aldama y otros, 2020; Noriega-Navarrete y otros, 2021).

2.2. Importancia y Producción del maíz en Ecuador

En Ecuador, el cultivo de maíz es de gran importancia, especialmente en la Sierra, debido a la extensa superficie dedicada a su producción y su papel como componente básico en la dieta de la población (Vásconez Montúfar y otros, 2021; Bonilla Bolaños & Singaña Tapia, 2019). La distribución y las formas de consumo están bien identificadas; en las tierras bajas se siembra maíz amarillo cristalino, destinado a la industria de balanceados, especialmente avícola, mientras que en las zonas altas se produce y se consume exclusivamente granos de textura harinosa y suave destinado para consumo humano (Caviedes Cepeda, 2019).

Este grano esencial tanto para la alimentación humana como para la agroindustria, ha experimentado variaciones en su producción a lo largo de los años en Ecuador; en 2016, la siembra abarcó 485,696 hectáreas con una producción de 1,667,704 toneladas, mientras que para 2021, la superficie sembrada se redujo a 355,000 hectáreas con una producción de 1.38 millones de toneladas, evidenciando un déficit de maíz duro de 132,108.17 toneladas entre 2021 y 2022; a pesar de la predominancia del monocultivo que degrada los suelos, se proyectó un aumento en la superficie sembrada de maíz amarillo para 2022 y 2023, alcanzando las 291,867.10 y 300,057.40 hectáreas respectivamente, impulsado por el uso de híbridos de alto rendimiento y políticas de precios de sustentación, aunque el desafío persiste en mejorar las prácticas agrícolas para una producción sostenible, explorando el uso de biofertilizantes, riego y otras técnicas (Caviedes Cepeda, 2019; Hasang Morán y otros, 2021; Lombeida García y otros, 2020; Ibarra Velásquez y otros, 2023)

2.3. Morfología del cultivo de maíz

Para realizar cualquier práctica agronómica es necesario entender la morfología del cultivo, puesto que las variables a tomar tienen relación directa con este apartado. Entre las características más relevantes podemos citar las expuestas por He y otros, (2021) y Zhang y otros, (2022):

- El maíz (*Zea mays* L.) es una gramínea anual de porte robusto, adaptada para una alta producción de materia seca gracias a su fuerte capacidad fotosintética. Se trata de una especie monoica, lo que significa que presenta inflorescencias masculinas y femeninas separadas en la misma planta.
- La **raíz principal** presenta un sistema radicular fasciculado y complejo³. Inicialmente, la raíz primaria y las raíces escutelares (seminales) emergen durante la germinación, siendo importantes para la captación de agua y nutrientes en la plántula. Posteriormente, se desarrollan raíces de la corona o nodales y raíces aéreas que surgen de los nodos del tallo. Las raíces laterales emergen de todos los tipos de raíces, aumentando el área de absorción en el suelo.
- El **tallo** es erecto, simple (sin ramificaciones), y puede alcanzar hasta 4 metros de altura. Está constituido por varios nudos y entrenudos, siendo similar a una caña. Al nivel de cada nudo, se inserta una hoja y una yema axilar. Internamente, el tallo presenta una médula esponjosa.
- Las **hojas** son largas, lanceoladas, alternas y paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y pueden presentar vellosidades en el haz. Los extremos de las hojas suelen ser afilados y cortantes. El ángulo de la hoja es un rasgo agronómico importante, influyendo en la densidad de siembra y la eficiencia en la captación de luz.
- Sus **flores** (Inflorescencias): El maíz es una planta monoica, con inflorescencias masculinas (panículas) y femeninas (mazorcas) separadas. La Inflorescencia masculina (panícula) se ubica en el ápice de la planta y está formada por un eje principal y ramificaciones laterales compuestas por espiguillas. Cada espiguilla contiene dos flores, cada una con tres estambres donde se desarrolla el polen. Una panícula puede producir entre 20 a 25 millones de granos de polen. La inflorescencia femenina (mazorca) es una inflorescencia lateral que se origina de la yema axilar de una hoja. La mazorca posee de 12 a 20 hileras de óvulos insertas en un eje esponjoso llamado olote o coronta, terminando en largos estilos (sedas).

Está protegida por brácteas (hojas modificadas) llamadas chalas. La función de la seda es capturar el polen para fecundar el óvulo.

- El **fruto** o mazorca es la infrutescencia femenina donde se desarrollan los granos de maíz. Posee de 12 a 20 hileras de óvulos insertas en un eje esponjoso llamado olote o coronta, terminando en largos estilos (sedas). Está protegida por brácteas (hojas modificadas) llamadas chalas. La buena humedad del suelo durante la floración facilita la salida de las sedas.

2.4. Prácticas agronómicas en el cultivo de maíz

Las labores agronómicas desempeñan un papel fundamental, determinando el éxito o el fracaso de un cultivo. Estas prácticas, que abarcan la siembra, el riego, la fertilización y el control de malezas y plagas, son esenciales para garantizar un desarrollo adecuado del cultivo y una producción óptima (Pal y otros, 2020; Kaur & Sharma, 2022)

Entre las principales prácticas que destaca la investigación de citamos:

2.4.1. Siembra

La siembra del maíz es una etapa crucial que determina el éxito del cultivo. Las prácticas recomendadas incluyen:

- **Selección de Variedades:** Elegir variedades adaptadas a la región y a las condiciones climáticas. Las variedades híbridas suelen ofrecer mejores rendimientos y resistencia a enfermedades.
- **Época de Siembra:** La siembra debe realizarse en la época adecuada, generalmente durante la temporada de lluvias o cuando se prevé suficiente humedad en el suelo.
- **Densidad de Siembra:** La densidad óptima varía según la variedad y las condiciones del suelo, pero generalmente se recomienda entre 50,000 y 80,000 plantas por hectárea. Una mayor densidad puede aumentar la competencia por luz y nutrientes.
- **Método de Siembra:** Puede ser manual o mecánica. La siembra mecánica permite una distribución más uniforme y una mayor eficiencia en el uso de semillas.

2.4.2. Riego

El riego es fundamental para asegurar un crecimiento óptimo del maíz, especialmente en períodos de sequía. Las prácticas incluyen:

- **Frecuencia y Cantidad:** El riego debe ajustarse a las necesidades hídricas del cultivo, que varían según la fase fenológica. En general, se requieren entre 500 y 700 mm de agua durante todo el ciclo del cultivo.
- **Métodos de Riego:** Se pueden utilizar sistemas de riego por goteo, microaspersión o aspersión, siendo el riego por goteo el más eficiente en términos de uso del agua.
- **Monitoreo del Suelo:** Es importante realizar mediciones periódicas de humedad en el suelo para determinar cuándo es necesario regar.

2.4.3. Manejo de malezas

El control efectivo de malezas es esencial para maximizar la productividad del maíz. Las estrategias incluyen:

- **Desmalezado Manual o Mecánico:** El desmalezado manual es efectivo pero laborioso; el desmalezado mecánico puede ser más eficiente en grandes extensiones.
- **Uso de Herbicidas:** Aplicar herbicidas pre-emergentes y post-emergentes puede ayudar a controlar las malezas. Es importante seguir las recomendaciones sobre dosis y tiempos de aplicación para evitar daños al cultivo.
- **Rotación de Cultivos:** Implementar rotaciones con otros cultivos puede ayudar a reducir la presión de malezas y mejorar la salud del suelo.

2.4.4. Fertilización

La fertilización adecuada es clave para lograr un crecimiento saludable y altos rendimientos en el maíz. Las prácticas recomendadas son:

- **Análisis de Suelo:** Realizar un análisis del suelo antes de la siembra para determinar las necesidades nutricionales y ajustar la fertilización según los resultados.

- **Fertilización Inicial:** Aplicar fertilizantes ricos en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) al momento de la siembra para promover un buen establecimiento del cultivo.
- **Fertilización Complementaria:** Durante el ciclo del cultivo, se pueden realizar aplicaciones adicionales de nitrógeno, especialmente durante las fases críticas como la floración y llenado del grano.
- **Uso de Biofertilizantes:** Incorporar biofertilizantes puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y fomentar la salud del suelo.

2.5.Requerimientos edafoclimáticos del cultivo

El maíz se distingue por su notable diversidad genética y su capacidad para prosperar en una amplia gama de entornos. Su cultivo se extiende desde latitudes de 55°N hasta 40°S, y desde el nivel del mar hasta altitudes de 3800 msnm. Dentro de esta especie, se encuentran cultivares que varían significativamente en tamaño, desde menos de 1 metro de altura con 8 o 9 hojas y un ciclo de maduración de 60 días, hasta aquellos que superan los 5 metros con 40 o 42 hojas y un ciclo de maduración de 340 días. Para completar su ciclo de vida desde la siembra hasta la madurez, el maíz requiere entre 500 y 800 mm de agua (CIBIOGEM, 2020). A continuación, se resume, las condiciones edafoclimáticas expuestas en la investigación de Chugchilan, (2022)

2.5.1. Suelo

El maíz prospera en suelos francos, franco-limosos o franco-arcillo limosos, siempre y cuando estos sean fértiles y bien drenados, con temperaturas moderadamente elevadas durante el verano y lluvias distribuidas en las etapas de crecimiento; esta textura del suelo favorece el desarrollo radicular y la absorción de humedad y nutrientes, optimizando la producción siempre que el pH se mantenga entre 6 y 7, evitando así toxicidades por aluminio o deficiencias de microelementos, cuyas manifestaciones en campo pueden simular problemas de micronutrientes.

2.5.2. Requerimiento hídrico.

La disponibilidad de agua es un factor crítico en la producción de maíz, especialmente en zonas tropicales. El estrés hídrico temprano, entre los 15 y 30 días iniciales del cultivo,

puede resultar en la pérdida de plántulas y afectar la densidad de la población, o bien, estancar el crecimiento. El maíz es particularmente vulnerable a la sequía durante la floración, lo que puede impactar negativamente el rendimiento del grano, aunque una recuperación hídrica oportuna puede mitigar este efecto. Generalmente, el maíz requiere de 500 a 800 mm de precipitación bien distribuida a lo largo de su ciclo. No obstante, el maíz también es susceptible al encharcamiento, particularmente en los primeros 15 a 20 días después de la siembra, donde inundaciones de más de 24 horas pueden dañar el cultivo, sobre todo si las temperaturas son elevadas. Más adelante en el ciclo, el cultivo puede tolerar períodos de anegamiento de hasta una semana, aunque esto puede reducir significativamente el rendimiento.

2.5.3. Temperatura

Para una producción óptima de maíz, la temperatura ideal oscila entre 25 y 33°C durante el día y entre 17 y 23°C por la noche. La temperatura del suelo debe ser al menos de 10°C para asegurar una germinación rápida y uniforme, aunque las temperaturas óptimas para la germinación y emergencia de las plántulas se sitúan entre 29 y 32°C. Temperaturas más cálidas y húmedas en las primeras 24 a 48 horas después de la siembra pueden mitigar el estrés por frío. Durante la floración y el llenado del grano, las altas temperaturas pueden inducir una maduración más temprana, aunque el maíz puede crecer con temperaturas de hasta 38°C si el suelo está suficientemente húmedo. En cuanto a la humedad del suelo, las condiciones ideales corresponden al estado de capacidad de campo. Es esencial un suministro constante de agua, con precipitaciones que proporcionen entre 45 y 50 cm (450-500mm) de agua durante la temporada de crecimiento, aunque otros estudios señalan que se requieren entre 500 y 800 mm durante el ciclo de cultivo. La cantidad de agua a lo largo de la temporada de crecimiento no debería ser menor de 300 mm.

A continuación, se detalla en resumen las condiciones edafoclimáticas:

Cuadro 1. *Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz*

Cultivo	Textura	N	P	K	pH	T	P	Altitud
		(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(°C)	(%)	(msnm)
Maíz	F/FA/Fa.	150	200	150	5.5	18	20%	5– 3000
		a	a	a	a	a		
		200	250	200	7.5	30		

Fuente: Zambrano y otros, (2021)

Nota: La descripción de las siglas son: F: Franco, FA: Franco Arcilloso, Fa: Franco arenoso, y para P: pendiente

2.6. El suelo y los parámetros de retención.

2.6.1. La textura.

La textura del suelo, determinada por el porcentaje de arena, limo y arcilla, es fundamental para su calidad y afecta la retención de agua y nutrientes. Los suelos arcillosos, aunque retienen más agua y nutrientes debido a su microporosidad y elevada capacidad de intercambio catiónico, tienden a compactarse, lo que dificulta el crecimiento de las raíces. Por otro lado, los suelos arenosos son fáciles de trabajar y ofrecen buena aireación, pero pueden sufrir erosión y lixiviación de nutrientes durante lluvias intensas. Los suelos limosos, al carecer de partículas coloidales, son propensos a aglomerarse y compactarse, afectando la circulación del agua y el crecimiento de las plantas (Stivers, 2023).

2.6.2. Retención hídrica.

La retención de humedad en el suelo, que es vital para el desarrollo de las plantas, depende de cómo el suelo mantiene el agua contra la succión, influenciado principalmente por su textura y porosidad. Los suelos arenosos retienen menos agua y necesitan riego más frecuente, mientras que los suelos limosos y arcillosos almacenan más agua, reduciendo la necesidad de riego constante. La compactación del suelo, sin embargo, disminuye la retención de agua debido a la reducción de espacios porosos. Conocer la capacidad de retención de humedad es crucial para la gestión eficiente del agua y la salud de los cultivos (Bejar Pulido y otros, 2020)

2.6.3. Necesidades hídricas del cultivo.

La evapotranspiración (ET) es un proceso crucial en el ciclo hidrológico, que implica la transferencia de agua desde la superficie terrestre a la atmósfera a través de la evaporación directa y la transpiración de las plantas. Este proceso, que combina las demandas atmosféricas y las condiciones de la superficie terrestre, es un factor clave para determinar la sequía en regiones con precipitaciones limitadas. La ET comprende la evaporación del agua desde el suelo, las superficies acuáticas y la vegetación, junto con la transpiración, donde las plantas liberan vapor de agua a

través de sus estomas. La evapotranspiración es considerada la principal vía de salida del agua de una cuenca. La demanda de agua de los cultivos se estima comúnmente utilizando la evapotranspiración potencial, que representa la cantidad de agua que una superficie cubierta de vegetación puede evaporar o transpirar en condiciones óptimas de humedad y sin limitaciones por nutrientes, plagas o enfermedades (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2021; Ortíz, 2024)

2.6.4. Coeficiente del cultivo.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un valor adimensional que refleja la variación en la cantidad de agua que una planta extrae del suelo a lo largo de su ciclo vegetativo, desde la siembra hasta la cosecha. Este coeficiente integra las diferencias entre la evapotranspiración de un cultivo en particular y la de un cultivo de referencia, que suele ser una superficie de pasto en condiciones óptimas de crecimiento y sin restricciones hídricas. El K_c no es un valor fijo, sino que varía dinámicamente en función de factores inherentes al cultivo (tipo, variedad, etapa fenológica, características de hojas y altura) y factores externos como la ubicación geográfica, el clima y las prácticas agronómicas (fertilización, poda, manejo de malezas). La FAO (2006) divide la curva del coeficiente de cultivo en tres etapas: inicial, media y final, con valores que aumentan a medida que el cultivo desarrolla su área foliar y disminuyen durante la madurez y senescencia. En la práctica, el K_c se utiliza para calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) multiplicando el K_c por la evapotranspiración de referencia (ET_o), lo que permite estimar las necesidades hídricas del cultivo en diferentes etapas de crecimiento (Valdivieso, 2013).

A continuación, se expresa el Coeficiente del cultivo de maíz en las etapas de crecimiento:

Cuadro 2. *Coeficiente K_c del cultivo de maíz en todas sus etapas fenológicas.*

Etapa inicial	Etapa de desarrollo	Etapa intermedia	Etapa final
0.50	0.70	1.05	0.80

Fuente: FAO (2006)

2.6.5. La ET_c del cultivo.

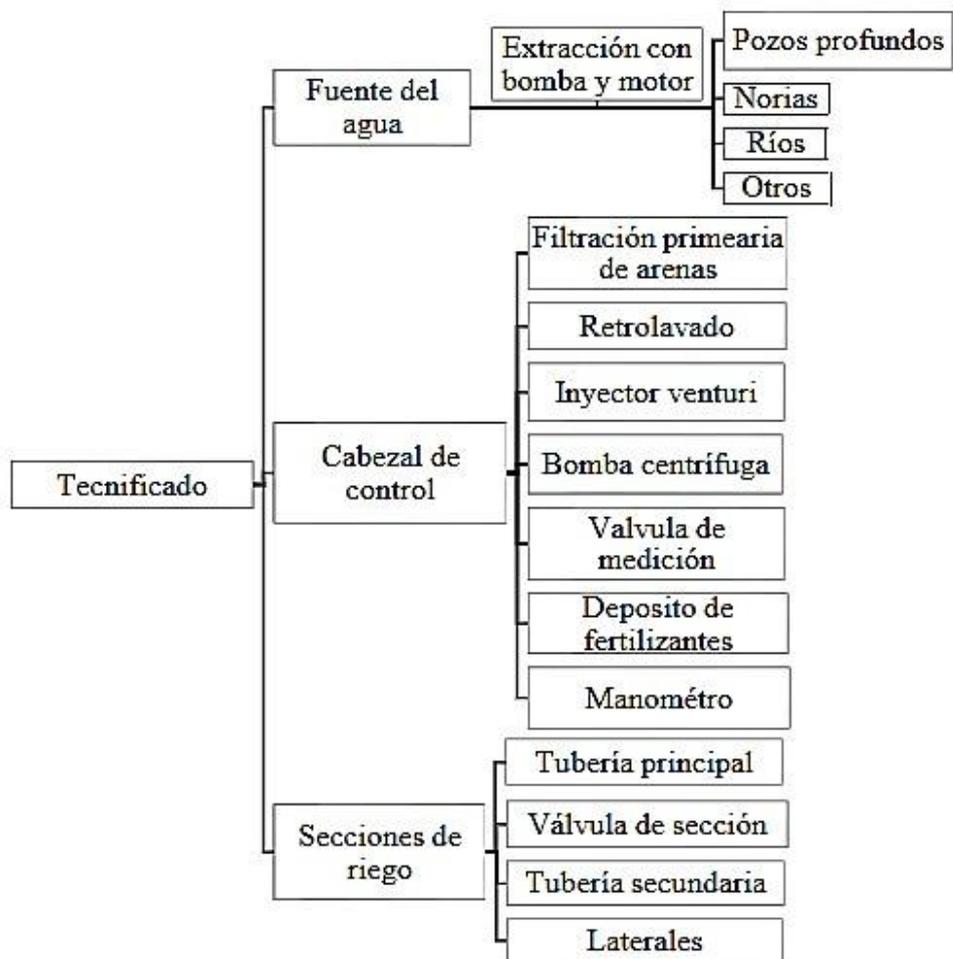
El consumo de agua en los cultivos es el resultado de la combinación de dos procesos: la evaporación directa desde la superficie del suelo y la transpiración, que es el mecanismo mediante el cual las plantas liberan agua a la atmósfera a través de sus

tejidos (Andrade y otros, 2023). Este consumo varía según el equilibrio entre la demanda de evaporación del entorno, las características específicas de las plantas, como su cobertura, y la disponibilidad de agua en el suelo. En condiciones óptimas de riego y nutrición, el maíz puede tener una evapotranspiración que oscila entre 450 y 900 mm durante su ciclo de crecimiento, lo que refleja la diversidad de ambientes donde se cultiva. La demanda evaporativa está influenciada por factores como la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento (Andrade y otros, 2023). Sin embargo, uno de los mayores desafíos para la producción de maíz en regiones tropicales es la limitada disponibilidad de agua. Durante las primeras etapas del cultivo, específicamente entre los 15 y 30 días después de la siembra, la falta de agua puede resultar en la pérdida de plántulas en crecimiento, lo que afecta negativamente el rendimiento (Deras-Flores H. , 2020)El maíz requiere entre 500 y 700 mm de agua, que debe ser suministrada adecuadamente durante las diferentes fases del crecimiento, siendo especialmente críticas las etapas de floración y llenado del grano. Las variaciones en las precipitaciones pueden causar alteraciones fisiológicas en las plantas, lo que resalta la necesidad de riego adicional para satisfacer estas demandas (Cartagena y otros, 2021).

2.7. Sistemas de riego.

La elección del sistema de riego más adecuado debe considerar factores como las necesidades del cultivo, las características del suelo, la topografía del terreno, los recursos económicos disponibles, la fuente de agua, el clima local, la disponibilidad de mano de obra y las prácticas de gestión de la parcela. La implementación de un sistema de riego superficial implica costos asociados al acondicionamiento del terreno, como el nivelado y trazado de surcos. En contraste, los sistemas de riego por aspersión o riego localizado requieren una mayor inversión inicial en equipos, pero minimizan los costos relacionados con la preparación física del suelo (López y otros, 2024; Jaramillo y otros, 2023). A continuación, se presentan los componentes esenciales de un sistema de riego tecnificado:

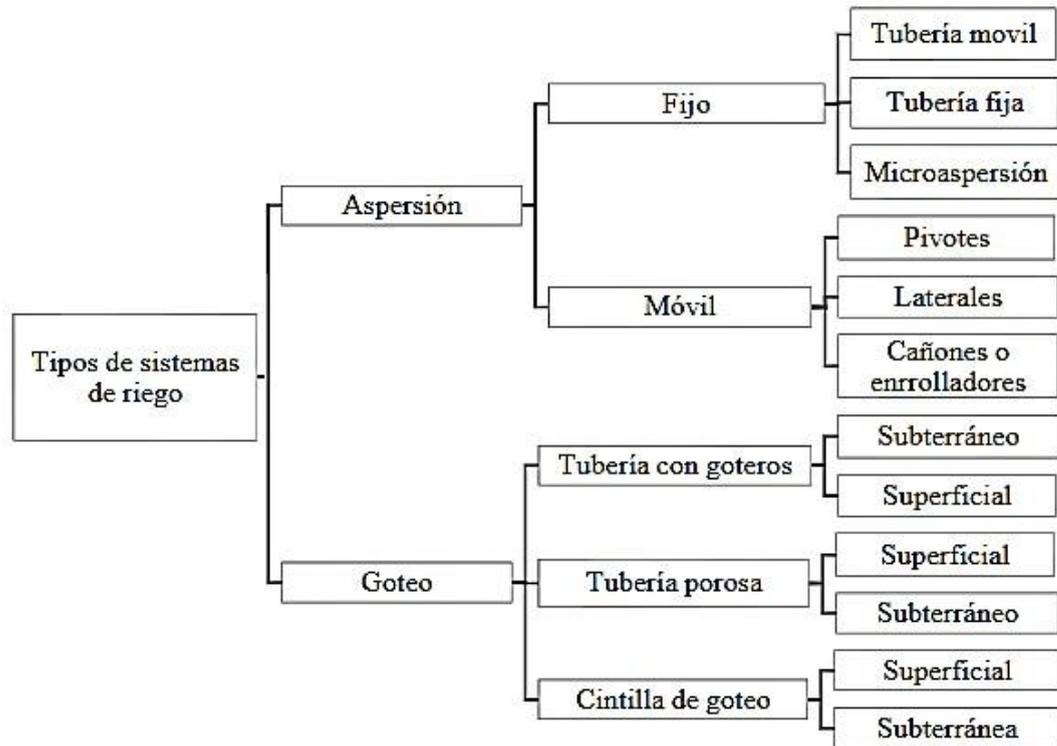
Figura 1. Componentes de un sistema de riego tecnificado



Los sistemas de riego por aspersión y goteo son métodos comunes en la agricultura, cada uno con sus propias características y aplicaciones. El riego por aspersión, que incluye la microaspersión, distribuye el agua sobre las plantas de forma similar a la lluvia, utilizando aspersores o boquillas giratorias. Es versátil y adaptable a diversos cultivos, suelos y topografías. Sin embargo, puede tener mayores pérdidas de agua por evaporación. La microaspersión, similar a la aspersión, emplea un menor caudal de agua, haciéndola eficiente para cultivos que requieren menor volumen de agua (Bermeo Ortiz, 2020).

El riego por goteo, por otro lado, suministra agua directamente a las raíces de las plantas a través de goteros o microtubos. Este método minimiza el desperdicio de agua, evita mojar las hojas (reduciendo el riesgo de enfermedades fúngicas) y permite una aplicación precisa de la cantidad necesaria para cada planta. Es especialmente útil para cultivos de alta densidad en áreas con recursos hídricos limitados. Sin embargo, los emisores de agua pueden obstruirse, lo que implica costos de mantenimiento (IICA, 2020; Jaramillo y otros, 2023)

Figura 2. Tipos de sistemas de riego



2.7.1. Efectos de riegos localizados en los cultivos agrícolas.

En cuanto al riego por goteo, este sistema optimiza el uso del agua, minimizando las pérdidas por escurrimiento y percolación profunda, especialmente en suelos limosos. Al reducir el contacto del agua con el follaje, tallos y frutos, se crean condiciones menos propicias para el desarrollo de enfermedades en las plantas. Una programación de riego bien ajustada a las necesidades del cultivo puede resultar en un incremento tanto en el rendimiento como en la calidad de la cosecha.

El estudio "Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en el rendimiento de cultivo de quinua bajo condiciones edafoclimáticas en el Centro Agronómico K'ayra-San Jerónimo Cusco" evaluó el impacto de tres frecuencias de riego por goteo (1, 3 y 5 días) en el rendimiento de la quinua, utilizando el método del "tanque clase A" para la aplicación del agua. Los resultados indicaron que las frecuencias de riego de 3 y 5 días presentaron rendimientos similares, con 6.36 y 6.46 toneladas por hectárea, respectivamente, superando significativamente el rendimiento obtenido con la frecuencia de riego diaria, que fue de 4.38 toneladas por hectárea. Adicionalmente, se determinó que la frecuencia de riego de 3 días fue la más eficiente en el uso del agua, produciendo 1.75 kg de grano por cada metro cúbico de agua utilizado (VargasFiguerola, 2022)

El estudio titulado "Efecto de la frecuencia de riego por goteo en el rendimiento del cultivo de mora (*Rubus glaucus* benth) en el centro de investigación y experimentación de Cañasbamba, Yungay-Ancash, 2017" se centró en evaluar cómo diferentes frecuencias de riego (cada 3, 5 y 7 días) afectan el rendimiento del cultivo de mora. Realizado entre 2017 y 2019, el estudio utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres unidades experimentales y repeticiones. Se registraron los valores de evaporación diaria, que se transformaron en evapotranspiración potencial (ET_o) y real (ET_r) utilizando un lisímetro artesanal. Los resultados mostraron que la frecuencia de riego de 7 días tuvo un requerimiento hídrico ideal de 5,981.8 m³/ha, comparable a las frecuencias de 3 y 5 días, mientras que el tratamiento por gravedad (T₀) requirió solo 2,176.7 m³/ha. En términos de rendimiento, la frecuencia de riego de 7 días resultó en una producción óptima de 5.56 toneladas por hectárea, superando las 4.31 toneladas por hectárea obtenidas con la frecuencia de 3 días. Así, se concluyó que el riego cada siete días es el estándar más efectivo para el cultivo de mora (Montes Caurino, 2019)

El estudio "Frecuencia de reposición hídrica en olivos (*Olea europaea* L.) bajo riego por goteo en un suelo franco arcilloso" investigó cómo la frecuencia de riego afecta el desarrollo vegetativo de los olivos. Se midieron parámetros del suelo (contenido volumétrico de agua) y de las plantas (altura, diámetro del tronco, longitud de brotes, área foliar, materia seca y resistencia difusiva) en tres tratamientos de riego: diario, cada 4 días y cada 7 días. Los resultados mostraron que la frecuencia de riego no tuvo un impacto significativo en el diámetro del tronco, la altura de la planta y la longitud de los brotes, excepto en el área foliar, que fue de 5.208 cm². El contenido óptimo de materia seca en las hojas se observó con una frecuencia de riego de 4 días (37.1%), seguido de cerca por la frecuencia de 7 días (35.6%). Se encontró que una mayor frecuencia de riego condujo a una disminución en la resistencia difusiva (Quezada y otros, 2005)

El estudio "Comportamiento del cultivo de amaranto en el valle inferior del río Negro, Argentina: optimización de las condiciones del cultivo" investigó la eficiencia del uso del agua en el cultivo de amaranto bajo riego gravitacional con tres frecuencias de riego (7, 14 y 21 días). El estudio buscó determinar las necesidades hídricas del cultivo y su producción en cuatro fechas de siembra, aplicando riego por goteo y fertilización nitrogenada (90 kg N/ha). Los resultados indicaron que la

frecuencia de riego de 14 días fue la más efectiva, alcanzando rendimientos de 3,800 kg/ha y una eficiencia en el uso del agua de 4.02 kg/m³, superando la frecuencia de 7 días (2.80 kg/m³). Esto demostró que el riego cada 14 días optimiza el uso del agua por kilogramo de grano producido, manteniendo una calidad nutricional eficaz tanto en el grano como en el forraje¹. El estudio también consideró el efecto del volumen de agua en el ciclo del cultivo, buscando evitar el período de lluvias en la zona (Zubillaga, 2017).

2.8. Parámetros de medición en la investigación.

Dentro de este estudio, se analizaron variables que desde el punto de vista investigativo resulta adecuada, las mismas que están apoyadas con estudios similares o que poseen en mismo enfoque indagatorio, siendo estas:

La medición de la *altura de las plantas* de maíz es un indicador fundamental del crecimiento y rendimiento del cultivo. Un estudio realizado por (López y otros, 2021) destaca que la altura de las plantas de maíz está directamente relacionada con su capacidad para maximizar la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, lo que influye en el rendimiento final del grano. En este sentido, el uso de herramientas simples como el flexómetro es ampliamente utilizado en estudios de campo, dado que proporciona una medición rápida y confiable para evaluar el crecimiento de las plantas (García & Martínez, 2019). Además, Rodríguez y Pérez, (2020) sugieren que la medición precisa de la altura de las plantas es crucial para comparar diferentes tratamientos de fertilización o riego, ya que una mayor altura puede ser indicativa de un mejor estado nutricional y un mayor rendimiento de grano. Sin embargo, Fernández y González, (2022) indican que la medición de la altura de la planta de maíz, aunque útil, puede no ser suficiente para predecir el rendimiento de manera precisa, ya que factores como el tamaño de la mazorca y el contenido de almidón también juegan roles importantes en la evaluación final del cultivo.

Otra variable a tomarse en cuenta es el *diámetro del tallo*, que según Smith y otros, (2020), se correlaciona directamente con el vigor de la planta, puesto que un mayor diámetro suele indicar un sistema vascular más desarrollado, lo que mejora la capacidad de la planta para acceder a recursos vitales como agua y nutrientes. Además, Johnson y Davis, (2018) resaltan la importancia de técnicas de medición precisas para el monitoreo de cultivos, debido a que las variaciones en el diámetro

del tallo pueden reflejar factores ambientales y de manejo agrícola. A través de técnicas como el uso de calibradores Vernier, se obtienen mediciones más consistentes y reproducibles que permiten un análisis detallado del crecimiento a lo largo del tiempo. Por otro lado, Lee y otros (2019) también afirman que la toma de mediciones regulares del diámetro del tallo es esencial para estudios fenotípicos, especialmente cuando se comparan diferentes tratamientos de riego o fertilización, lo que facilita la evaluación de su impacto en el desarrollo de la planta.

En lo que respecta al *peso y longitud de la mazorca*, la medición de estas variables es crucial para estudios agrícolas, debido a que está relacionado directamente con el rendimiento de los cultivos, y el uso de balanzas digitales como de flexómetros facilitan obtener mediciones precisas y rápidas, lo cual es especialmente útil en investigaciones que comparan diferentes técnicas de cultivo o tratamientos como el estudio realizado por Guamán y otros, (2020), como por Delgado y otros, (2024).

La variable peso de grano seco 14%, según **Martínez y Pérez (2019)** subrayan que este factor es determinante para evaluar el contenido de almidón y la calidad del maíz, lo que tiene implicaciones directas en el valor del producto final para la industria alimentaria. En este contexto, la balanza digital no solo proporciona precisión, sino también eficiencia, dado que estos dispositivos pueden registrar mediciones de manera más rápida y exacta que los métodos tradicionales (González y otros, 2020). Por otro lado, López y otros, (2018) investigaron el impacto de diferentes condiciones de secado sobre el peso de grano seco, demostrando que la exactitud en la medición es esencial para comparar diferentes técnicas de secado y optimizar los procesos de producción, es decir, la medición precisa de esta variable es un aspecto clave para el análisis y control de la producción de maíz, con un impacto directo en la calidad del cultivo y su comercialización

En otras investigaciones relacionadas a las variables evaluadas demostraron en el caso de Di Benedetto & Tognetti, (2016), quienes analizaron el crecimiento de plantas en cultivos intensivos, registraron que la uniformidad en la altura de las plantas es un indicador clave del manejo eficiente del riego por goteo. Rodríguez García y Puig Estrada (2020), demostraron que el riego por goteo mejora significativamente la uniformidad y eficiencia del riego, lo que se traduce en un mejor desarrollo de las plantas. Por su parte, Cavero et al. (2019) sobre la frecuencia del riego por aspersión en el maíz indicó que la programación y la frecuencia del

riego son factores críticos que pueden afectar significativamente el rendimiento del cultivo.

En la investigación de Arenas-Bautista et al. (2021) evaluaron la producción de cultivos bajo diferentes sistemas de riego y encontraron que el riego por goteo no solo mejora la eficiencia del uso del agua, sino que también puede aumentar el peso de la mazorca. Además, en otros estudios concluyen que el agua es esencial para la fotosíntesis y la transpiración, procesos que son fundamentales para la producción de energía y la regulación de la temperatura de la planta, así como para el llenado de la fruta (Moreno, 2020). Un suministro adecuado de agua también promueve el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes, lo que es vital para el desarrollo de la mazorca (Rodríguez García & Puig Estrada, 2020). Según Montemayor Trejo et al. (2020), el riego por goteo puede mejorar la eficiencia del uso del agua y aumentar el rendimiento de los cultivos al proporcionar una distribución uniforme del agua y los nutrientes.

Investigaciones sobre el riego por microaspersión concluyen que la distribución menos uniforme de agua y nutrientes puede limitar la disponibilidad de estos recursos para algunas plantas, lo que a su vez puede afectar negativamente el llenado de grano (Perez, 2023)

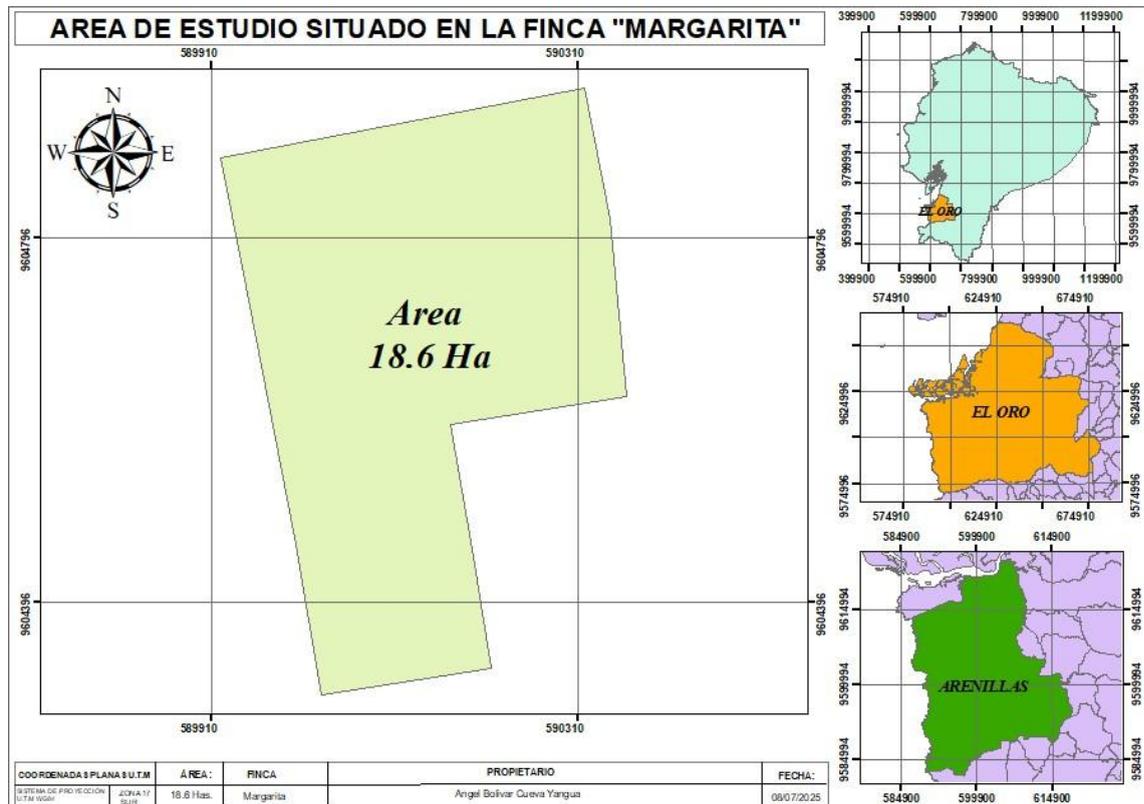
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Ubicación Geográfica

El estudio se realizó en la Finca “Margarita”, que pertenece al señor Angel Bolivar Cueva Yangua. Esta finca se encuentra en la provincia de El Oro, cantón Arenillas, en la parroquia de Chacras. Geográficamente, el área de estudio se ubica en las coordenadas 3°34'42" S y 80°11'18" W, a un altitud de 15 msnm. La Figura 1 exhibe la ubicación precisa del área de estudio, obtenida mediante el uso de software libre y la consulta de imágenes satelitales en Google Earth.

Figura 1.
 Mapa de ubicación del área experimental.



3.1.2. Clima y Ecología

El suelo de la zona ha sido clasificado como Inceptisol, perteneciente al subgrupo Aquic Dystrustepts, con una clase textural arcillo-arenoso-arcilloso, formado por sedimentos aluviales. El clima de la zona es tropical (AW), con una estación seca de mayo a diciembre y una estación lluviosa de enero a abril, con temperaturas promedio anuales entre 25 y 30 °C.

3.1.3. Material de campo

Los elementos básicos requeridos para la implementación del experimento comprenden una variedad de herramientas y suministros, entre los cuales se incluyen:

Material biológico:

- Maíz DAS5328.

Materiales para el sistema de riego por goteo:

- Goteros marca Katif con descarga de 2.3 L/h a una presión de 20 mca (144 goteros)

- Tubería de 16 mm de polietileno (120 m)
- Conectores de 25 mm a 16 mm (15 conectores)
- Tubos de 25 mm de pvc de 1.25 mpa (5 tubos)
- Llaves de bola de 25 mm (4 llaves)
- Uniones universales de 25 mm (2 uniones)

Materiales para el sistema de riego por microaspersión:

- Microaspersores IRRITEC; descarga 24.5 L/presión: 20mca (18 microaspersores)
- Estacas para microaspersores y conectores (18 estacas/18 conectores)
- Tubos de 25 mm de pvc de 1.25 mpa (5 tubos)
- Llaves de bola de 25 mm (4 llaves)
- Uniones universales de 25 mm (2 uniones)
- Tubería de 16 mm de polietileno (120 m)
- Pegamento (1/8 de L) y Teflón.

Equipos

- Electrobomba de ½ HP, Timer (8 salidas).

Además, se emplearon otros implementos agrícolas para la siembra, como: palas, lampillas, rastrillos, implementos para establecer el tutorado en el cultivo y letreros de identificación durante la recolección. Se usaron saquillos para la recolección de material a evaluar, pie de rey, balanza gramera, cinta adhesiva para identificación, así como implementos de oficina. Finalmente, se utilizó software especializado para el procesamiento de datos estadísticos.

3.1.4. Diseño Experimental

El Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) es una estrategia experimental donde los tratamientos se distribuyen aleatoriamente entre las unidades experimentales. Esto implica que cada unidad tiene la misma probabilidad de recibir cualquier tratamiento, lo cual ayuda a minimizar el sesgo y asegura que cualquier diferencia observada entre los

grupos tratados sea atribuible al efecto del tratamiento en sí y no a factores externos o características inherentes de las unidades experimentales.

Este diseño es el adecuado a la investigación, siendo usada para estudiar el efecto de diferentes tratamientos en las variables de interés, permitiendo minimizar la variabilidad experimental adaptándose a conseguir el objetivo planteado.

Se detalla gráficamente el croquis de campo implementada en este estudio investigativo:

Figura 3.

Diseño del Sistema de riego por goteo.

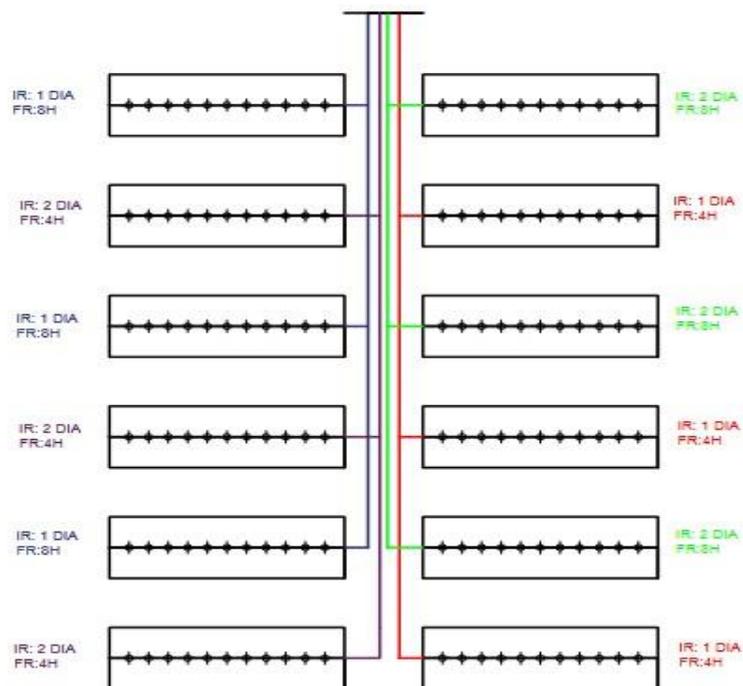
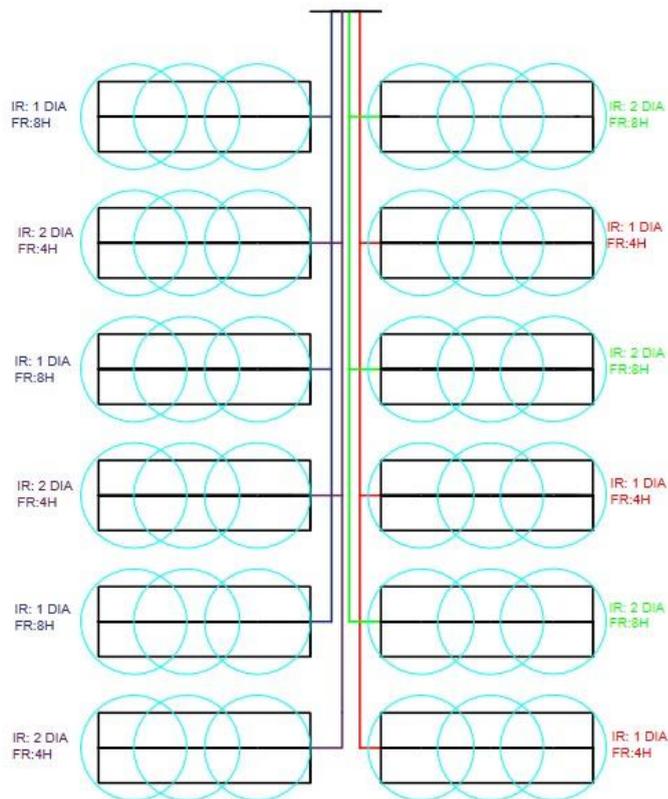


Figura 4.

Diseño del Sistema de riego por aspersión



3.2. Medición de variables

Se detallan las unidades de medida y la metodología que se aplicó en la medición de las variables a analizar, siendo estas:

3.2.1. Altura de planta.

Para evaluar el crecimiento en altura de las plantas de maíz, se empleó un flexómetro, siguiendo una metodología estandarizada. Inicialmente, se seleccionaron al azar plantas representativas del lote experimental, excluyendo aquellas con daños visibles o malformaciones que pudieran sesgar la medición.

La altura se determinó midiendo verticalmente la distancia desde la base del tallo, a nivel del suelo, hasta el punto más alto de la planta, ya sea la punta de la hoja más elevada o el extremo superior de la mazorca en formación. Se prestó especial atención a mantener la verticalidad del flexómetro para asegurar la precisión de la lectura.

Para cada tratamiento, se midió un número predefinido de plantas ($n=X$) y se calculó la altura promedio. Las mediciones se realizaron a intervalos regulares a lo largo del ciclo de cultivo, permitiendo así construir curvas de crecimiento y comparar el efecto de los diferentes tratamientos sobre esta variable.

Figura 5.
Medición de la variable altura de planta.



3.2.2. Diámetro del tallo.

La medición del diámetro del tallo se realiza con el pie de rey, una herramienta reconocida por su alta precisión. Este instrumento es particularmente útil para obtener mediciones directas del grosor de los tallos, lo cual es esencial en estudios relacionados con el crecimiento y la biología vegetal. **Figura 6.**

Medición de la variable Diámetro del tallo.



La medición del diámetro del tallo en las plantas de maíz se lleva a cabo seleccionando un número determinado de plantas al azar dentro del área de estudio. Se realiza la medición en un punto específico del tallo, generalmente en el segundo internodo o justo debajo de la inserción de la mazorca. Para ello, se utiliza un pie de rey, que permite obtener una lectura precisa en centímetros. Las mediciones pueden repetirse a lo largo del ciclo

de crecimiento de la planta, desde 15 días después de la germinación hasta el inicio de la floración, cada 15 días.

3.2.3. Peso de mazorca.

La determinación del peso de una mazorca de maíz mediante una balanza digital es un procedimiento técnico que garantiza precisión y confiabilidad en los resultados. Para ello, se debe colocar la balanza sobre una superficie plana y estable, asegurándose de realizar el taraje o ajuste a cero antes de iniciar la medición, con el fin de evitar interferencias por objetos adicionales.

Figura 7.

Medición de la variable Peso de la mazorca



La mazorca debe estar limpia y libre de residuos, como restos de tallo o suciedad; en el caso de mazorcas frescas, se debe verificar su limpieza, mientras que en mazorcas secas es fundamental asegurarse de que no contengan humedad residual. Posteriormente, se coloca la mazorca sobre la plataforma de la balanza y se espera a que la lectura en la pantalla digital se estabilice para registrar el peso exacto, expresado generalmente en gramos o kilogramos. Este procedimiento puede repetirse con múltiples mazorcas para calcular un promedio representativo del peso.

3.2.4. Peso del grano seco.

Para determinar el peso del grano seco al 14% de humedad, se procede inicialmente a cosechar las mazorcas maduras y se desgranán los granos. Posteriormente, se utiliza un medidor de humedad para determinar el contenido de humedad de una muestra representativa de los granos. Si la humedad es superior al 14%, se procede al secado de los granos, ya sea mediante métodos naturales (exposición al sol) o artificiales (estufas de secado), hasta alcanzar dicho nivel. Finalmente, se pesa una cantidad específica de granos secos con una balanza de precisión, registrando el peso en gramos o kilogramos. Este

valor representa el peso del grano seco al 14% de humedad, un indicador crucial para evaluar el rendimiento y la calidad del grano cosechado.

Figura 8.

Medición de la variable Peso de granos secos al 14%



3.2.5. Longitud de mazorca.

La determinación de la longitud de la mazorca de maíz se efectúa empleando una cinta métrica calibrada. Inicialmente, la mazorca se posiciona sobre una superficie horizontal, asegurando su correcta alineación longitudinal. El extremo inicial de la cinta métrica se ubica en la base de la mazorca, en el punto de inserción con el pedúnculo, y se extiende la cinta a lo largo del eje longitudinal de la mazorca hasta alcanzar el ápice, manteniendo una tensión constante para evitar errores de medición. La lectura se registra en centímetros, verificando la alineación de la cinta a lo largo de la curvatura de la mazorca, en caso de que exista, para garantizar la precisión del dato obtenido.

Figura 9.

Medición de la variable Longitud de la mazorca



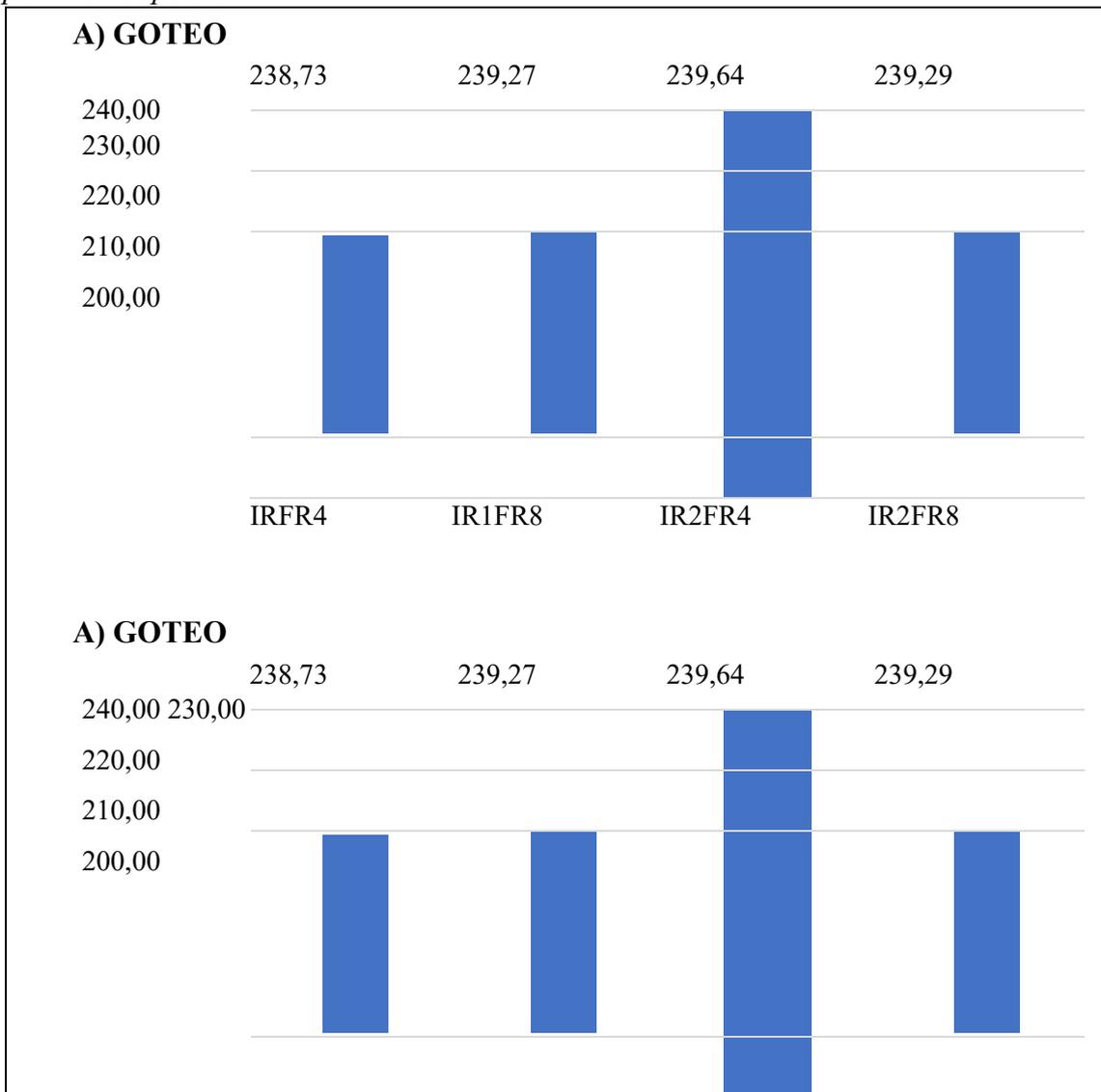
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. Altura de planta.

Para conocer si existe alguna diferencia significativa entre los tratamientos, se realizó la comparación entre los sistemas de riego estudiados, mostrando en la **Figura 12** la comparación entre los tratamientos de la variable altura de planta en la última semana de registro. En el tratamiento de goteo, los valores fluctuaron entre 238.73 cm para IR1FR4, seguido de 239.20 cm para IR1FR8, 239.64 cm para IR2FR8 y 239.64 cm para IR2FR4. Por otro lado, en el tratamiento de microaspersión, los valores fueron más heterogéneos. En particular, IR1FR4 presentó un promedio de altura de planta de 219.30 cm, seguido de IR2FR8 con 226.84 cm, mientras que IR1FR8 y IR2FR4 mostraron los valores más altos con 230.03 cm y 231.02 cm, respectivamente.

Figura 10.

Promedio de altura de plantas de maíz por tratamiento: A) Riego por Goteo; B) Riego por microaspersión.



IRFR4	IR1FR8	IR2FR4	IR2FR8

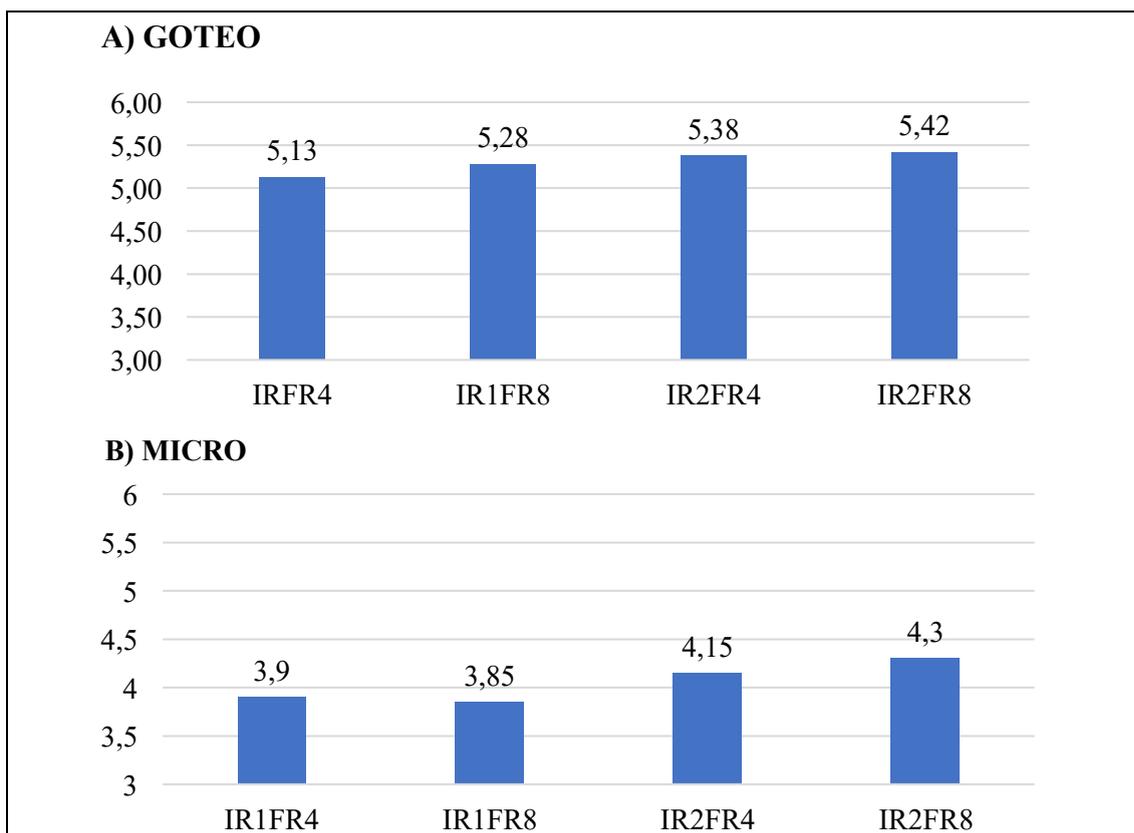
Los resultados obtenidos indican que el tratamiento de goteo tiende a producir plantas con alturas más uniformes y ligeramente superiores en comparación con el tratamiento de microaspersión. Esto podría deberse a una distribución más eficiente del agua y nutrientes en el sistema de goteo, lo que favorece un crecimiento más consistente Benedetto & Tognetti, (2016), quienes analizaron el crecimiento de plantas en cultivos intensivos, registraron que la uniformidad en la altura de las plantas es un indicador clave del manejo eficiente del riego por goteo.

4.2. Diámetro del tallo.

El diámetro del tallo del maíz medido en la última semana de la investigación se presenta en la **Figura 13**. El sistema de riego por goteo mostró valores promedio de 5.13 cm que corresponde a IR1FR4 hasta 5.42 cm en IR2FR8. En el sistema de riego por microaspersión los valores fueron inferiores con un registro mínimo de 3.85 cm en IR1FR8 hasta 4.30 cm en IR2FR8.

Figura 11.

Promedio del diámetro de tallo de maíz por tratamiento.



Esta notable diferencia en el diámetro del tallo puede atribuirse a las características de cada sistema de riego, como lo indica (Rodríguez García & Puig Estrada, 2020), demostraron que el riego por goteo mejora significativamente la uniformidad y eficiencia del riego, lo que se traduce en un mejor desarrollo de las plantas. Por esto, el riego adecuado asegura que los nutrientes disueltos en el suelo estén disponibles para las raíces del maíz.

Los nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio son esenciales para el desarrollo del maíz por tanto tiene una relación con el diámetro del tallo de las plantas en especial gramíneas. En este marco, el riego por microaspersión, aunque eficiente en términos de uso del agua, puede no proporcionar la misma uniformidad en la distribución de agua y nutrientes que el riego por goteo (Cavero y otros, 2019)

4.3. Peso de mazorca.

El Cuadro 3 presenta los estadísticos descriptivos del peso de la mazorca de maíz por tratamientos. En el sistema de riego por goteo, los valores promedio oscilaron entre 235.60 g para IR2FR8 y 241.04 g para IR1FR4. La desviación estándar varió entre 17.80 g y 22.16 g, indicando una variabilidad moderada en los pesos de las mazorcas. En el

sistema de riego por microaspersión, los valores promedio fueron ligeramente inferiores, oscilando entre 223.42 g para IR2FR8 y 231.14 g para IR2FR4. La desviación estándar en este sistema varió entre 16.52 g y 19.88 g.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivo peso de la mazorca de maíz por tratamientos.

Sistema	Tratamiento	Conteo	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Goteo	IR ₁ FR ₄	30		22.16			
	IR ₁ FR ₈	30		17.80			
	IR ₂ FR ₄	30		21.35			
	IR ₂ FR ₈	30	241.04	22.05	(50%)		
			237.52		240.18	274.88	
			237.65		239.18	274.50	
			235.60		240.32	270.75	
			229.14		236.74	274.91	
			227.77		226.00	259.09	
			231.14		225.60	259.87	
223.42		229.87	259.79				
Microaspersión	IR ₁ FR ₄	30		16.52			
	IR ₁ FR ₈	30		17.36			
	IR ₂ FR ₄	30		19.88			
	IR ₂ FR ₈	30		16.97	200.14	218.95	257.33

Cavero y otros, (2019) sobre la frecuencia del riego por aspersión en el maíz indicaron que la programación y la frecuencia del riego son factores críticos que pueden afectar significativamente el rendimiento del cultivo. Este estudio sugiere que, aunque el riego por microaspersión puede ser eficiente, su efectividad puede depender en gran medida de la gestión adecuada del riego en cuanto intervalos de riego.

Los resultados del análisis ANOVA, presentados en el Cuadro 4, indican que no hay diferencias significativas en el peso de la mazorca entre los tratamientos dentro de cada sistema de riego. Para el sistema de riego por goteo, el valor F fue 0.35 con un valor p de 0.789, mientras que, para el sistema de riego por microaspersión, el valor F fue 1.02 con un valor p de 0.386. Estos resultados sugieren que, dentro de cada sistema de riego, las diferencias en el peso de la mazorca no son estadísticamente significativa.

Cuadro 4. ANOVA: peso de mazorca por tratamiento

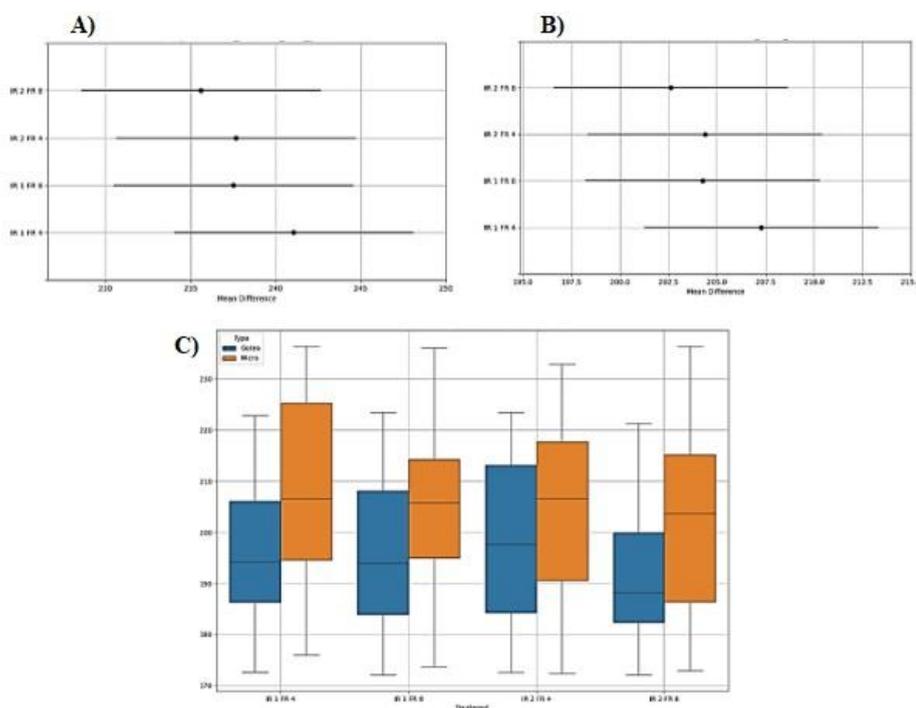
Tratamiento	Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad (df)	F	Valor P (PR(>F))	
						Goteo
Microaspersión	Tratamiento 116	964.08	3	Residual 36468.49	1.02	0.386

La **Figura 3** presenta la prueba de Tukey al 5% de significancia para la variable peso de mazorca de maíz. Los gráficos muestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Figura 12.

Prueba de Tukey 5% para el peso del grano de mazorca: **A) Goteo; B) Microaspersión;**

C) Comparación de medias.



Sin embargo, en Figura 3C, la diferencia es notable, con el sistema de riego por goteo obteniendo los valores más altos. Los resultados de la prueba de Tukey indican que, aunque no hay diferencias significativas entre los tratamientos, el sistema de riego por goteo tiende a producir mazorcas con mayor peso en comparación con el sistema de microaspersión. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han demostrado la

eficiencia del riego por goteo en la mejora del rendimiento de los cultivos como al del maíz (Rodríguez García & Puig Estrada, 2020).

Por otro lado, Arenas-Bautista y otros, (2021) evaluaron la producción de cultivos bajo diferentes sistemas de riego y encontraron que el riego por goteo no solo mejora la eficiencia del uso del agua, sino que también puede aumentar el peso de la mazorca, en parte porque al estar mejor distribuida el agua existe una mejor asimilación de los nutrientes.

4.4. Longitud de la mazorca.

En el *Cuadro 5*, se presentan los estadísticos descriptivos de la longitud de la mazorca de maíz por tratamientos. En el sistema de riego por goteo, los valores promedio oscilaron entre 17.14 cm para IR2FR8 y 17.26 cm para IR1FR8. La desviación estándar varió entre 0.39 cm y 0.50 cm, indicando una variabilidad moderada en la longitud de las mazorcas. En el sistema de riego por microaspersión, los valores promedio fueron ligeramente inferiores, oscilando entre 16.65 cm para IR1FR8 y 16.84 cm para IR2FR4. La desviación estándar en este sistema varió entre 0.36 cm y 0.41 cm.

Cuadro 5. Estadísticos descriptivo Longitud mazorca de maíz por tratamientos

Sistema	Tratamiento	Conteo	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Mediana (50%)	Máximo
Goteo	IR ₁ FR ₄	30		0.48	16.53	17.18	17.94
	IR ₁ FR ₈	30		0.50	16.57	17.11	17.98
	IR ₂ FR ₄	30		0.39	16.55	17.06	17.84
	IR ₂ FR ₈	30	17.24		16.52	17.01	17.96
				17.26			
				17.18			
				17.14			
				16.78			
Microaspersión	IR ₁ FR ₄	30		0.36	16.12	16.80	17.41
	IR ₁ FR ₈	30		0.41	16.15	16.70	17.46
	IR ₂ FR ₄	30		0.37	16.18	16.82	17.46
	IR ₂ FR ₈	30		0.40	16.12	16.90	17.45
				16.84			
				16.65			
				16.82			
				16.82			

Desde una perspectiva fisiológica, el riego adecuado es crucial para el crecimiento y desarrollo del maíz. El agua es esencial para la fotosíntesis y la transpiración, procesos que son fundamentales para la producción de energía y la regulación de la temperatura de la planta, así como para el llenado de la fruta (Moreno, 2020). Un suministro adecuado de agua también promueve el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes, lo que es vital para el desarrollo de la mazorca (Rodríguez García & Puig Estrada, 2020).

Los resultados del análisis ANOVA para la longitud de la mazorca por tratamiento se presenta en el **Cuadro 6**. Para el sistema de riego por goteo, el valor F fue 0.45 con un valor p de 0.720, mientras que, para el sistema de riego por microaspersión, el valor F fue 1.51 con un valor p de 0.216. Estos resultados indican que no hay diferencias significativas en la longitud de la mazorca entre los tratamientos dentro de cada sistema de riego.

Cuadro 6. ANOVA: longitud de mazorca por tratamiento.

Sistema	Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad (df)	F	Valor P (PR(>F))
Goteo	Tratamiento	0.2772	3	0.45	0.720
	Residual	23.9734	116		
Microaspersión	Tratamiento	0.6795	3	1.51	0.216
	Residual	17.4020	116		

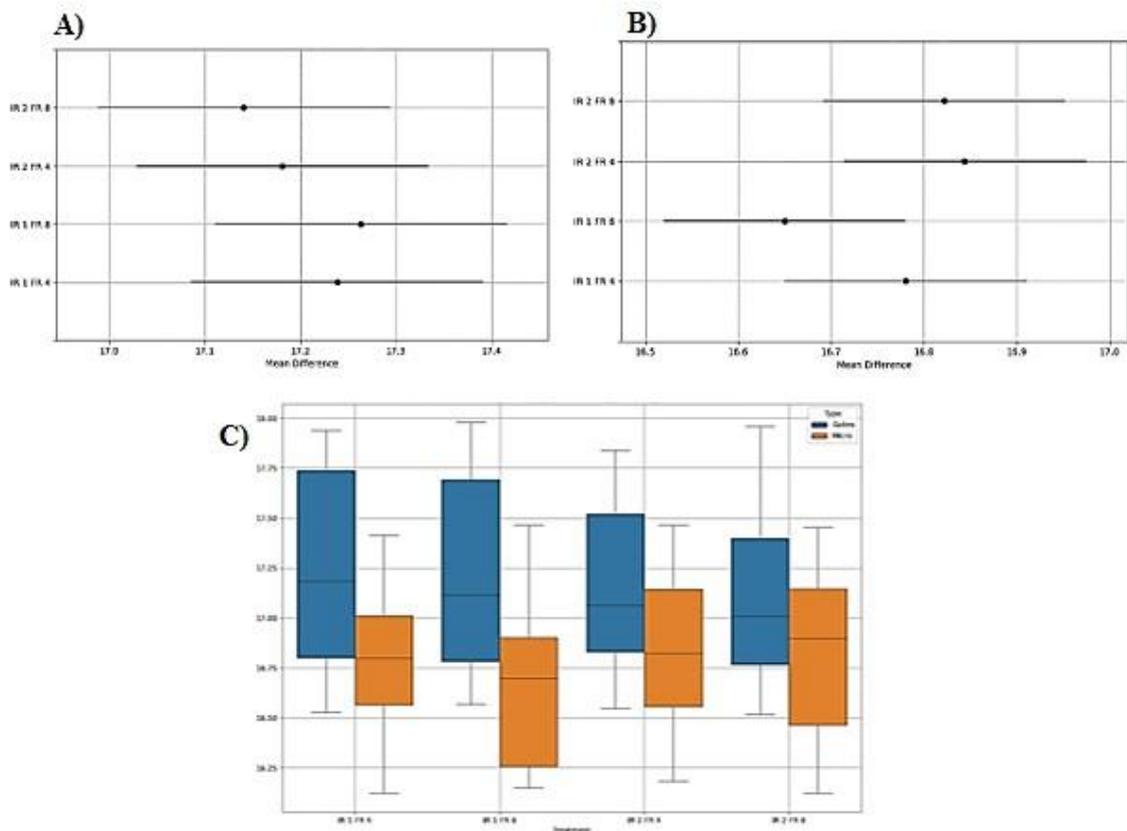
La **Figura 15** muestra los resultados de una prueba de Tukey al 5% para comparar la longitud de mazorca de maíz bajo dos sistemas de riego: goteo y microaspersión, con diferentes intensidades y frecuencias de riego (IR y FR, respectivamente). Se presentan diagramas de cajas (boxplots) para visualizar la distribución de la longitud de mazorca en cada tratamiento: En el Riego por goteo (A), se observa una tendencia general de aumento en la longitud de mazorca a medida que aumenta la intensidad y/o frecuencia de riego, aunque la diferencia no parece ser muy grande entre tratamientos. Mientras en Microaspersión (B), similar al goteo, se aprecia un ligero incremento en la longitud de mazorca con mayores intensidades y frecuencias de riego.

Los resultados sugieren que el sistema de riego y la combinación de intensidad y frecuencia influyen en la longitud de la mazorca de maíz. El riego por goteo, especialmente con IR 2 y FR 8, parece favorecer un mayor crecimiento de la mazorca en comparación con la microaspersión. Esto podría explicarse por una mejor eficiencia en la

aplicación del agua y nutrientes al sistema radicular de la planta con el riego por goteo, lo que permite un desarrollo óptimo de la mazorca (Pérez, 2023).

Figura 13.

Prueba de Tukey al 5% para la longitud de mazorca: A) Goteo; B) Microaspersión; C) comparación de medias.



Es importante notar que las diferencias observadas no son dramáticas, lo que sugiere que ambos sistemas de riego pueden ser adecuados para el cultivo de maíz. Sin embargo, el riego por goteo podría ser una mejor opción si se busca maximizar la longitud de la mazorca y, potencialmente, el rendimiento del cultivo.

4.5. Peso del grano seco.

En el Cuadro 7 presenta los estadísticos descriptivos del peso del grano de maíz por tratamientos. En el sistema de riego por goteo, los valores promedio oscilaron entre 192.14 g para IR2FR8 y 198.78 g para IR2FR4. La desviación estándar varió entre 14.21 g y 17.10 g, indicando una variabilidad moderada en los pesos de los granos. En el sistema de riego por microaspersión, los valores promedio fueron ligeramente superiores,

oscilando entre 202.61 g para IR2FR8 y 207.29 g para IR1FR4. La desviación estándar en este sistema varió entre 15.31 g y 19.06 g.

Cuadro 7. Estadísticos descriptivo peso del grano de maíz.

Sistema	Tratamiento	Conteo	Desviación		Mínimo	Mediana (50%)	Máximo
			Media	Estándar			
Goteo	IR ₁ FR ₄	30	197.06	14.21	172.64	194.36	222.82
	IR ₁ FR ₈	30	195.88	14.93	172.09	194.01	223.49
	IR ₂ FR ₄	30	198.78	17.10	172.59	197.69	223.42
	IR ₂ FR ₈	30	192.14	14.59	172.12	188.30	221.30
Microaspersión	IR ₁ FR ₄	30	207.29	19.06	175.93	206.55	236.39
	IR ₁ FR ₈	30	204.27	15.31	173.71	205.69	236.07
	IR ₂ FR ₄	30	204.38	18.36	172.50	206.67	232.84
	IR ₂ FR ₈	30	202.61	18.96	172.98	203.60	236.42

El **Cuadro 8** muestra los resultados del análisis ANOVA para el peso del grano por tratamiento. Para el sistema de riego por goteo, el valor F fue 1.02 con un valor p de 0.38, mientras que, para el sistema de riego por microaspersión, el valor F fue 0.35 con un valor p de 0.789. Estos resultados indican que no hay diferencias significativas en el peso del grano entre los tratamientos dentro de cada sistema de riego.

Según Montemayor y otros (2020), el riego por goteo puede mejorar la eficiencia del uso del agua y aumentar el rendimiento de los cultivos al proporcionar una distribución uniforme del agua y los nutrientes. Sin embargo, en este estudio, aunque el riego por goteo mostró valores ligeramente superiores en el peso del grano, las diferencias no fueron significativas. Esto podría deberse a la variabilidad en otros factores agronómicos, como la fertilización y las condiciones del suelo.

Cuadro 8. ANOVA: peso de mazorca por tratamiento.

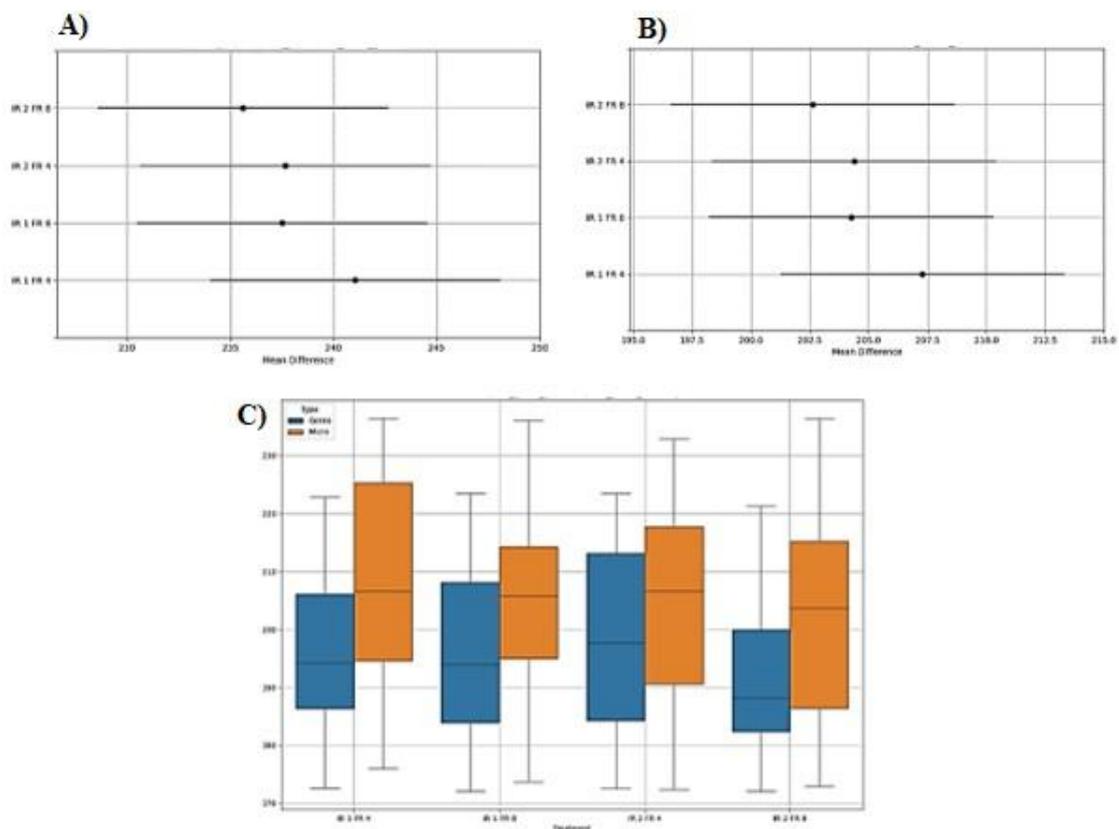
Sistema	Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad (df)	F	Valor P (PR(>F))
Goteo	Tratamiento	713.03	3	1.02	0.38
	Residual	26972.09	116		
Microaspersión	Tratamiento	340.03	3	0.35	0.789
	Residual	37528.90	116		

La **Figura 5**, muestra los resultados de una prueba de Tukey al 5% para comparar el peso del grano de mazorca de maíz bajo dos sistemas de riego: goteo y microaspersión, con diferentes intensidades y frecuencias de riego (IR y FR, respectivamente). Se presentan diagramas de cajas (boxplots) para visualizar la distribución del peso del grano en cada tratamiento. Se observa una tendencia general de aumento en el peso del grano a medida que aumenta la intensidad y/o frecuencia de riego, aunque la diferencia no parece ser muy grande entre tratamientos. El riego por goteo, especialmente con IR 2 y FR 8, parece favorecer un mayor peso de grano en comparación con la microaspersión. Esto podría explicarse por una mejor eficiencia en la aplicación del agua y nutrientes al sistema radicular de la planta con el riego por goteo, lo que permite un desarrollo más óptimo del grano. Es importante notar que las diferencias observadas no son dramáticas, lo que sugiere que ambos sistemas de riego pueden ser adecuados para el cultivo de maíz.

Figura 14.

Prueba de Tukey 5% para el peso del grano de mazorca: A) Goteo; B) Microaspersión;

C) comparación de medias



Investigaciones sobre el riego por microaspersión concluyen que la distribución menos uniforme de agua y nutrientes puede limitar la disponibilidad de estos recursos para algunas plantas, lo que a su vez puede afectar negativamente el llenado de grano (Pérez,

2023). Por otra parte, el estrés hídrico, causado por la falta de agua, puede afectar negativamente la fotosíntesis, la translocación de azúcares y el desarrollo del grano (Hsiao, 2000). El riego por goteo, al mantener una humedad adecuada en el suelo, reduce el riesgo de estrés hídrico y favorece un mayor peso de grano.

5. CONCLUSIONES.

A partir de los resultados expuesto se concluye:

- Los resultados obtenidos indican que el sistema de riego por goteo tiende a producir plantas de maíz con alturas, diámetro de tallo y peso de mazorca más uniformes y ligeramente superiores en comparación con el sistema de microaspersión. Este hallazgo sugiere que el riego por goteo proporciona una distribución más eficiente del agua y los nutrientes, favoreciendo un crecimiento más consistente.
- Aunque no se encontraron diferencias significativas en el peso de la mazorca y del grano entre los tratamientos dentro de cada sistema de riego, los valores promedio fueron ligeramente superiores en el sistema de riego por goteo. Esto indica que, aunque ambos sistemas de riego son adecuados para el cultivo de maíz, pero el riego por goteo podría ofrecer ventajas adicionales en términos de rendimiento y calidad del cultivo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ahumada Cervantes, R., Velázquez Angulo, G., Flores Tavizón, E., y Romero González, J. (2020). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*, 22(61), 48-53.
- Andrade, F. H., Otegui, M. E., Cirilo, A. G., y Uhart, S. (2023). *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz*. MAIZAR, Asociación Maíz y Sorgo Argentino. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12123/14738>
- Arenas-Bautista, M., Vélez-Sánchez, J., y Camacho-Tamayo, J. (2021). Evaluación de dos sistemas de riego por goteo en la producción y la calidad de la fruta de pera (*Pyrus communis* L.) variedad Triunfo de Viena. *Acta Agronómica*, 61(1), 1-9.
- Bejar Pulido, S., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M., y Luna Robles, E. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. *Revista mexicana de ciencias forestales*.
- Benedetto, A., y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Bermeo Ortiz, L. (2020). *Diseño y programación de un sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (Coffea canephora) en el campus La María*. Quevedo.: UTEQ.
- Blanco-Valdes, Y., y González-Viera, D. (2021). Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 42(3), 1-12. <https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v42n3/1819-4087-ctr-42-03-e08.pdf>
- Bonilla Bolaños, A., y Singaña Tapia, D. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 70-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>
- Cartagena, Y., Zambrano, J., Parra, R., Angamarca, M., Manguashca, J., Rivadeneira, J., y Velásquez, D. (2021). Evaluación del uso eficiente del agua en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad INIAP 101, con diferentes niveles de fertilización. *Repositorio digital INIAP*, 1(38), 15-16. <https://doi.org/http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5804>

- Cavero, J., Medina, E., y Montoya, F. (2019). Efecto de la frecuencia del riego por aspersión con cobertura total sobre el rendimiento del maíz. *Grandes Cultivos.com*, 22(1), 8-12.
- Caviedes Cepeda, G. M. (2019). Producción de semilla de maíz duro en el Ecuador: retos y oportunidades. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(1), 116–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>
- Chugchilan, L. (2022). *Efecto de la frecuencia de riego por goteo en la producción del cultivo de maíz (Zea mays L.)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/bd63ab7e-c17e-4b7d-9928-2bdfb8fc0890>
- CIBIOGEM. (2020). *gob.mx*. CIBIOGEM: <https://secihti.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Delgado, R., Pacheco, H., y Zamora, E. (2024). Respuesta espectral del cultivo del maíz aplicando dosis diferenciadas de fertilización. *SAPIENTIAE*, 7(13), 60-70.
- Deras-Flores, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo de maíz*. IICA. <https://doi.org/https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Deras-Flores, H. (2023). *Guía técnica: el cultivo de maíz*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://doi.org/https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Di Benedetto, A., y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://doi.org/https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm>
- FAO. (2023). *Perspectivas alimentarias: Análisis de los mercados mundiales* (Vol. I). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cd3177en>
- Fernández, J., y González, L. (2022). Relationship between maize plant height and yield prediction: A field study. *Field Crops Research*, 2(49), 108-119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.06.012>
- García, M., y Martínez, F. (2019). Measurement techniques for maize growth analysis in agricultural research. *Crop Science Journal*, 60(4), 223-232. <https://doi.org/https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.024>
- González, J., Martínez, F., y Rodríguez, P. (2020). Precision in grain weight measurement using digital scales in agricultural research. *Agricultural Technology Review*, 33(4), 110-118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agtr.2020.02.013>

- González-Robaina, F., Toledo-Pérez, L., Cisneros-Zayas, E., Duarte-Díaz, C., y Chaterlán-Durruthy, Y. (2024). Estimación del rendimiento de maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo para el escenario climático SSP1-2.6. *I Agric. Revista de ingeniería agrícola*, 14(2), 1-10. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/5862/586279094001/html/>
- Guamán, R., Desiderio, T., Villavicencio, A., Ulloa, S., y Romero, E. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47-56. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Hasang Morán, E., García-Bendezú, S., Carrillo-Zenteno, M., Durango Cabanilla, W., y Cobos-Mora, F. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), 26-40. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9507437>
- He, L., Sun, W., Chen, X., Han, L., Li, J., Ma, Y., y Song, Y. (2021). Modeling Maize Canopy Morphology in Response to Increased Plant Density. *Frontiers in Plant Science*, 11(1), 1-9. <https://doi.org/https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2020>
- Hsiao, T. C. (2000). Physiological responses of plants to water stress. In *Crop stress: physiological responses and mechanisms* . *CABI*, 1(1), 113-138.
- Ibarra Velásquez, A., Ramírez Flores, L., Molina Villamar, J., y Zuñiga Moreno, L. (2023). Análisis de la cadena agroalimentaria del maíz en Ecuador. *Polo del Conocimiento: Revista científico*, 8(1), 1862-1873.
- IICA. (2020). *Sistemas de riego por goteo, microaspersión y aspersión*. (I. I. (IICA), Ed.) <https://doi.org/https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/21092/BVE22098484e.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20%EF%BB%BF>
- Jaramillo, D., Gonzalez, W., Calva, A., y Molina, N. (2023). Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 10(2), 50-63. <https://doi.org/https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.740>
- Johnson, P., y Davis, T. R. (2018). The importance of accurate stem diameter measurements in assessing plant health. *Journal of Agricultural Science*, 56(3), 182-193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/jagr.2018.03.009>
- Kaur, M., y Sharma, P. (2022). Recent advances in cucumber (*Cucumis sativus* L.). . *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 97(1), 3–23. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1945956>
- Lee, H., Park, Y., y Kim, S. (2019). Phenotypic analysis of plant growth using stem diameter measurements in agricultural studies. *Field Crops Research*, 2(41), 210-218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.015>

- Lombeida García, E., Medina Litardo, R., Hasang Morán, E., y Cobos Mora, F. (2020). Sustentabilidad del sistema de producción de maíz en la localidad de Ventanas, Ecuador. *Revista Ciencia e Investigación*, 5(1), 169-181.
- López, M., Neri, E., Morán, H., Ramírez, Y., Rocandio, M., y Martínez, T. (2024). La Importancia de los sistemas de riego para el uso eficiente del agua en la agricultura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 3507-3525. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12587
- López, M., Pérez, R., y García, L. (2018). Impact of drying conditions on maize grain weight: A comparison of drying techniques. *Field Crops Research*, 2(19), 234245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.015>
- López, R., González, P., y Rodríguez, M. (2021). Maize growth dynamics and the role of plant height in yield performance. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13593-021-00650-9>
- Montemayor, J., Gómez, Á., Olague, J., Zermeño, A., Ruiz, E., Fortis, M., y Salazar, E. (2020). Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero. *Técnica Pecuaria en México*, 44(3), 359-364.
- Monterroso-Rivas, A., y Gómez-Díaz, J. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana*, 39(1), 1-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Montes Caurino, E. (2019). *Efecto de la frecuencia de riego por goteo en el rendimiento del cultivo de mora (rubus glaucus benth) en el centro de investigacion y experimentación de Cañasbamba, Yungay-Ancash, 2017*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Moreno, L. P. (2020). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 45-58.
- Munguía-Aldama, J., Sánchez-Plata, F., Vizcarra-Bordi, I., y Rivas-Guevara, M. (2020). Estrategias para la producción de maíz frente a los impactos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, 21(4), 538-547.
- Noriega-Navarrete, J., Salazar-Moreno, R., y López-Cruz, I. (2021). Revisión: modelos de crecimiento y rendimiento de maíz en escenarios de cambio climático. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 127-140. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2552>
- Ortíz, V. (2024). *Estimación del consumo de agua en cultivo de Maíz con seguimiento de la humedad mediante sonda de capacitancia TDR*. Universidad Técnica de Machala. Universidad Técnica de Machala.
- Pal, A., Adhikary, R., Shankar, T., y Maitra, S. (2020). Cultivation of Cucumber in Greenhouse. En S. Maitra, D. J. Gaikwad., y T. Shankar, In Protected Cultivation and Smart Agriculture. *New Delhi Publishers*, 1(1), 139-145.

- Pérez, J. (2023). Efecto del riego por goteo y microaspersión en el crecimiento de la mazorca de maíz. *Revista de Agricultura Sostenible*, 15(2), 25-38.
- Quezada, C., Venegas, A., García, H., y Ocampo, J. (2005). Frecuencia de reposición hídrica en olivos (*Olea europaea* L.) bajo riego por goteo en un suelo franco arcilloso. *Ciencia agraria*, 32(2), 74-86.
- Rodríguez García, M., y Puig Estrada, O. (2020). Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo superficial y sub superficial. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 23-28.
- Rodríguez, A., y Pérez, T. (2020). Impact of irrigation and fertilization on maize plant height and yield. *Agricultural Water Management*, 2(38), 106-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106254>
- Sáez-Cigarruista, A., Morales-Guevara, D., Gordon-Mendoza, R., Jaén-Villarreal, J., Franco-Barrera, J., y Ramos-Manzané, F. (2024). Sensibilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes períodos de déficit hídrico controlado. *Agromía Mesoamericana*, 35(1), 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/am.2024.55660>
- Smith, J., Thomas, L., y Roberts, G. (2020). Correlation between stem diameter and plant vigor: Implications for crop yield prediction. *Plant Growth Regulation*, 93(5), 354-367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11036-020-02209-3>
- Stivers, L. (6 de Enero de 2023). *Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos*. PennState Extension: <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-lacalidad-de-los-suelos>
- Valdivieso, V. (2013). *Efecto de cuatro laminas de riego por goteo sobre la producción del cultivo de maíz duro (Zea Mays), según la evaporación del tanque evaporímetro clase A*. Universidad Nacional de Loja. Repositorio institucional. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11486>
- Vargas-Figueroa, G. (2022). *Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en el rendimiento de cultivo de quinua bajo condiciones edafoclimáticas en el Centro Agronómico K'ayra-San Jeronimo Cusco*. Universidad Nacional De San Anthonio Abad del Cusco. Universidad Nacional De San Anthonio Abad del Cusco. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12918/6532>
- Vásconez Montúfar, G., Caicedo Acosta, L., Véliz Zamora, D., y Sánchez Mora, F. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz zona central de la costa de Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 27(3), 417-431.
- Weng, Y. (2021). Cucumis sativus Chromosome Evolution, Domestication, and Genetic Diversity. En J. Janick, y I. Goldman (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 1, pp. 79–111). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119717003.ch4>
- Zambrano, C., y Andrade, M. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post Covid-19 en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 143-150.

https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S221836202021000400143

- Zambrano, M., Chavarría, J., y Duicela, L. (2021). Evaluación multianual de las variables climatológicas y su relación con el balance hídrico para el cultivo de maíz duro. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(2), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2604>
- Zamora Salgado, S., Fenech Larios, L., Ruiz Espinoza, F. H., Pérez Duarte, W., y López Gómez, A. (2020). Eficiencia en el uso del agua en maíz (*Zea Mays L.*) con riego por goteo, en el Valle de la Paz, Baja California Sur, México. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 33-36.
- Zhang, Y., Ji, X., Xian, J., Wang, Y., y Peng, Y. (2022). Morphological characterization and transcriptome analysis of leaf angle mutant bhlh112 in maize [*Zea mays L.*]. *Frontiers in Plant Science*, 13(1), 1-18.
- Zubillaga, M. (2017). *Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina*. Universidad Nacional Del Sur Bahía Blanca. Universidad Nacional Del Sur Bahía Blanca.

