



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO  
EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) VARIEDAD INIAP-101**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:**

**CRISTHIAN RENATO LEMA MANCERO**

Riobamba - Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO  
EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) VARIEDAD INIAP-101**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR: CRISTHIAN RENATO LEMA MANCERO**

**DIRECTOR: Ing. JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ PhD.**

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, **Cristhian Renato Lema Mancero**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Cristhian Renato Lema Mancero, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de enero de 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, written over a horizontal line.

**Cristhian Renato Lema Mancero**

**060406637-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) VARIEDAD INIAP-101**, realizado por el señor: **CRISTHIAN RENATO LEMA MANCERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	-----	2022-01-28
Ing. Juan Eduardo León Ruiz PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	-----	2022-01-28
Ing. Lucía Mercedes Abarca Villalba Mgs. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	-----	2022-01-28

## **DEDICATORIA**

A Dios, a la Virgen Dolorosa, a mi familia quienes han sido un pilar fundamental en mi vida personal y profesional, me han brindado el respaldo en todos estos años de aprendizaje; y a todos quienes contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

*Cristhian*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y al Centro Experimental del Riego quienes con su auspicio, apoyo y personal ayudaron al desarrollo de esta investigación, especialmente al Ing. Juan León R. PhD., por instruirme en mi trabajo de integración curricular, y a todas las personas que de forma directa o mediante apoyo emocional y profesional han aportado en el progreso de superación personal, peldaño a peldaño hasta llegar al objetivo final de mi carrera.

*Cristhian*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Recurso hídrico.....</b>	<b>5</b>
1.1.1. <i>Importancia</i> .....	5
1.1.2. <i>Agua en el suelo</i> .....	6
1.1.2.1. <i>Método gravimétrico</i> .....	6
1.1.3. <i>Agua útil</i> .....	6
1.1.4. <i>Capacidad de campo</i> .....	7
1.1.5. <i>Punto de marchitez permanente</i> .....	9
1.1.6. <i>Saturación</i> .....	10
1.1.7. <i>Láminas de riego</i> .....	10
<b>1.2. Métodos de riego.....</b>	<b>11</b>
1.2.1. <i>Gravedad</i> .....	11
1.2.2. <i>Goteo</i> .....	11
1.2.3. <i>Aspersión</i> .....	12
<b>1.3. Eficacia.....</b>	<b>13</b>
1.3.1. <i>Riego por gravedad</i> .....	13
1.3.2. <i>Riego por aspersión</i> .....	13
1.3.3. <i>Riego por goteo</i> .....	14
<b>1.4. Huella hídrica.....</b>	<b>14</b>
1.4.1. <i>Cálculo de la huella hídrica</i> .....	14
1.4.1.1. <i>Huella hídrica verde</i> .....	14
1.4.1.2. <i>Huella azul</i> .....	15
1.4.1.3. <i>Huella gris</i> .....	15
<b>1.5. Tipo de cultivo.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6. Topografía.....</b>	<b>18</b>



1.7.	Tipo de suelo.....	18
1.8.	Disponibilidad del agua.....	18
1.9.	Relación beneficio/costo de los métodos de riego.....	18

## CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	19
2.1.	Características del lugar experimental.....	19
2.1.1.	<i>Ubicación geográfica</i> .....	19
2.1.2.	<i>Condiciones Climáticas</i> .....	19
2.1.3.	<i>Clasificación ecológica</i> .....	19
2.2.	Equipos y materiales.....	19
2.2.1.	<i>Material biológico</i> .....	19
2.2.2.	<i>Materiales de campo, oficina y equipos de laboratorio</i> .....	20
2.2.2.1.	<i>Materiales de campo</i> .....	20
2.2.2.2.	<i>Materiales de oficina</i> .....	20
2.2.2.3.	<i>Equipos de laboratorio</i> .....	20
2.3.	Características del campo experimental.....	20
2.4.	Ensayo.....	20
2.5.	Tratamiento.....	20
2.6.	Repetición.....	21
2.7.	Diseño experimental.....	21
2.7.1.	<i>Características del diseño</i> .....	21
2.8.	Tratamientos en estudio.....	21
2.9.	Esquema del análisis de varianza.....	22
2.10.	Análisis funcional.....	22
2.11.	Calculo de la relación Beneficio / Costo.....	22
2.12.	Método de evaluación, registro de datos.....	22
2.12.1.	<i>Variables a evaluar</i> .....	22
2.12.2.	<i>Porcentaje de emergencia</i> .....	23
2.12.3.	<i>Altura de la planta</i> .....	23
2.12.4.	<i>Diámetro de tallos por planta</i> .....	23
2.12.5.	<i>Profundidad radicular</i> .....	23
2.12.6.	<i>Número de hojas</i> .....	23
2.12.7.	<i>Días a la floración masculina</i> .....	24
2.12.8.	<i>Días a la floración femenina</i> .....	24
2.12.9.	<i>Cosecha en estado fresco (choclo)</i> .....	24

2.12.10.	<i>Rendimiento</i> .....	24
2.12.11.	<i>Coeficiente de uniformidad o eficiencia de riego</i> .....	24
2.13.	<b>Manejo de la investigación</b> .....	26
2.13.1.	<i>Preparación del terreno</i> .....	26
2.13.2.	<i>Formación de surcos</i> .....	26
2.13.3.	<i>Distribución de parcelas</i> .....	26
2.13.4.	<i>Fertilización</i> .....	26
2.14.	<b>Labores culturales</b> .....	26
2.14.1.	<i>Siembra de maíz variedad INIAP 101</i> .....	26
2.14.2.	<i>Control de malezas</i> .....	26
2.14.3.	<i>Riego</i> .....	27
2.14.4.	<i>Control fitosanitario</i> .....	27
2.14.5.	<i>Cosecha</i> .....	27
2.14.6.	<i>Materia seca</i> .....	27

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	28
3.1.	<b>Porcentaje de emergencia</b> .....	28
3.2.	<b>Profundidad radicular</b> .....	29
3.3.	<b>Altura de la planta</b> .....	31
3.4.	<b>Diámetro del tallo</b> .....	32
3.5.	<b>Número de hojas</b> .....	34
3.6.	<b>Altura de inserción de choclo</b> .....	35
3.7.	<b>Contenido relativo de agua (%WRC)</b> .....	37
3.8.	<b>Porcentaje de materia seca (%M.S)</b> .....	39
3.8.1.	<i>Flor</i> .....	39
3.8.2.	<i>Raíz</i> .....	40
3.8.3.	<i>Maíz</i> .....	41
3.8.4.	<i>Hojas</i> .....	42
3.8.5.	<i>Tallos</i> .....	44
3.8.6.	<i>Materia seca total</i> .....	45
3.9.	<b>Rendimiento (tn/ha)</b> .....	46
3.10.	<b>% Eficiencia de riego</b> .....	48
3.11.	<b>Lámina de riego y volumen de agua aplicada</b> .....	49
3.11.1.	<i>Volumen de agua aplicada por gravedad</i> .....	51
3.11.2.	<i>Volumen de agua aplicada por goteo</i> .....	51

<b>3.11.3.</b>	<b><i>Volumen de agua aplicada por aspersión</i></b> .....	52
<b>3.12.</b>	<b>Huella hídrica</b> .....	53
<b>3.13.</b>	<b>Análisis Beneficio / Costo</b> .....	54
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	56
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	57
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Tratamientos en estudio .....	21
<b>Tabla 2-2:</b>	Esquema del análisis de varianza (ADEVA) .....	22
<b>Tabla 3-2:</b>	Control fitosanitario .....	27
<b>Tabla 1-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Porcentaje de Emergencia. Tunshi.2019 .....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Porcentaje de Emergencia. Tunshi.2019 .....	28
<b>Tabla 3-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Profundidad radicular. Tunshi.2019 .....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Profundidad radicular. Tunshi.2019 .....	30
<b>Tabla 5-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Altura de la planta. Tunshi.2020 .....	31
<b>Tabla 6-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Altura de la planta. Tunshi.2020.....	32
<b>Tabla 7-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Diámetro del tallo. Tunshi.2020 .....	33
<b>Tabla 8-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Diámetro del tallo. Tunshi.2020.....	33
<b>Tabla 9-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Número de hojas. Tunshi.2020 .....	34
<b>Tabla 10-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Número de hojas. Tunshi.2020.....	35
<b>Tabla 11-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Altura de inserción de choclo. Tunshi.2020.....	36
<b>Tabla 12-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Altura de inserción de choclo. Tunshi.2020 .....	36
<b>Tabla 13-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable contenido relativo de agua. Tunshi.2020 .....	37
<b>Tabla 14-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable contenido relativo de agua. Tunshi.2020 .....	38
<b>Tabla 15-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca de la flor. Tunshi.2020 .....	39

<b>Tabla 16-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable porcentaje de materia seca de la flor. Tunshi.2020.....	39
<b>Tabla 17-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca de la raíz. Tunshi.2020 .....	40
<b>Tabla 18-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable porcentaje de materia seca de la raíz. Tunshi.2020.....	41
<b>Tabla 19-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca Maíz. Tunshi.2020 .....	41
<b>Tabla 20-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Maíz. Tunshi.2020 .....	42
<b>Tabla 21-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable % materia seca Hojas. Tunshi.2020 .....	43
<b>Tabla 22-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Hojas. Tunshi.2020 .....	43
<b>Tabla 23-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable % materia seca Tallos. Tunshi.2020 .....	44
<b>Tabla 24-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Tallos. Tunshi.2020 .....	44
<b>Tabla 25-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca Total. Tunshi.2020 .....	45
<b>Tabla 26-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Total. Tunshi.2020 .....	46
<b>Tabla 27-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Rendimiento. Tunshi.2020 .....	47
<b>Tabla 28-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable Rendimiento. Tunshi.2020 .....	48
<b>Tabla 29-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable % Eficiencia de riego. Tunshi.2020 .....	48
<b>Tabla 30-3:</b>	Promedio Aritmético de las Medias para la variable % Eficiencia de riego. Tunshi.2020 .....	49
<b>Tabla 31-3:</b>	Cuadrado medio y significación estadística para la variable Huella hídrica. Tunshi.2020 .....	53
<b>Tabla 32-3:</b>	Promedio Aritmético de Medias para la variable huella hídrica. Tunshi.2020 ...	54
<b>Tabla 33-3:</b>	Análisis beneficio/costo .....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Porcentaje de emergencia .....	29
<b>Gráfico 2-3:</b>	Profundidad radicular .....	30
<b>Gráfico 3-3:</b>	Altura de la planta 30 dds .....	32
<b>Gráfico 4-3:</b>	Diámetro del tallo 30 dds .....	34
<b>Gráfico 5-3:</b>	Número de Hojas 30 dds .....	35
<b>Gráfico 6-3:</b>	Altura de inserción de choclo (cm) .....	37
<b>Gráfico 7-3:</b>	Contenido Relativo de Agua (%WRC) .....	38
<b>Gráfico 8-3:</b>	Porcentaje de materia seca de la flor (% M.S Flor).....	40
<b>Gráfico 9-3:</b>	Porcentaje de materia seca de la raíz (% M.S Raíz).....	41
<b>Gráfico 10-3:</b>	Porcentaje de materia seca del maíz (% M.S Maíz).....	42
<b>Gráfico 11-3:</b>	Porcentaje de materia seca de las hojas (% M.S Raíz).....	43
<b>Gráfico 12-3:</b>	Porcentaje de materia seca de tallos (% M.S Tallos) .....	45
<b>Gráfico 13-3:</b>	Porcentaje de materia seca total (% M.S Total) .....	46
<b>Gráfico 14-3:</b>	Rendimiento (tn/ha).....	48
<b>Gráfico 15-3:</b>	% Eficiencia de riego .....	49
<b>Gráfico 16-3:</b>	Lámina de riego (mm/ha) aplicadas por tratamiento y etapa .....	50
<b>Gráfico 17-3:</b>	Volumen de agua (m <sup>3</sup> /ha) aplicado por tratamiento y etapa.....	50
<b>Gráfico 18-3:</b>	Volumen de agua por etapas .....	51
<b>Gráfico 19-3:</b>	Volumen de agua por etapas .....	52
<b>Gráfico 20-3:</b>	Volumen de agua por etapas .....	52
<b>Gráfico 21-3:</b>	Huella Hídrica .....	54

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ENSAYO
- ANEXO B:** RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN
- ANEXO C:** PREPARACIÓN DEL TERRENO
- ANEXO D:** SIEMBRA
- ANEXO E:** RIZOTRONE
- ANEXO F:** MÉTODO DE RIEGO POR GRAVEDAD
- ANEXO G:** MÉTODO DE RIEGO POR GOTEO
- ANEXO H:** MÉTODO DE RIEGO POR ASPERCIÓN
- ANEXO I:** ÁREA DE INVESTIGACIÓN
- ANEXO J:** RASCADILLO
- ANEXO K:** RIZOTRONE CON CULTIVO EN FLORACIÓN
- ANEXO L:** CONTROL FITOSANITARIO
- ANEXO M:** CULTIVO EN FLORACIÓN MASCULINO Y FEMENINO
- ANEXO N:** COSECHA
- ANEXO O:** RENDIMIENTO POR CATEGORÍA
- ANEXO P:** MUESTRAS FRESCAS PARA ANÁLISIS DE MATERIA SECA
- ANEXO Q:** MATERIA SECA DEL MAÍZ
- ANEXO R:** DESARROLLO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>DDS</b>	Días después de la siembra
<b>FAO</b>	Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura
<b>INIAP</b>	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
<b>WRC</b>	Contenido relativo de agua
<b>% MS</b>	Porcentaje de materia seca



## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia de aplicación de tres métodos de riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad INIAP-101, en la Estación Experimental Tunshi, se utilizó un modelo estadístico de diseño de bloques completos al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres repeticiones, dando un total de nueve unidades experimentales; para el riego por gravedad (T1), riego por goteo (T2) y riego por aspersión (T3). Durante la investigación se realizó la recolección de datos biométricos del cultivo; como el porcentaje de emergencia a los 15 días después de la siembra (DDS); profundidad radicular, altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas y contenido relativo de agua a los 30, 75 y 120 días después de la siembra (DDS); la altura de inserción del choclo, materia seca y rendimiento a los 120 días después de la siembra (DDS); para el cálculo de la lámina de riego y volumen de riego, se utilizó el medidor de humedad con el cual se obtuvo diariamente datos reales y precisos de la humedad presente en el suelo al instante de su muestreo Este estudio reveló que el tratamiento con mayor eficiencia de aplicación fue el riego por goteo (T2) con 96 %; esta eficiencia influyó significativamente en el rendimiento por categoría del cultivo de maíz, siendo el riego por goteo (T2) el que mayor rendimiento obtuvo dentro de la primera categoría con 8,34 tn/ha. En conclusión, el riego por goteo (T2) reduce la huella hídrica e incrementa el rendimiento del cultivo. Se recomienda realizar pruebas de eficiencia de aplicación de manera periódica

**Palabras clave:** <MAÍZ (*Zea mays* L.)>, <EFICIENCIA DE RIEGO>, <RIEGO POR GRAVEDAD>, <RIEGO POR GOTEO> <RIEGO POR ASPERSIÓN>

 Firmado digitalmente por  
CRISTHIAN  
FERNANDO  
CASTILLO RUIZ  
Fecha: 2022.02.10  
22:41:08 -05'00'



0247-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

This investigation aimed to determine the application efficiency of three irrigation methods on corn (*Zea mays* L.) variety *INIAP-101*, at *Tunshi* Experimental Station, using a statistical model of randomized complete block design (RCBD), with three treatments and three replications, giving a total of nine experimental units; for gravity irrigation (T1), drip irrigation (T2) and sprinkler irrigation (T3). During the investigation, crop biometric data such as were collected, such as the percentage of emergence at 15 days after sowing (DDS); root depth, plant height, stem diameter, number of leaves and relative water content at 30, 75 and 120 days after sowing (DDS); the height of corn insertion, dry matter, and yield at 120 days after sowing (DDS). For the calculation of the irrigation lamina and irrigation volume, the moisture meter was used to obtain real and precise daily data of the moisture present in the soil now of sampling. This study revealed that the treatment with the highest application efficiency was drip irrigation (T2) with 96%; this efficiency significantly influenced the yield per category of corn crop, therefore drip irrigation (T2) the one that obtained the highest yield in the first category with 8.34 t/ha. In conclusion, drip irrigation (T2) reduces the water footprint and increases crop yield. Periodic application efficiency tests are recommended.

**Key words:** <CORN (*Zea mays* L.)>, <IRRIGATION EFFICIENCY>, <DRIP IRRIGATION>, <DROP IRRIGATION>, <SPRINKLER IRRIGATION>



Firmado electrónicamente por:  
**ESTHELA ISABEL  
COLCHA GUASHPA**

## INTRODUCCIÓN

La investigación hace referencia a la eficiencia de la aplicación de tres métodos de riego, que según la variación de elementos que influyen en la producción, las tres teorías que fundamentan el estudio son la genética, la física y la científica, en el cultivo (*Zea mays* L.) de la variedad de maíz blanco precoz determinada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-101 se ven reflejadas en la actividad de las láminas y eficiencias de riego (INIAP 1981, pp. 147-150).

El maíz desde la antigüedad ha sido uno de los principales cultivos de América latina, a pesar de haber sido desconocido por el resto del mundo, tiene su origen en México donde existen alrededor de 2000 especies mientras tanto en Ecuador se registran 29 variedades (UTP 2018, pp. 165-220).

Las fases desarrolladas en el estudio según las normativas institucionales son: Introducción: apartado en el que se especifica el motivo, pertinencia, problemática e importancia de la temática a ejecutar, capítulo I: marco teórico: referida a la recopilación de datos literarios con fuentes primarias y secundarias de postulados necesarios para el entendimiento del objeto a estudiar relacionando estrechamente la teoría con la ejecución del apartado.

El capítulo II titulado marco metodológico describe las decisiones y acciones integradas oportunamente para el proceso de estudio, aquí se evidencia los métodos planificados para la recopilación de información, los instrumentos con las técnicas pertinentes utilizadas en la recolección de información y programas estadísticos utilizados para el análisis de los resultados. Por último, el capítulo III que pone en evidencia el marco de análisis e interpretación de resultados donde se examina los resultados más importantes separándolos de la información básica que no tiene significancia relevante y pasa a ser interpretada, encontrando respuestas a la problemática inicial con significado más detallado para la toma de decisiones.

Una de las principales causas del bajo rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se debe a un mal uso y manejo del recurso agua, esto se debe a que la dotación de riego se da de manera empírica, puesto que han tomado experiencia a través de cada generación hasta encontrar un método de riego que se acomode a sus necesidades, y disponibilidad del recurso agua.

Ensayos desarrollados con temáticas similares sirven como base para el desarrollo de la investigación, por ejemplo Salguero (2018, pp. 71-99) en su investigación titulada “Evaluación de tres métodos para determinar el requerimiento hídrico, del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Var INIAP 102, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo” refiere que la lisimetría es el método más confiable para determinar con exactitud la cantidad de agua que requiere la variedad 102 obteniendo mejor relación entre costo y beneficio.

Así mismo Guerrero (2017, pp. 186-190) en su investigación "Diseño de un sistema de riego por aspersión con automatización para el sector de Ugñag, cantón Penipe" como resultados obtiene que la selección de los aspersores no depende solamente del tipo de cultivo sino que incluye la parte topográfica, condiciones del clima y eficiencia de aplicación del riego.

Se debe tener claro que el riego agrícola no debe ser considerado como solo el hecho de dotar agua en los cultivos, sino que relaciona a un conjunto de indicadores que señalan cual es el método de riego más óptimo o eficiente, la cantidad de agua a utilizar y el momento idóneo en el que se debe aplicar el mismo, por ello es importante determinar el tipo de cultivo y la ubicación geográfica. Es importante señalar que se proyecta condiciones más secas y calientes por el cambio climático por esta razón la agricultura tendrá el reto de incrementar o mantener la producción con menor agua. De igual manera si el suelo no cuenta con los nutrientes suficientes para el desarrollo del cultivo, este tiende a obtener rendimientos de baja calidad o a su vez el cultivo se pierde, es por esto que el riego es un suministro fundamental y su aplicación tiene un costo relativamente alto, es decir, desde el punto de vista económico es elevado, pero si se mira desde la productividad es un costo recuperable por lo que se convierte en una inversión, esto no termina con la instalación del método a utilizar sino también el mantenimiento que requiere el mismo.

¿Qué nivel de eficiencia tiene la aplicación de los tres métodos de riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad INIAP-101?

A pesar de existir varias investigaciones referentes al maíz y al uso del agua, la importancia radica en el enfoque que la investigación aborda, pues pretende dar respuestas de qué método de riego es el más eficiente considerando topografía, clima, genética de la semilla, beneficio/costo, entre otros; información relevante que refuerza a las investigaciones ejecutadas anteriormente y a futuras.

Si se tiene en cuenta que tras varios años este cultivo ha sido objeto de estudio pues la intención de ello es mejorar la genética y las técnicas de riego para obtener granos de mejor calidad, por tal motivo en México en el siglo XX los proyectos de construcción de sistemas de riego, permitieron el uso y optimización de suelos áridos que por su naturaleza no son recomendables para el cultivo (Farinango 2018, pp. 2-80).

En cuanto al sistema de riego (UNESCO 2018, pp. 10-23) asegura que las soluciones basadas en la eficiencia de riego son estrategias que aseguran la sostenibilidad del agua para regadíos; para ello se utilizan distintos métodos de riego pues un 70% de la extracción de agua dulce se utiliza en los cultivos y para lograr la optimización del agua de riego se deben conocer factores como la cantidad de consumo de agua en periodos establecidos así como la precipitación, clima, suelo, altitud entre otros.

Los cultivos para poder desarrollarse de manera correcta deben absorber los nutrientes del suelo, y necesariamente estar en adecuadas condiciones de humedad, puesto que las lluvias no abastecen la demanda hídrica de los cultivos.

## **JUSTIFICACIÓN**

La agricultura es una fuente importante dedicada a la producción de alimentos y es necesaria para la sociedad puesto que no solo dota de productos nutritivos, frescos y de calidad, sino que es un gran dinamizador de la economía local; la efectividad más notoria está en el rendimiento de los cultivos bajo riego ya que puede llegar a producir más del doble en comparación de los cultivos sin riego (FAO 2002, pp. 14-17).

El territorio ecuatoriano cuenta con diversas y extensas áreas para proponer una agricultura potencial a nivel mundial, teniendo en cuenta los beneficios que proporciona el uso de los sistemas de riego, en la actualidad nos encontramos con un desarrollo tecnológico insuficiente y retrasado; según el Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019 – 2027 Agua (2019), en el territorio, la superficie total bajo riego es de 942 mil hectáreas lo que corresponde a menos de la tercera parte del área que podría ser regada 3.1 millones de hectáreas.

Además, se menciona que en el Ecuador la superficie de riego potencial es de 3.136.085 hectáreas, considerando la eficacia de los suelos para el riego y los medios hídricos disponibles, sin embargo, la disponibilidad es en gran medida escasa y está en constante reducción por los fenómenos de contaminación, de urbanización, salinización del agua y de los suelos, la degeneración de los páramos y por los efectos del cambio climático.

Actualmente, existirían 1.152.000 hectáreas bajo riego, superficie que se colige de la consultoría disponible en la Secretaria de Riego y Drenaje; de información recopilada por SENAGUA (2016, p. 7-11), el factor de producción que más afecta a la población indígena campesina asentada en la zona rural de las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua y Bolívar es la necesidad de mejorar la eficiencia de aplicación del agua de riego que permita el incremento de la productividad agrícola.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Determinar la eficiencia de aplicación de tres métodos de riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

### **Objetivos Específicos**

- Obtener el coeficiente de uniformidad.
- Calcular la huella hídrica para el cultivo de maíz.
- Analizar económicamente (beneficio/costo).

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis Nula**

Ningún método de riego es eficiente para el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

### **Hipótesis Alternativa**

Al menos un método de riego es eficiente para el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Recurso hídrico

#### 1.1.1. *Importancia*

El agua es un recurso necesario e indispensable para la vida en el planeta, se le puede describir como un líquido que no presenta color, sabor ni olor; la presencia del agua abarca la mayor parte del planeta. Se encuentra distribuida en mares y océanos en un 96.5%, en glaciares y los polos en un 1,74%, en depósitos acuíferos en un 1,72% y el resto que corresponde al agua dulce y que se usa para consumo humano, animal y actividad agrícola en apenas un 0,04% que a su vez se reparte entre ríos, lagos, lagunas y vapor atmosférico (Álvarez, Morabito y Schilardi 2016).

Como es bien sabido, el agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta y representa un recurso esencial para el desarrollo social y económico de un país (Álvarez, Morabito y Schilardi 2016). Indispensable en la agricultura, ya que las plantas cultivadas la requieren para su crecimiento y desarrollo vegetativo con niveles óptimos de calidad, cantidad y dotación oportuna (FAO, 2003; citado en (Rosales y Flores 2017)).

Con la aparición de la vida en comunidad, el agua se convirtió en un elemento imprescindible para la vida, la alta demanda de agua en los centros poblados llevó a la creación de acueductos para proveer del líquido a todos los habitantes de un determinado lugar, el desarrollo de las actividades agrícolas provocó que se ideen sistemas de riego donde se tenía que obtener agua de fuentes cercanas para mantener vivos los cultivos, estos sistemas consistían en una serie de estanques y filtros que servían para purificar el agua y mejorar su calidad.

En la actualidad esto se ha convertido en un problema debido a la fuerte contaminación existente en las fuentes de agua y los océanos, esto ha conllevado a que escasee la cantidad del líquido útil para consumo y conservación de la vida; la irresponsabilidad de empresas que contaminan el agua indiscriminadamente y la falta de conciencia humana en lo que se refiere a gestión de desechos y residuos nocivos para el medio ambiente, desperdicio y mal manejo de agua, entre otros factores, están provocando que en un futuro cercano desaparezcan en su totalidad las fuentes de agua aptas para consumo humano en sus diferentes actividades y por ende la extinción de la vida en el planeta.

### ***1.1.2. Agua en el suelo***

Según la (FAO, 2011, p. 28), a nivel mundial los recursos hídricos figuran 42000 km<sup>3</sup>/año, de los cuales 3 900 km<sup>3</sup> se obtienen de acuíferos y ríos para el consumo humano, de esta última cifra: 2 710 km<sup>3</sup> (70 %) son para el riego, el 19 % para la industria y el 11 % para uso urbano. Se deduce que más del 60 % del agua extraída, vuelve al sistema hidrológico a través del caudal que retorna a aguas subterráneas o ríos. La parte restante (40%) es para el consumo agrícola debido a la evaporación y transpiración de las plantas.

Según la OMM (1994, p. 818), determina que la cantidad de agua en el suelo, también conocida como humedad, es una variable cuya medición es compleja de realizar, ya que para conocer su valor se debe poner en práctica métodos de observación y utilizar sensores que permitan medir la cantidad de agua presente en el suelo del lugar donde se desee conocer estos valores; el método más utilizado para medir la cantidad de agua en el suelo es:

#### ***1.1.2.1. Método gravimétrico***

Es el método de medición de agua en el suelo más fácil de aplicar, se le considera como el método patrón primario. Para aplicarlo se toman muestras del suelo a varias profundidades para posteriormente proceder a pesarlas y según esto diferenciar una muestra húmeda de una muestra seca, tras procesar las muestras sometiénolas a otros sensores y se obtienen los resultados; es necesario que el personal que realiza el muestreo y el análisis esté capacitado pues la toma de las muestras puede destruir el suelo y lo que se espera es provocar el menor daño posible al área intervenida (Quichimbo, et al., 2016).

### ***1.1.3. Agua útil***

Cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto Permanente de Marchitez (PMP) (FAO 1999).

El agua útil (AU) es el líquido retenido por el suelo y que puede ser absorbido por las plantas con suficiente rapidez para así poder compensar las pérdidas por transpiración del suelo. (CONGOPE 2016).

El agua útil (AU) o agua disponible (AD), es el agua que puede ser utilizada o tiene la capacidad de ser extraída por las plantas para su crecimiento y desarrollo, esta agua que se encuentra presente



en el suelo puede verse afectada por la evaporación generada por el medio donde se encuentre y también ésta puede variar por las plantas presentes en la zona que la consumen.

El valor del agua útil se obtiene de la diferencia del contenido del agua de la Capacidad de Campo (CC) y el contenido de agua en el Punto de Marchitez Permanente (PMP). (García; et al., 2012, p. 9).

La fórmula a emplear es:

$$AD = HV\% \text{ CC} - HV\% \text{ PMP}$$

Donde:

AD= Agua útil

HV% CC= Contenido del agua en capacidad de campo

HV% PMP= Contenido del agua en punto de marchitez permanente

#### ***1.1.4. Capacidad de campo***

Refleja la cantidad de humedad que tiene un suelo cuando se pierde el agua gravitacional. A capacidad de campo el agua queda retenida en los poros capilares y en estas condiciones es absorbida por las plantas con mayor facilidad (CONGOPE 2016).

Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos (FAO, 1999).

Para poner en práctica un método de riego de forma eficiente es necesario conocer la capacidad del suelo y las propiedades de las plantas que se van a cultivar, para esto se toman en cuenta varios parámetros hídricos como la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y el agua disponible también conocida como agua útil.

Para tener una medida de la capacidad de campo existe un procedimiento que se detalla a continuación:

- Se selecciona una superficie de aproximadamente 1m x 1m y se retira la vegetación de la parte superior.
- La capa superficial del suelo debe ser removida dejando un borde de unos 10 cm de alto alrededor del área a estudiar.

- Se procede a colocar agua dentro de dicha área con el fin de asegurar la saturación del suelo y tener resultados más acertados.
- Se procede a cubrir el área con un nailon de 2m x 2m cuyos bordes deben ser enterrados para evitar que existan pérdidas de humedad a causa de la evaporación provocada por el ambiente.
- Después de un periodo de 48 a 72 horas (esto varía en función del tipo de suelo en el que se realice el estudio) se puede proceder a obtener muestras a varios niveles de profundidad en la parte central del área empleada, con la ayuda de una pala o de un taladro de mecha se saca las muestras a una profundidad de 0 cm a 30 cm y de 30 cm a 50 cm.
- Las muestras obtenidas deben ser envasadas inmediatamente después de haber sido extraídas para evitar que existan alteraciones en su estado por la evaporación provocada por el ambiente.
- Las muestras que se obtienen para este tipo de estudios suelen ser pesadas a causa de la carga de agua presente en la misma.
- Después se procede a pesarlas para posteriormente ponerlas a secar, una vez que se han secado por completo se las tiene que volver a pesar para determinar el peso del suelo sin cargas de agua.

El resultado depende de la precisión de la balanza que se emplee para pesar la muestra y del tamaño de la muestra obtenida; otro factor a considerar es el método de secado de la muestra, suele emplearse una estufa especial a una temperatura constante a 105° C, en caso de no contar con este equipo se puede utilizar un horno de cocina donde sea posible regular y controlar la temperatura, con la ayuda de un microondas, sobre una cocina o con fuego; hay que vigilar que el material orgánico de la muestra de suelo no se queme pues esto puede conllevar a que el resultado se vea alterado por la pérdida de elementos presentes en el suelo. (García; et al., 2012, p. 1-4)

Para calcular la capacidad de campo se emplea la siguiente fórmula:

$$HP\% \text{ CC} = (\text{Peso Fresco a CC} - \text{Peso Suelo Seco}) / \text{Peso Suelo Seco} * 100$$

Donde:

HP%= Contenido de agua en peso

CC= Capacidad de Campo

Generar un balance hídrico es fundamental para para obtener un cultivo sano y en perfectas condiciones, ya que el excesivo riego causa daños irreversibles a la planta tales como la putrefacción de la raíz, caso contrario, el faltante de agua causa resequeidad en las plantaciones (Silva et al. 1988).

Garantizar el éxito de las cosechas dependerá de los adecuados niveles de agua, siendo un parámetro fundamental que se debe tomar en cuenta al momento del riego tomando en cuenta varios parámetros como la densidad del suelo, el balance de las precipitaciones climáticas del sector y demás factores que influyen en la retención de agua en el suelo (Chicas, Vanegas y García 201d. C.)

A medida que transcurre el tiempo se hace más difícil disponer fuentes de aprovisionamiento de agua para proveer de agua potable a una población, es por ello que es necesario idear sistemas de riego que permitan optimizar este recurso no renovable visionando su sustentabilidad y cuidado (Rodríguez, 2001).

#### ***1.1.5. Punto de marchitez permanente***

Contenido mínimo del agua en el suelo, que ha perdido toda su agua a causa de la evapotranspiración, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para las plantas. En esas condiciones, las plantas dejan de absorber los nutrientes correctamente, al contacto el suelo se siente casi seco o ligeramente húmedo (FAO 1999).

El Punto Permanente de Marchitez (PMP) es también conocido como el límite inferior de almacenamiento de agua útil en el suelo, es un estado en el que el agua se encuentra retenida en el suelo con una tensión equivalente a 15 atmósferas o bares, en estas condiciones las plantas tienen gran dificultad para absorber agua y nutrientes del suelo, por lo tanto, ésta se marchita y muere; sin embargo, existen cierto tipo de cultivos que pueden resistir dichas condiciones y agotar la calidad del suelo para permitir su supervivencia. Una vez que las condiciones han llegado al punto de marchitez permanente no es posible que se revierta el proceso a pesar de que exista una nueva irrigación de líquido (Tarjuelo, 1999, p. 86).

El Punto Permanente de Marchitez (PMP) se determina cuando una planta ha extraído la totalidad del agua útil presente en el suelo y no dispone de un suministro adicional que le ayude a mantenerse nutrida llevándola a marchitarse, existen procesos para determinar el valor de este estado, sin embargo, esto requiere de muchos meses para realizarlas, es por esto que se emplea una regresión determinada para determinar estos valores. (Petillo; et al., 2012, p. 4).

La fórmula es:

$$HP\% \text{ PMP} = HP\% \text{ CC} * 0,74 - 5$$

Donde:

HP%= Contenido de agua en peso

CC= Capacidad de Campo

### **1.1.6. Saturación**

Cuando todos los poros del suelo están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua se drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire (FAO 1999), esta información concuerda con la propuesta por CONGOPE (2006, p. 39), donde los suelos saturados existe ausencia total de aire y por ello muchos cultivos no pueden soportar períodos de más de 5 días en éste estado, a excepción del arroz.

### **1.1.7. Láminas de riego**

Las láminas de riego se refieren a la cantidad de agua que se debe aplicar durante el riego a un cultivo para mantener un determinado nivel de humedad en el suelo y dar condiciones óptimas para un apropiado ambiente para las plantas, esta variable debe encontrarse bien equilibrada entre el Punto de Marchitez Permanente (PMP) y la Capacidad de Campo (CC); para determinar de manera correcta se debe tener en consideración el tipo de suelo, la demanda atmosférica, el tipo de cultivo y su estado fenológico (CONGOPE, 2016, p. 103).

Existen dos tipos de láminas de riego:

- *Lámina neta de riego:* También conocida como dosis neta, cuya fórmula para calcular es:

$$L_n = (C_c - P_m) \cdot d_a \cdot P_r \cdot f$$

Donde:

$C_c$  = valor de capacidad de campo

$P_m$  = valor de punto de marchitez

$d_a$  = densidad aparente

$P_r$  = profundidad radicular efectiva

$f$  = equivalencia del tipo de cultivo

- *Lámina bruta o total de riego:* Se le considera la cantidad de agua que se debe aplicar a la totalidad el terreno en cada riego, para que la humedad total se mantenga constante y se retenga la zona radicular. Para determinar el valor de la lámina bruta se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_t = L_n / E_a$$

Donde:

$L_t$  = lámina total

$L_n$  = lámina neta

$E_a$  = eficiencia de aplicación

En el estudio de determinación de la lámina de riego para el cultivo de la albahaca genovesa realizado en Santiago de Cali, se establece que es necesario tener un conocimiento previo acerca del uso y manejo de agua para el riego, esta necesidad varía de acuerdo con las plantas a tratar y de las condiciones ambientales y del suelo presente en el área donde se vaya a realizar la plantación, no es posible utilizar el mismo método de riego para todas las plantas ya que cada variedad y especie responden a distintos factores en función de las necesidades propias de éstas. (Delgado, 2012, p. 12).

## **1.2. Métodos de riego**

### ***1.2.1. Gravedad***

La implementación de este riego es relativamente baja en costos de inversión y no requiere consumo de energía. Si bien posee muchas pérdidas de agua por infiltración, se puede incrementar la eficiencia en el uso de la misma. Existen varias formas de regar por superficie: por surco, por melga y tendido, este último es el más ineficiente.

El método de riego por gravedad es una técnica utilizada con mayor frecuencia en terrenos con características áridas, semiáridas y subhúmedas en varias regiones del mundo; la facilidad de implementación del sistema lo hace más accesible y tiene un bajo nivel de consumo de energía, la simpleza de su diseño permite dar un mejor seguimiento al proceso de riego y mantener bajo control algún desperfecto. (Flores; et al., 2015, p. 2).

### ***1.2.2. Goteo***

Consiste en la aplicación de agua en forma de gotas de manera continua en un lugar próximo al sistema radicular de la planta, mojando solo parte del volumen de suelo (30% del suelo). Es un riego de alta frecuencia donde se debe reponer el agua que la planta consumió uno o dos días atrás. En este método, en el suelo se forma un bulbo húmedo debajo de cada goteo donde la planta desarrolla una mayor cantidad las raíces. Cabe aclarar que, en este sistema, en la cinta de riego, el agua circula con presión, pero la gota cae al suelo sin presión, esto se debe a que el emisor posee un diseño, que permiten perder presión y que caigan gotas. Se diseñan para que arrojen diferentes caudales (1; 1.2, 1.6 2; 2,5 litros/hora). En el mercado se encuentran goteros no auto compensados y auto compensados, estos últimos poseen un diafragma que permite que no disminuya el caudal si baja la presión (Demin 2014).

El sistema de riego por goteo tiene ciertas limitaciones como el taponamiento de emisores a causa de pequeñas impurezas que ingresan al sistema de riego; el acumulamiento de sales en la zona húmeda es también un problema común; al ser un sistema de riego simple, no tiene la posibilidad de modificar el micro-clima a diferencia de otros sistemas de riego por aspersión; no evita la erosión eólica; el control visual del sistema de riego se vuelve complicado cuando el follaje viejo lo empieza a cubrir, lo que dificulta monitorear apropiadamente las salidas de agua; su uso no se justifica para todo tipo de cultivo ya que es un sistema costoso que no siempre se puede costear; este sistema no protege a los cultivos de heladas en zonas frías (Medina, 1979, pp. 329-336).

### ***1.2.3. Aspersión***

El agua es conducida por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se rompe en muchas gotas que caen sobre el suelo. Es un método de riego que sirve en casos en que el viento no es importante ya que puede causar muchas pérdidas, además debe considerarse que el agua, al cubrir gran parte del suelo, se producen muchas pérdidas por evaporación. Es un sistema que utiliza mucha energía eléctrica por necesitar una elevada presión para su funcionamiento. Entre los equipos que se utilizan son el de aspersión fija, portátil, cañón, pivot central y avance frontal. Se debe tener la precaución de que la velocidad a la que se aplica la lámina de riego, o sea la velocidad a la que cae la lluvia, sea igual o menor a la velocidad de infiltración del suelo para evitar escurrimiento. En este sistema se utilizan aspersores que arrojan caudales de 600 litros/hora o más y de presiones de alrededor de 2,5 22Kg/cm (de baja presión) y de hasta 4,5 Kg/cm (de alta presión) (Demin 2014).

Para que un sistema de riego por aspersión sea eficiente se debe tener en cuenta factores determinantes como los controles de eficiencia y distribución espacial de la lámina de agua, así mismo, la dirección y velocidad del viento son aspectos determinantes para tener una adecuada distribución de la lámina de agua; es imprescindible contar con un diagnóstico del grado de uniformidad de riego para optimizar los recursos empleados para realizar el proceso de riego en los cultivos. (Poma; Chipana, 2016, p. 19).

El método de riego por aspersión se caracteriza por su capacidad de cobertura pues su mecanismo permite que tenga un mayor alcance a las plantas, este sistema puede ser permanente pues se encuentra la tubería enterrada en el campo; en el caso de un sistema semipermanente tienen las tuberías principales enterradas en el suelo pero las tuberías secundarias y los aspersores se los puede transportar según las necesidades del campo; un sistema portátil se puede movilizar con cierta facilidad a lo largo de todo el espacio de cultivo. (Gurovich, 1985, p. 366-367).

### **1.3. Eficacia**

Para determinar el (volumen de riego necesario)  $V_r$  se debe tener en cuenta la (lámina de riego)  $L_r$  y el (ancho)  $B$  y (longitud)  $L$  de la melga o surco  $m^3$ , de tal manera tenemos expresada la fórmula base siguiente:

$$V_r = L_r * B * L$$

Una vez analizada la fórmula base se puede hacer uso de otras fórmulas para calcular la efectividad de aplicación por ejemplo:  $Q_e$  (Caudal de estrada),  $V_u$  (Volumen útil),  $V_d$  (Volumen deficitario),  $V_p$  (Volumen percolado) entre otras fórmulas que se adapten al tipo de sembrío y riego para personalizar su efectividad de aplicación (Hurtado 2016, p. 31-33).

La eficacia de aplicación data de la relación de Volumen útil de agua almacenado y el volumen entregado al surco, de tal manera la eficacia no determina solamente si el riego es o no satisfactoria desde el punto de vista agronómico, sino que indica cuánta agua del volumen total es utilizado para el humedecimiento del suelo y el nivel de escurrimiento ya sea superficial o por percolación profunda.

#### ***1.3.1. Riego por gravedad***

Económicamente el riego por gravedad representa un ahorro significativo siendo uno de los más económicos por su infraestructura simple y al emplear energía gravitatoria se van descartando el uso de recursos energéticos, sin embargo la eficiencia de este tipo de riego es baja puesto que requiere más cantidad de agua, en terrenos con desnivel existen desvíos de distribución, actualmente las tuberías multicompuertas mejoran su eficacia con reduciendo la pérdida por evaporación, sin embargo los terrenos son propensos a la aparición de malezas y enfermedades fungi.

#### ***1.3.2. Riego por aspersión***

La efectividad de este tipo de riego depende de las características del aspersor en cuanto a presión, caudal, diámetro y precipitación, lo que tiende a la variación el costo además de ser de infraestructura más compleja, este es uno de los métodos de riego más utilizados pues su eficiencia es mayor y tiene la capacidad de poseer más cobertura de terreno automatizando el riego por lo que su vida útil es mayor sin embargo al igual que el riego por goteo el terreno es propenso a la aparición de maleza.

### **1.3.3. Riego por goteo**

El uso del riego por goteo para el cultivo de maíz refleja una eficiencia de aplicación de entre 50% y 70%, puesto que no humedece todo el suelo sino las hileras de cultivo por consiguiente el ahorro de agua es significativo, éstas cifras suelen variar dependiendo de la estación del año, por lo que es importante gestionar de manera correcta el uso del agua y generar conciencia al momento de realizar el riego, esta medida contribuye para tener un riego más eficiente pues los valores de eficiencia pueden verse alterados por un defecto en el sistema de riego provocando pérdida de agua y daño de las plantas. (Angeles; et al, 2017, p. 1).

## **1.4. Huella hídrica**

### **1.4.1. Cálculo de la huella hídrica**

Hoy en día existen dos vertientes al momento de analizar el uso de los recursos hídricos, según la Water Footprint Network se enfoca en un aspecto volumétrico, el cual determina el volumen total de agua dulce que se utiliza directa o indirectamente para que la misma logre desarrollar las actividades, distinguiendo 3 componentes que podemos observar en la siguiente figura (Schneir, 2016, pp. 34-47).

#### **1.4.1.1. Huella hídrica verde**

Es el agua de lluvia absorbida por la vegetación y el suelo, para poder hallar el agua verde es necesario tener el número de áreas verdes del lugar de estudio a través de la teledetección de áreas verdes, a base de imágenes satelitales, calculando la precipitación, evaporación y evotraspiracion que se encuentre en la flora, mediante el software CROPWAT 8.0 se conseguirán sistematizar los datos meteorológicos necesarios (Ríos, Torres, y Castro, 2015, p. 93-107).

La huella hídrica verde es una fase del proceso es igual a:

$$\begin{aligned} \text{Peff} &= P (124 * 0,2p) / 125 & \text{Si } P < 250 \text{ mm} \\ \text{Peff} &= 125 + 0,1P & \text{Si } P > 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Donde:

Peff es la precipitación efectiva en mm (absorbida por la vegetación)

P es la precipitación (estación)

Al valor obtenido se le multiplica el total de áreas verdes en unidades de hectáreas (ha) y se tiene como resultado el valor de huella hídrica verde.



#### 1.4.1.2. *Huella azul*

Es el consumo de agua dulce subterránea, es uno de los componentes más estudiados, debido a que estas fuentes de agua son las que más se utiliza para el consumo en las actividades antrópicas que se lo realiza cada día. La huella hídrica básicamente expresa la apropiación humana del agua dulce en términos de volumen (Ríos, Torres, y Castro, 2015, p. 93-107).

La Huella Hídrica Azul se calcula mediante la siguiente formula:

$$HH \text{ Azul} = \text{Afluente} - \text{Efluente}$$

Donde:

Afluente es la entrada de agua mediante la red de agua potable local

Efluente es el agua que ha sido empleada por la comunidad universitaria para las diferentes labores que se desempeñen y que es desechada

#### 1.4.1.3. *Huella gris*

Se asocia con la degradación del entorno, correspondiendo al agua necesaria para que el medio pueda asimilar los contaminantes vertidos como consecuencia de una actividad. Para calcular la huella hídrica gris, se debe hallar el volumen de agua que es contaminada a causa de las descargas que se hacen en las fuentes de abastecimientos, es importante también considerar el parámetro más contaminante para el cálculo, es decir la demanda química de oxígeno (Ríos, Torres, y Castro, 2015, p. 93-107). El resultado de la huella puede ser negativo o positivo, los cuales se deberán comparar con los Estándares de Calidad Ambiental. Para el cálculo de la huella hídrica se aplica la siguiente ecuación:

$$HH \text{ Gris} = \frac{(\text{Vol eflu} * C \text{ eflu}) - (\text{Vol aflu} * C \text{ aflu})}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

Donde:

Vol eflu es el volumen del efluente

C eflu es la concentración del parámetro en el efluente

Vol aflu es el volumen del afluente

C aflu es la concentración del parámetro en el afluente

C<sub>max</sub> es la concentración máxima del parámetro utilizado para la cuantificación

C<sub>nat</sub> es la concentración natural en un cuerpo de agua receptor que se tendría al no existir disturbios antropogénicos.

Por otra parte, se lo puede calcular según la metodología ISO 14046, aprobada en mayo de 2014, la cual se basa en análisis de ciclo de vida, una ventaja de esta aproximación es que considera problemáticas regionales e incluye un análisis más completo de diferentes tipos de impacto asociado al uso de agua: como la escasez hídrica, la eutrofización del agua, la ecotoxicidad, la acidificación o la toxicidad humana (Toja y Navarro, 2019, pp. 102-106).

Según Bautista, Roa, y Ortega (2015, pp.135-146), mencionan que existe un estándar global de huella hídrica en base a cuatro fases de análisis: definición de objetivos y alcance del estudio; contabilidad de la huella hídrica; análisis de sostenibilidad; y formulación de respuestas. A través de estas fases, el estándar permite:

- Evaluar la presión sobre los recursos hídricos
- Comprender la distribución geográfica y temporal de los recursos hídricos en la actividad de estudio
- Evaluar la sostenibilidad ambiental, eficiencia y equidad del uso y contaminación del agua
- Identificar las acciones estratégicas para tomar a nivel local, regional, nacional y global

El cálculo de la huella hídrica nos aporta información para conocer en qué puntos de nuestra producción podemos reducir el consumo de agua, de forma que apliquemos los principios de desarrollo sostenible. A través de este cálculo se puede llegar a relacionar el consumo diario de agua, los problemas de contaminación y distribución de agua en lugares donde se producen los bienes y, por tanto, cuantificar los efectos del consumo y uso de los recursos hídricos.

#### *1.4.1.4. Estudios previos*

En varios países y áreas geográficas se ha identificado que se ha superado con creces la propia capacidad de aporte hídrico. Lo que significa que se han detectado déficits a nivel de sostenibilidad en materia de la gestión de agua. Hasta el momento los datos que se han calculado sobre la huella hídrica señalan que está distribuida de manera desigual a lo largo del planeta. Los países desarrollados suelen tener una huella hídrica mayor que los países en vías de desarrollo (Capcha, y Marcacuzco, 2015, pp. 4-15).

Según Capcha y Marcacuzco (2015, pp. 4-15) mencionan que un estudio previo realizado en la India, se analizó el ahorro nacional de agua mediante la importación agrícolas y ganaderos, para esto se determinó que los productos que consumen una gran cantidad de agua son los de cultivo. Concluyeron que los recursos de la India se encuentran bajo presión y son insostenibles, debido a la demanda alta de agua.

En diversos estudios se ha contabilizado el consumo de recursos hídricos en España, a una de sus comunidades y se encontró un valor bajo de huella hídrica, debido a que los usos intensificados del agua funcionan de manera eficaz maximizando su utilidad y costos. Sin embargo, aún existe un problema con respecto a la agricultura, ya que esta actividad viene siendo sobreexplotada para satisfacer los servicios alimentarios de la población (Capcha y Marcacuzco, 2015, pp. 4-15).

A nivel Latinoamérica, se han desarrollado varios estudios enmarcados en el proyecto “Huella de Ciudades” en donde la Fundación Suizagua Andina promueve un programa con el apoyo de la “Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación” y las alianzas públicas y privadas (Martínez y Salazar, 2015, pp.50-96).

Con el objetivo de la ejecución de la Huella Hídrica, trabaja principalmente en Colombia Perú y Chile; siendo Colombia el primer país en desarrollar las mediciones de huella hídrica en el año 2010, a partir de ese año se trabaja en varios proyectos en industrias a nivel de cuencas. Mientras que Perú tomo la iniciativa en el 2012 de realizar mediciones de HH en empresas privadas demostrando un interés por la gestión del agua (Martínez y Salazar, 2015, pp.50-96).

Lo que corresponde a la huella hídrica del consumo nacional, la región concentro durante el periodo 1996-2005, el 10.5% de la huella hídrica global con el 8.2% de la población mundial. En México la aplicación metodológica de la huella hídrica, es aún muy escasa sobre todo para fines de gestión y planeación sustentable de los recursos hídricos, los mismos que determinaron que este país se encuentra dentro de los 20 países con un alto consumo de agua, considerando al sector (Dávila, 2018, pp.99-110).

#### *1.4.1.5. Análisis general*

La selección del método de riego más apropiado tiene el propósito de conseguir que la producción de los cultivos lleguen a alcanzar los máximos beneficios, pero sin causar daños al medio ambiente como la erosión, salinización, contaminación de aguas superficiales y subsuperficiales (Dávila, 2018, pp.99-110). De esta manera los criterios de selección tienen relación con el cultivo, suelo, topografía y sobre todo la disponibilidad de agua, por esta razón es importante seleccionar un método de riego que implique considerar otros factores tales como inversiones en equipos de riego, nivelación de tierras, etc. La selección de método debe hacerse en base a lo siguiente:

### **1.5. Tipo de cultivo**

A pesar de que existen cultivos que pueden regarse por un solo método de riego y otros por varios métodos, el tipo de cultivo es el primer criterio que termina la elección del método de riego ya sea por cultivos en hileras o cultivos densos, entre otros (Hernández, 2017, pp.8-11).

## **1.6. Topografía**

En general el riego por superficie puede adaptarse a terrenos con relieve que va de plano a ondulado. Una topografía plana con pendiente de 0.2% es ideal para el riego por surcos y melgas rectas; contrariamente una topografía irregular con fuertes pendientes 8-10%, la alternativa sería el riego en contorno (Hernández, 2017, pp.8-11).

## **1.7. Tipo de suelo**

Hay que considerar la textura, estructura, infiltración, nivel freático, etc. Es decir, suelos pocos profundos y con alta velocidad de infiltraciones se adaptan bien al riego de superficie. Los métodos de riego gravitacionales se adaptan mejor a suelos de textura media a pesada, con baja capacidad de infiltración; mientras que en suelos arcillosos compactos no se recomienda el riego por aspersión (Cuello, Varona, y Estrada, 2016, pp.12-18).

## **1.8. Disponibilidad del agua**

La cantidad de agua disponible, en términos de caudal, tiempo e intervalo de entregas, puede ser un factor determinante en el método de riego a utilizar. Cuando el caudal disponible es escaso, por periodos largos de tiempo y entregas frecuentes, es posible regar eficientemente por surcos, en caso de que el caudal es escaso y de entrega continua, será preferible utilizar un riego presurizado para una mejor eficiencia (Cuello, Varona, y Estrada, 2016, pp.12-18).

## **1.9. Relación beneficio/costo de los métodos de riego**

Si el agua es cara, debido a las obras generales del sistema de riego, obliga un uso eficiente del agua y lo recomendable será regar por métodos tecnificados. Por otra parte, si el agua es barata no existirá mayor interés por una tecnificación del riego, así la experiencia ha demostrado que el riego resulta más rentable. Los costos de implementación y operación a nivel predial, incide en la selección del riego, por ejemplo, terrenos nivelados y con una adecuada red de distribución del agua, permitirán el manejo de grandes volúmenes de agua como el caso de riego por inundación (Ricetto, Capurro, y Roel, 2017, pp.109-119).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Características del lugar experimental

##### 2.1.1. Ubicación geográfica

<b>Provincia:</b>	Chimborazo
<b>Cantón:</b>	Riobamba
<b>Parroquia:</b>	Licto
<b>Lugar:</b>	Tunshi
<b>Latitud:</b>	0° 45' S
<b>Longitud:</b>	78° 37' O
<b>Altitud:</b>	2.756 m.s.n.m (Garrido, 2015)

##### 2.1.2. Condiciones Climáticas

<b>Temperatura media anual:</b>	14°C
<b>Precipitación media anual:</b>	531mm/año
<b>Humedad relativa:</b>	65%
<b>Meses secos:</b>	junio a octubre (Garrido, 2015)

##### 2.1.3. Clasificación ecológica

Estepa espinosa montano bajo (EEMB), según Holdrige (1982).

#### 2.2. Equipos y materiales

##### 2.2.1. Material biológico

Semilla de maíz variedad INIAP-101

### **2.2.2. *Materiales de campo, oficina y equipos de laboratorio***

#### **2.2.2.1. *Materiales de campo***

GPS, cámara de fotos, calibrador digital, sistema de riego por: goteo, aspersión y gravedad, probeta, barreno, cinta topográfica, identificadores de plantas, estacas, piolas, azadones, rastrillos, motocultor, agroquímicos.

#### **2.2.2.2. *Materiales de oficina***

Computadora, impresora, hojas de papel bond, calculadora, celular, internet, borrador, esferos.

#### **2.2.2.3. *Equipos de laboratorio***

Balanza digital, estufa, medidor de humedad.

### **2.3. Características del campo experimental**

Número de tratamientos: 3

Número de repeticiones: 3

Número de unidades experimentales: 9

### **2.4. Ensayo**

Forma: Rectangular

Longitud: 33 m

Ancho: 110 m

Área total: 3630 m<sup>2</sup>

Área neta: 3267 m<sup>2</sup>

### **2.5. Tratamiento**

Forma: Rectangular

Longitud: 33 m

Ancho: 33 m

Área: 1089 m<sup>2</sup>

Número de camas: 33

Distancia entre plantas:	0.50 m
Distancia entre hileras:	1 m
Número de plantas:	2178
Número de plantas evaluadas:	30

## 2.6. Repetición

Forma:	Rectangular
Longitud:	33 m
Ancho:	11 m
Área:	363 m <sup>2</sup>
Número de plantas por hilera:	66
Número de plantas por repetición:	726
Número de hileras por parcela neta:	9
Número de plantas por parcela neta:	558
Número de plantas a evaluar:	10

(Ver anexo A)

## 2.7. Diseño experimental

### 2.7.1. Características del diseño

Se realizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 3 tratamientos y 3 repeticiones, teniendo un total de 9 unidades experimentales.

## 2.8. Tratamientos en estudio

**Tabla 1-2:** Tratamientos en estudio

Tratamientos	Descripción
T1	Riego por gravedad
T2	Riego por goteo
T3	Riego por aspersión

Realizado por: Lema, Cristhian, 2021.

En la Tabla 1-2 se presentan los tratamientos en estudio, de tal manera que T1 representa al riego por gravedad, T2 al riego por goteo y el T3 al riego por aspersión.

## 2.9. Esquema del análisis de varianza

**Tabla 2-2:** Esquema del análisis de varianza (ADEVA)

Fuente de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Fórmula
Total	8	$((t*r)-1)$
Repeticiones	2	$(r-1)$
Tratamientos	2	$(t-1)$
Error experimental	4	$(t-1)*(r-1)$

Realizado por: Lema, Cristhian, 2021.

En la Tabla 2-2 se presenta el esquema del análisis de varianza con un total de 8 grados de libertad, con 2 repeticiones, 2 tratamientos y un error experimental de 4.

## 2.10. Análisis funcional

Se utilizó la prueba de TUKEY al 5% cuando existió diferencia significativa entre los tratamientos.

Se calculó el coeficiente de variación y se expresó en porcentaje.

## 2.11. Calculo de la relación Beneficio / Costo

Para la relación Beneficio / Costo, se dividió el total de la ganancias o ingresos para el total de gastos o costos.

## 2.12. Método de evaluación, registro de datos

Se seleccionaron 10 plantas tomadas completamente al azar dentro de la parcela neta, es decir no se consideró su tamaño, ubicación y su vigor, estas se evaluaron a los 30 dds, 75 dds y 120 dds para el registro de datos biométricos como se detalla a continuación.

### 2.12.1. Variables a evaluar

El registro de los datos se realizó de acuerdo al cronograma de actividades propuesto.



### ***2.12.2. Porcentaje de emergencia***

Para el porcentaje de emergencia se contabilizó el número de plantas emergidas del suelo, tomando como plantas emergidas a las que salgan a la superficie terrestre hasta los 15 días después de la siembra (García, et al., 2016).

### ***2.12.3. Altura de la planta***

Para la altura de la planta se midió en centímetros con ayuda de un flexómetro, esta variable se consideró desde la parte basal de la planta hasta la parte terminal de cada una de las 10 plantas seleccionadas, esta variable se evaluó a los 30 dds, 75 dds y 120 dds (Izquierdo, 2012).

### ***2.12.4. Diámetro de tallos por planta***

Para la evaluación del diámetro del tallo, en milímetros, se utilizó un calibrador digital modelo REXBETI, se midió en el segundo entrenudo del tallo de las 10 plantas seleccionadas al azar; esta variable se evaluó a los 30 dds, 75 dds y 120 dds (Blessing y Hernández, 2009).

### ***2.12.5. Profundidad radicular***

Para la evaluación de la profundidad radicular de las 10 plantas seleccionadas, se midió la longitud del crecimiento de la raíz en centímetros, desde la parte basal de la planta hasta la punta de la cofia de la raíz más larga reflejada en los rizotrones insertados dentro del suelo, los cuales tienen una lámina de vidrio transparente y cuadrado de 5 x 5 cm, la cual facilitó la observación y medición de las raíces "in situ", esta variable se evaluó a los 30 dds y 75 dds de preferencia en las horas de la mañana, procurando evitar horas muy soleadas para prevenir afectaciones en las raíces (Oñate, 2016).

### ***2.12.6. Número de hojas***

Se realizó un conteo del total de hojas verdaderas o totalmente formadas de las 10 plantas seleccionadas al azar, esta variable se evaluó a los 30 dds, 75 dds y 120 dds (Blessing y Hernández, 2009).

#### ***2.12.7. Días a la floración masculina***

Para los días a la floración masculina, se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas dentro de la parcela neta presentaron espiga desarrollada (IBPGR, 1994) citado en (Guacho, 2014).

#### ***2.12.8. Días a la floración femenina***

Para los días a la floración femenina, se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas dentro de la parcela neta presentaron estigmas expuestos con 2 cm de largo (IBPGR, 1994) citado en (Guacho, 2014).

#### ***2.12.9. Cosecha en estado fresco (choclo)***

Para esta variable se abrieron las hojas que cubrían la mazorca y se comprobó el grado de desarrollo de los granos, es decir cuando el grano se presentó de color blanco y secretó un líquido blanco lechoso al presionarlo (Peñaherrera, 2020, p.128).

#### ***2.12.10. Rendimiento***

Para evaluar el rendimiento se clasificó en tres categorías según la longitud de la mazorca, es decir para primera categoría: mayor a 20 centímetros, segunda categoría: 20 centímetros y tercera categoría: menor a 20 centímetros; y se evaluó los kilogramos cosechados por parcela neta de cada tratamiento, y se proyectó a hectáreas (IBPGR, 1994) citado en (Guacho, 2014).

#### ***2.12.11. Coeficiente de uniformidad o eficiencia de riego***

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad se seleccionó un segmento o área de estudio de cada tratamiento, el cual se aplicó el riego calculado para ese día y con ayuda de vasos plásticos, estacas, probetas y cronómetros se recolectó datos para el cálculo del mismo (Franco, 2018, p. 25).

- Riego por gravedad: para este tratamiento, se seleccionó 9 surcos en total distribuidos de esta manera, 3 surcos en la parte superior, 3 surcos en la parte intermedia y 3 surcos en la parte inferior de la parcela; posterior a esto se colocaron estacas alineadas en cada surco con una distancia de separación de 5 metros entre estaca, se registró el tiempo que tardaba en recorrer

el agua por cada estaca del surco, para el cálculo del coeficiente de uniformidad de este método de riego se aplicó la fórmula de Christiansens:

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} * 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\text{Desviación promedio de la lámina Prom. Aplicada}}{\text{Lámina aplicada}}\right) * 100$$

- Riego por goteo: para este tratamiento, se seleccionaron 9 cintas de riego distribuidas de esta manera, 3 cintas en la parte superior, 3 cintas en la parte intermedia y 3 cintas en la parte inferior de la parcela, en cada cinta de riego se seleccionaron 9 emisores al azar de recomendación 3 al inicio, 3 al medio y 3 al final de la cinta de riego, bajo estos emisores se colocaron vasos plásticos en los cuales se recolectó el volumen de agua aplicado durante un determinado tiempo de riego, el cual se midió con ayuda de una probeta, para el cálculo del coeficiente de uniformidad de este método de riego se aplicó la fórmula:

$$UD = \frac{Lp_{25\%}}{X} * 100$$

UD = Uniformidad de la distribución, en %.

Lp 25% = Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

X = Promedio de todos los goteros aforados (Vargas, 2008, p. 4).

- Riego por aspersión: para este tratamiento, se colocó en el área central de la parcela 20 vasos plásticos separados entre ellos a 2 metros, para evitar que estos se volteen, se colocó una piedra dentro de cada vaso, en los cuales se recolectó el volumen de agua aplicado durante un determinado tiempo de riego, el cual se midió con ayuda de una probeta, para el cálculo del coeficiente de uniformidad de este método de riego se aplicó la fórmula:

$$UD = \frac{Lp_{25\%}}{X} * 100$$

UD = Uniformidad de la distribución, en %.

Lp 25% = Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

X = Promedio de todos los goteros aforados (Vargas, 2008, p. 4).

## **2.13. Manejo de la investigación**

### ***2.13.1. Preparación del terreno***

Para acondicionar el terreno para el establecimiento del ensayo, se necesitó la ayuda de un tractor con el apero de arado con el cual se removió el suelo y con el apero de rastra se rompió terrones formados en el mismo.

### ***2.13.2. Formación de surcos***

Se realizó con una surcadora mecánica a una distancia de 1 metro entre surcos.

### ***2.13.3. Distribución de parcelas***

Se procedió a la delimitación de la parcela experimental con 3 tratamientos y 3 repeticiones, con un total de 9 unidades experimentales, colocando estacas, piolas y letreros en cada tratamiento y repetición.

### ***2.13.4. Fertilización***

La fertilización se realizó de acuerdo a la recomendación del análisis de suelo proporcionada por el Departamento de Manejo de Suelos y Agua de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, 2019. (Ver anexo B)

## **2.14. Labores culturales**

### ***2.14.1. Siembra de maíz variedad INIAP 101***

Se realizó una siembra directa, y se colocó la semilla a una profundidad de 5 cm, con una distancia de 1 m entre surco y 0.50 m entre golpe, colocando 3 semillas por golpe.

### ***2.14.2. Control de malezas***

Se realizó manualmente en dos ocasiones durante todo el ciclo del cultivo, el primer control de malezas se realizó a los 28 días después de la siembra (dds) y el segundo control de malezas a los 51 días después de la siembra (dds).

### 2.14.3. Riego

Para la implementación del sistema de riego se utilizó 3 métodos distintos de riego, es decir un riego por cada tratamiento, siendo así riego por gravedad (T1), riego por goteo (T2) y riego por aspersión (T3), se utilizó tubería FlexNet de 2 pulgadas tanto en la tubería principal y tubería secundaria, a continuación, se menciona los métodos de riego utilizados en el presente estudio:

- Para el riego por gravedad se utilizó cinta Flex Net con orificio cada 0,50 m, en el sistema de riego por gravedad se tuvo que utilizar llaves de paso pequeñas con el objetivo de poder regular la apertura y cierre de cada emisor.
- Para el riego por goteo se utilizó cintas auto compensadas con una separación de 30 cm entre emisores o goteros con un caudal de 1.2 L/h.
- Para el riego por aspersión se utilizó los aspersores Xcel-Wobbler y bastones con bases.

### 2.14.4. Control fitosanitario

Se realizó aplicaciones fitosanitarias con productos preventivos o curativos de categoría III y IV, con la aparición de los primeros signos.

**Tabla 3-2:** Control fitosanitario

Plagas	Ingrediente Activo	Nombre Comercial	Dosis
Gusano Alambre	Tiametoxam + Lambdacyalotrina	Nockeo	100ml/100 l
Trozador	Alpha Cipermetrina + Xilene	Forward	250 ml/100 l
Cogollero	Deltametrina	Vectokill	100ml/100 l

Realizado por: Lema, Cristhian, 2021.

### 2.14.5. Cosecha

La cosecha se realizó a los 125 días después de la siembra, cuando los granos aún estaban en un estado lechoso (estado de choclo).

### 2.14.6. Materia seca

Para la materia seca se utilizó 10 plantas seleccionadas al azar y se procedió a dividir las por sus partes como son flor, raíz, hojas, tallo y maíz; se colocó en bolsas de papel previamente etiquetadas para registrar el peso fresco, seguido se colocó la muestra vegetal en la estufa y se sometió a 75°C por 24 horas o hasta que su peso sea constante y finalmente se registró el peso seco de la muestra vegetal (Salguero, 2018).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Porcentaje de emergencia

En el análisis de varianza para la variable porcentaje de emergencia, tabla 1-3, no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 2,67 %.

**Tabla 1-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Porcentaje de Emergencia. Tunshi.2019

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADO MEDIO
		Porcentaje de Emergencia (%)
Total	8	
Repeticiones	2	13,24 <sup>ns</sup>
Tratamientos	2	38,51 <sup>ns</sup>
Error	4	6,38
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		2,67

ns: no significativo

\*: significativo

\*\*: altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Crithian, 2021.

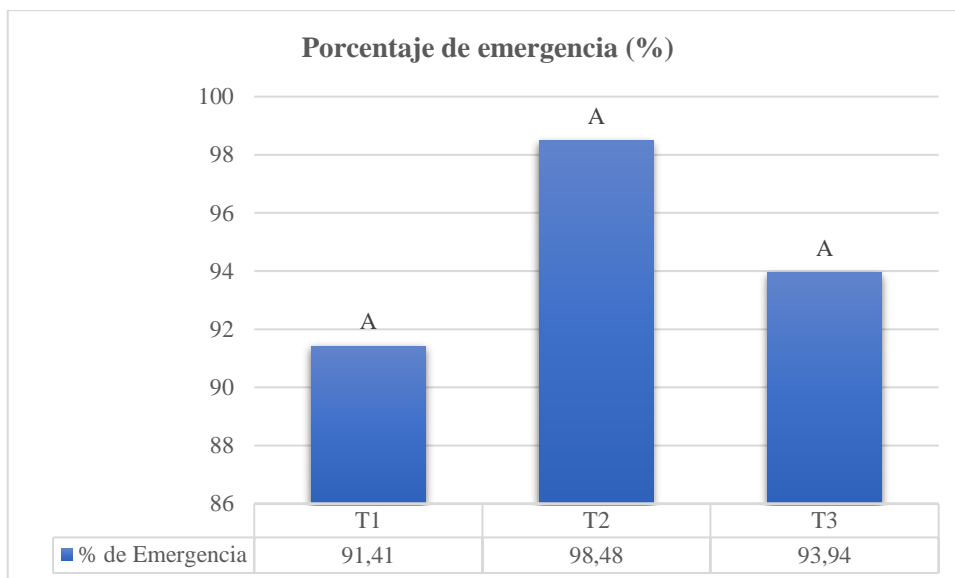
En la Tabla 2-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de emergencia, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por goteo (T2) con un 98.48 % de emergencia, este resultado se puede ver expresado en el gráfico 1-3. Comparado con la investigación de Salguero (2018, pp. 47), en ambas investigaciones se utilizaron sistemas de riego por goteo de similares características técnicas, además con eficiencias de riego superiores al 90% y se utilizó semilla certificada del INIAP, por lo cual quedó demostrado que estos 3 factores influyen directamente para obtener un porcentaje de emergencia superior al 91%.

**Tabla 2-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Porcentaje de Emergencia. Tunshi.2019

Tratamientos	Porcentaje de emergencia (%)
T1	91,41
T2	98,48
T3	93,94

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Crithian, 2020



**Gráfico 1-3.** Porcentaje de emergencia

Realizado por: Lema, Cristhian, 2021.

### 3.2. Profundidad radicular

La profundidad radicular es la distancia desde su superficie hasta una zona en la que las raíces ya no pueden crecer, zona que puede ser grava, una capa pesada y dura o capa arcillosa, un lecho rocoso o agua (Tenezaca 2015, p. 15). El análisis de varianza de la variable profundidad radicular, tabla 3-3, para los 30 dds no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 12,24 %, de igual manera para los 75 dds no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 4,84 %.

**Tabla 3-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Profundidad radicular. Tunshi.2019

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		Profundidad radicular (cm)	
		30 dds	75 dds
Total	8		
Repeticiones	2	2,78 <sup>ns</sup>	4 <sup>ns</sup>
Tratamientos	2	2,78 <sup>ns</sup>	4 <sup>ns</sup>
Error	4	11,11	16
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		12,34	4,84

ns: no significativo

\*: significativo

\*\*: altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

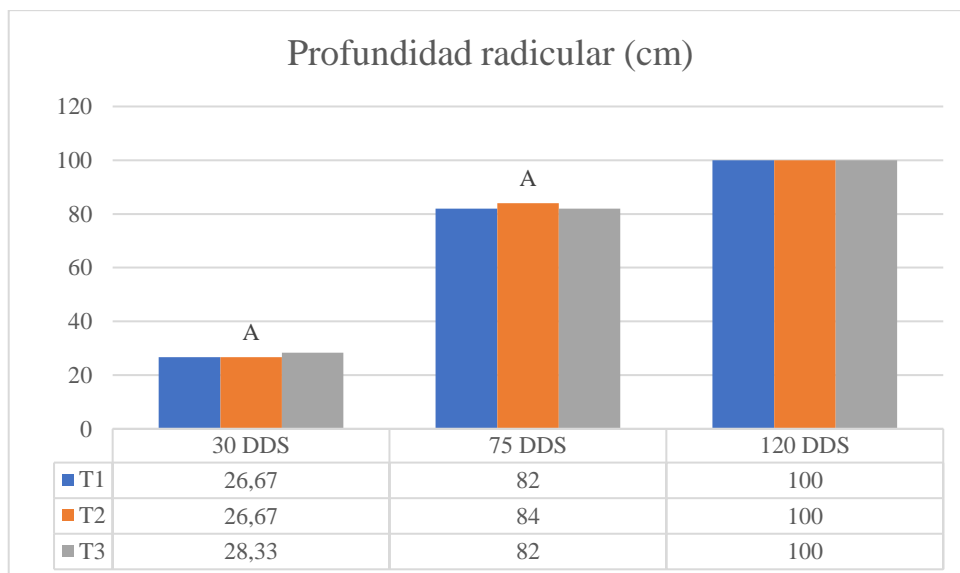
En la Tabla 4-3, se presentan los Promedios Aritméticos de las Medias para la variable Profundidad radicular, pudiéndose observar que el mejor promedio a los 30 dds lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 28,33 cm de profundidad radicular, a los 75 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 84 cm de profundidad radicular, estos resultados se pueden ver expresados en el gráfico 2-3. Comparado al estudio de Oñate (2016, pp. 47) a los 30 dds se obtuvieron resultados similares en cuanto a la profundidad radicular, mientras que a los 75 dds difieren los resultados, ya que en el estudio de Oñate alcanzó una profundidad radicular de 38.2 cm bajo riego por gravedad, esto se debe a que el riego localizado como es el riego por goteo junto a su eficiencia del 96 % promueven un crecimiento longitudinal de la raíz, más no un crecimiento radicular lateral y con la ayuda del rizotrone se pudo observar el crecimiento de la raíz sin necesidad de sacarla del suelo.

**Tabla 4-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Profundidad radicular. Tunshi.2019

Tratamientos	Profundidad radicular (cm)	
	30 dds	75 dds
T1	26,67	82
T2	26,67	84
T3	28,33	82

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 2-3.** Profundidad radicular

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020



### 3.3. Altura de la planta

En el análisis de varianza para altura de la planta, tabla 5-3, para los 30 dds no presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones, sin embargo si hubo diferencia estadística significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 17%; para los 75 dds no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 24,65%; para los 120 dds presentó diferencia altamente significativa para las repeticiones y diferencia significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 17%. La altura de la planta, respondió al efecto de tratamientos que promueven el crecimiento pues se ha comprobado su acción en diferentes cultivos en cuanto al incremento de la altura en distintas especies comparadas con las plantas testigo (Jerez 2017, p. 8).

**Tabla 5-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Altura de la planta.  
Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS		
		Altura de la planta (cm)		
		30 dds	75 dds	120 dds
Total	8			
Repeticiones	2	42,34*	1962,47 <sup>ns</sup>	8030,03*
Tratamientos	2	31,08 <sup>ns</sup>	707,56 <sup>ns</sup>	63027,03**
Error	4	11,08	855,42	1263,33
<b>Coeficiente de Variación (%)</b>		17	24,65	14,45

**ns:** no significativo

**\*:** significativo

**\*\*:** altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Crithian, 2020

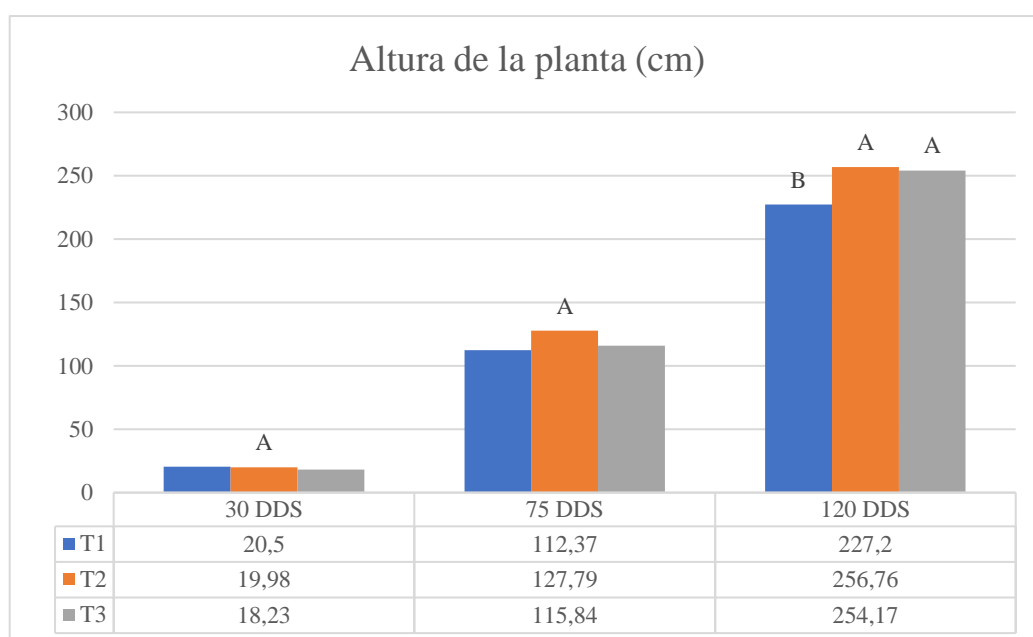
En la Tabla 6-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable altura de la planta, pudiéndose observar que el mejor promedio a los 30 dds lo obtuvo el riego por gravedad (T1) con 20,5 cm de altura, a los 75 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 127,79 cm de altura; y a los 120 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 256,76 cm de altura, estos resultados se pueden ver expresados en el gráfico 3-3. Los resultados alcanzados respecto a la variable altura de la planta presentaron la misma tendencia en la investigación de Montemayor et al. (2006), en la cual se evidenció que riego por goteo permitió un mayor desarrollo de la altura de la planta que el riego por gravedad; estos resultados se deben gracias a que el riego por goteo (T2) tuvo una eficiencia favorable en ambas investigaciones, en el presente estudio del 96 %, lo que significa que la planta pudo aprovechar todo el volumen de agua aplicado, el cual se reflejó en la altura de la misma.

**Tabla 6-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Altura de la planta. Tunshi.2020

Tratamientos	Altura de la planta (cm)		
	30 dds	75 dds	120 dds
T1	20,5	112,37	227,2
T2	19,98	127,79	256,76
T3	18,23	115,84	254,17

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 3-3:** Altura de la planta 30 dds

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020

### 3.4. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo es el grosor del tallo que depende de la variedad, las condiciones ambientales y nutricionales del suelo, la resistencia que presenta la planta de maíz al acame depende en gran medida del diámetro del tallo (Ruiz y Morrison 2009, p. 23). En el análisis de varianza para diámetro del tallo, tabla 7-3, para los 30 dds, no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 14,83%; para los 75 dds presentó diferencia significativa para las repeticiones mientras que para los tratamientos no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 13,41%; para los 120 dds presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones y tratamientos, y su coeficiente de variación fue de 11,53%.

**Tabla 7-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Diámetro del tallo.  
Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS		
		Diámetro del tallo (mm)		
		30 dds	75 dds	120 dds
Total	8			
Repeticiones	2	1,54 <sup>ns</sup>	13,74*	38,28*
Tratamientos	2	1,74 <sup>ns</sup>	77,56 <sup>ns</sup>	43,38*
Error	4	0,88	12,67	10,77
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		14,83	13,41	11,53

**ns:** no significativo

**\*,** significativo

**\*\*:** altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020

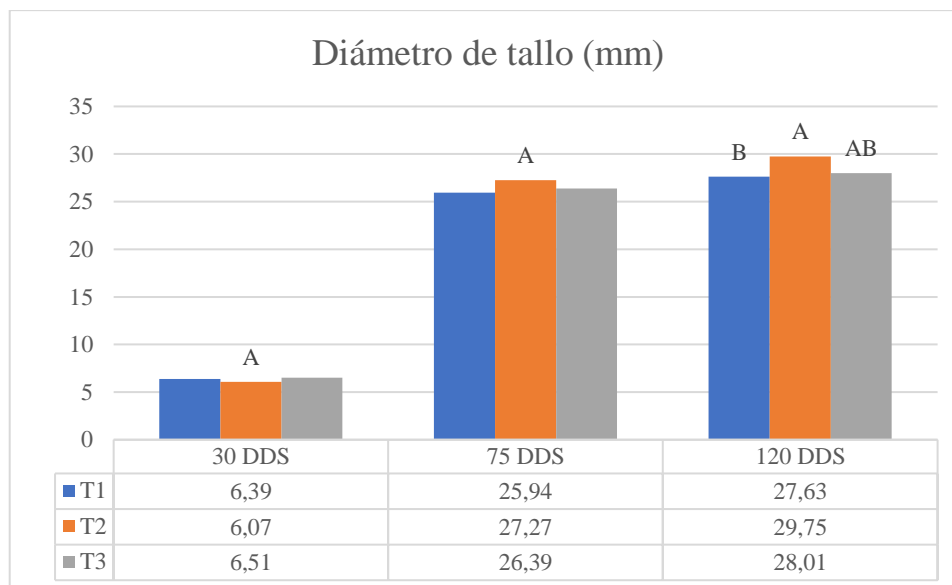
En la Tabla 8-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable diámetro del tallo, pudiéndose observar que el mejor promedio a los 30 dds lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 6,51 mm de diámetro, a los 75 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 27,27 mm de diámetro, y a los 120 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 29,75 mm de diámetro; estos resultados se pueden ver expresados en el gráfico 4-3. Los resultados alcanzados respecto a la variable diámetro del tallo presentaron la misma tendencia en el riego por gravedad (T1) y riego por goteo (T2) que la investigación de Montemayor et al. (2006), en la cual se evidenció que el riego por goteo permite alcanzar un mayor diámetro del tallo que el riego por gravedad; de igual manera que en el presente estudio, esto gracias a que la dotación de agua fue localizada en el riego por goteo (T2) por lo que la planta al tener disponibilidad inmediata de agua reflejó el incremento de su diámetro.

**Tabla 8-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Diámetro del tallo. Tunshi.2020

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)		
	30 dds	75 dds	120 dds
T1	6,39	25,94	27,63
T2	6,07	27,27	29,75
T3	6,51	26,39	28,01

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 4-3.** Diámetro del tallo 30 dds

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

### 3.5. Número de hojas

El número de hojas es relación entre peso (tamaño) de la flor, número de hojas a floración, número de hojas a cosecha, grosor del raquis floral a la altura, se estudia parámetros de la hoja, como el área, edad, forma, ángulo de verticalidad (Nava y Vera 2004, p. 6). En el análisis de varianza para número de hojas, tabla 9-3, para los 30 dds no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 11,50%; para los 75 dds y 120 dds presentó diferencia significativa para las repeticiones mientras que para los tratamientos presentó diferencia altamente significativa y su coeficiente de variación fue de 8,91%.

**Tabla 9-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Número de hojas. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS		
		Número de hojas		
		30 dds	75 dds	120 dds
Total	8			
Repeticiones	2	0,10 <sup>ns</sup>	4,63*	4,63*
Tratamientos	2	0,90 <sup>ns</sup>	7,43**	7,43**
Error	4	0,40	1,29	1,29
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		11,50	8,91	8,91

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

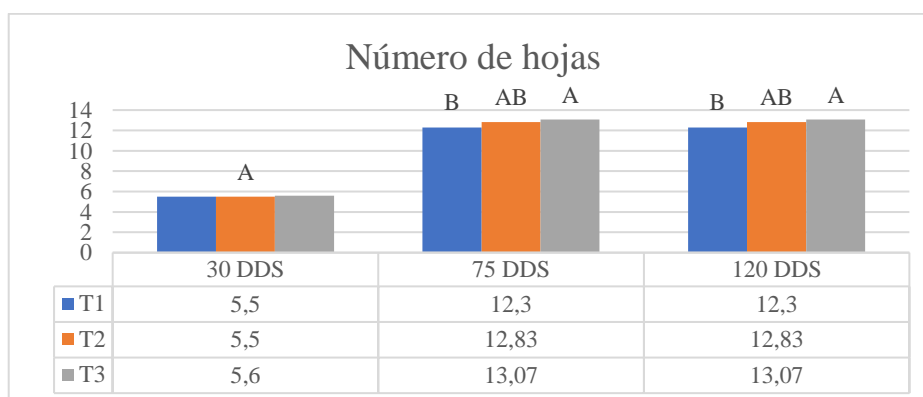
En la Tabla 10-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable número de hojas, pudiéndose observar que el mejor promedio a los 30 dds lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 5,6 hojas; de igual manera a los 75 dds y 120 dds lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 13,07 hojas, estos resultados se pueden ver expresados en el gráfico 5-3; concordando con los resultados de la investigación de Izquierdo (2012, pp. 78), quien presentó una media de 11 hojas por planta, lo que demostró que el tratamiento de aspersión gracias a su mayor área foliar tuvo buen rendimiento para la segunda categoría, considerando que su eficiencia de riego fue de 82 %.

**Tabla 10-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Número de hojas. Tunshi.2020

Tratamientos	Número de hojas		
	30 dds	75 dds	120 dds
T1	5,5	12,3	12,3
T2	5,5	12,83	12,83
T3	5,6	13,07	13,07

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 5-3.** Número de Hojas 30 dds

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

### 3.6. Altura de inserción de choclo

La altura de inserción de choclo comprende la distancia entre el nivel del suelo y el punto de inserción de la mazorca principal (Moreira 2013, p. 16). En el análisis de varianza para la altura de inserción de choclo, tabla 11-3, presentó diferencia significativa para las repeticiones mientras que para los tratamientos no presentó estadística diferencia significativa y su coeficiente de variación fue de 17,77%.

**Tabla 11-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Altura de inserción de choclo. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		Altura de inserción de choclo (cm)	
		120 dds	
Total	8		
Repeticiones	2		1855,24*
Tratamientos	2		360,28 <sup>ns</sup>
Error	4		501,99
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>			17,77

**ns:** no significativo

**\***: significativo

**\*\***: altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

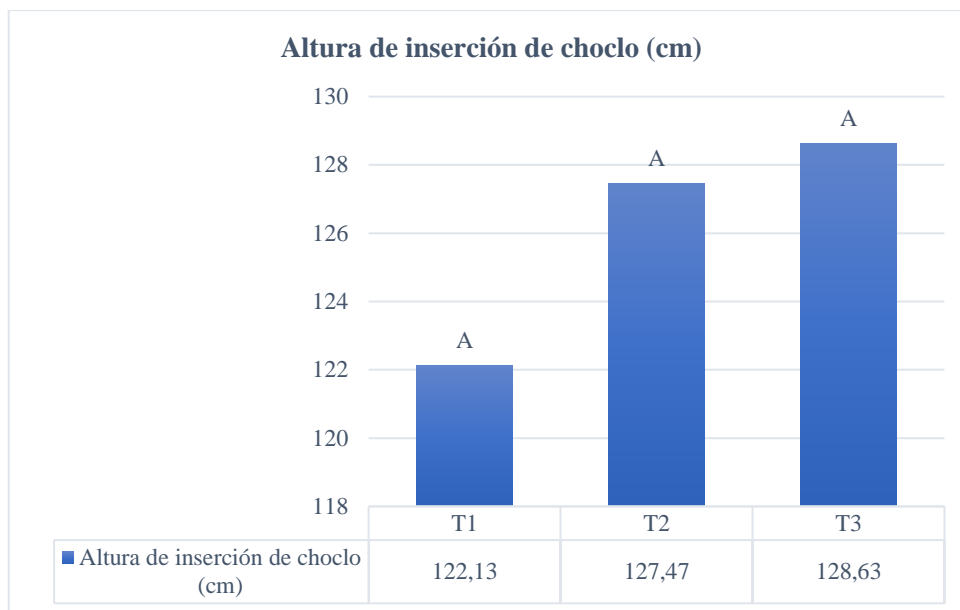
En la Tabla 12-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable altura de inserción del choclo, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 128,63 cm de altura, resultado que se puede ver expresado en el gráfico 6-3. Según la investigación de Badillo (2016, pp. 45) se obtuvieron resultados similares en el riego por gravedad (T1), siendo la altura de inserción de choclo de 122 cm en ambos estudios; sin embargo en esta investigación, en el riego por aspersión (T3) se alcanzó una altura superior de 128,63 cm debido a que la eficiencia de riego fue de 82 % la cual influyó directamente en el incremento de la altura de inserción del maíz, a diferencia con la eficiencia de riego por gravedad que fue del 20%.

**Tabla 12-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Altura de inserción de choclo. Tunshi.2020

Tratamientos	Altura de inserción de choclo (cm)	
	120 dds	
T1		122,13
T2		127,47
T3		128,63

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 6-3.** Altura de inserción de choclo (cm)

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.7. Contenido relativo de agua (%WRC)

La WRC es el porcentaje de humedad gravimétrica- contenido de agua (UNC 2015, p. 13). En el análisis de varianza para el contenido relativo de agua, tabla 13-3, para los 30 dds presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 6,58%; para los 75 dds no presentó diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 3,39%; y para los 120 dds no presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones sin embargo presentó diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 2,36%.

**Tabla 13-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable contenido relativo de agua. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS		
		Contenido Relativo de Agua (% WRC)		
		30 dds	75 dds	120 dds
Total	8			
Repeticiones	2	256,18*	11,16 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>
Tratamientos	2	318,53*	10,44 <sup>ns</sup>	83,95**
Error	4	24,50	8,68	3,58
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		6,58	3,39	2,36

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

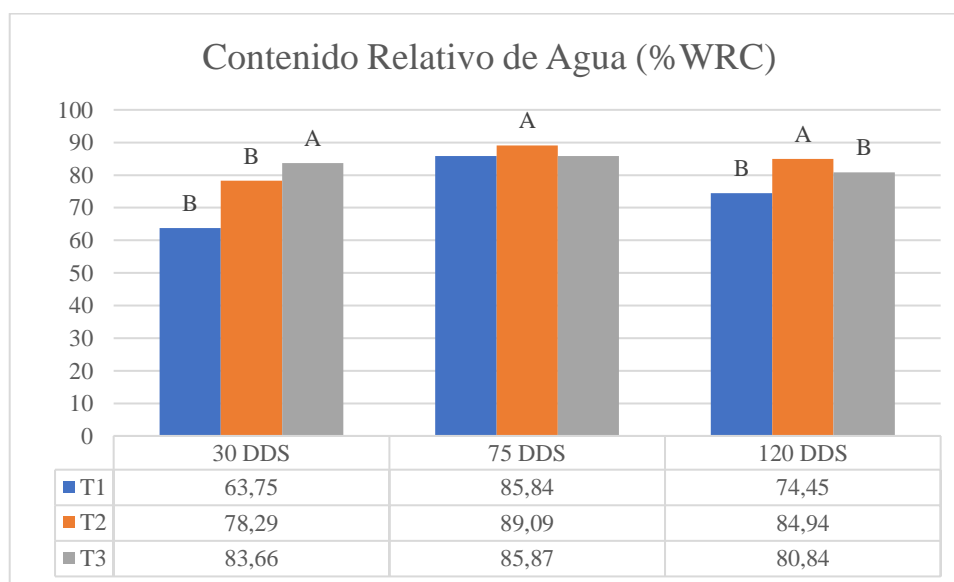
En la Tabla 14-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable contenido relativo de agua, pudiéndose observar que el mejor promedio a los 30 dds lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 83,66%, a los 75 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 89,09% y a los 120 dds lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 84,94%, los cuales se pueden ver expresados en el gráfico 7-3; resultados que se asemejaron a los de la investigación de Salguero (2018, pp. 61) ya que en ambas investigaciones se mantuvo la humedad del suelo a capacidad de campo y se utilizó riego por goteo con eficiencias de riego similares, además se utilizó semilla certificada del INIAP, investigaciones que demostraron que a mayor eficiencia de riego se obtuvo mayor contenido relativo de agua, esto se debe a que la planta absorbió toda el agua necesaria para que la misma no pase por estrés hídrico.

**Tabla 14-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable contenido relativo de agua. Tunshi.2020

Tratamientos	Contenido Relativo de Agua (% WRC)		
	30 dds	75 dds	120 dds
T1	63,75	85,84	74,45
T2	78,29	89,09	84,94
T3	83,66	85,87	80,84

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 7-3.** Contenido Relativo de Agua (% WRC)

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020



### 3.8. Porcentaje de materia seca (%M.S)

#### 3.8.1. Flor

En el análisis de varianza para el porcentaje de materia seca de la flor, tabla 15-3, no presentó diferencia estadística significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 19,50%.

**Tabla 15-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca de la flor. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		% M.S Flor	
		120 dds	
Total	8		
Repeticiones	2		
Tratamientos	2		0,11 <sup>ns</sup>
Error	4		66,70
Coeficiente de Variación (%)			19,50

ns: no significativo

\*: significativo

\*\*: altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

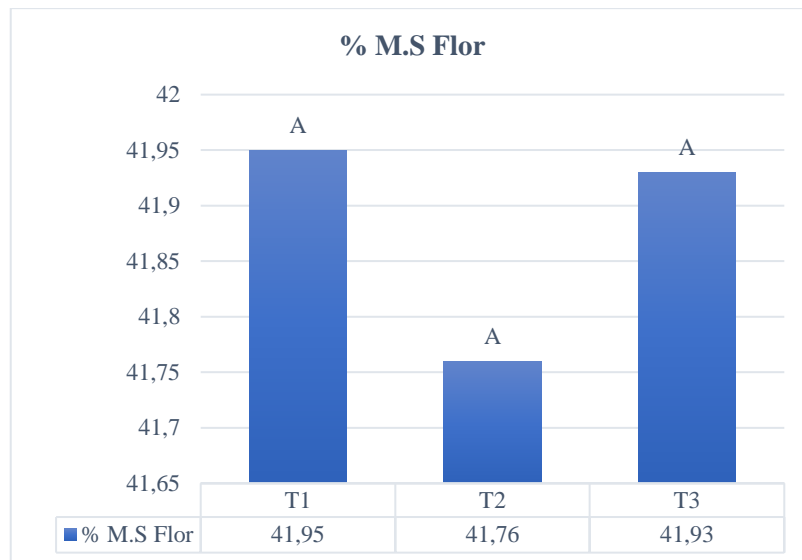
En la Tabla 16-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de materia seca de la flor, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por gravedad (T1) con 41,95% de materia seca, este resultado se puede ver expresado en el gráfico 8-3; lo que evidenció que en esta investigación ningún método de riego y eficiencia de riego influyó directamente en el incremento significativo del contenido de materia seca de la flor.

**Tabla 16-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable porcentaje de materia seca de la flor. Tunshi.2020

Tratamientos	% M.S Flor	
	120 dds	
T1		41,95
T2		41,76
T3		41,93

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 8-3.** Porcentaje de materia seca de la flor (% M.S Flor)

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.8.2. Raíz

En el análisis de varianza para materia seca de la raíz, tabla 17-3, no presentó diferencia estadística significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 29,09%.

**Tabla 17-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca de la raíz. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS
		% M.S Raíz
		120 dds
Total	8	
Repeticiones	2	
Tratamientos	2	95,39 <sup>ns</sup>
Error	4	95,80
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		29,09

ns: no significativo

\*: significativo

\*\*: altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

En la Tabla 18-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de materia seca de la raíz, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 36,95% de materia seca, este resultado se puede ver expresado en el gráfico 9-3; lo que significó que el sistema de riego por goteo (T2) y su eficiencia de 96 % influyeron

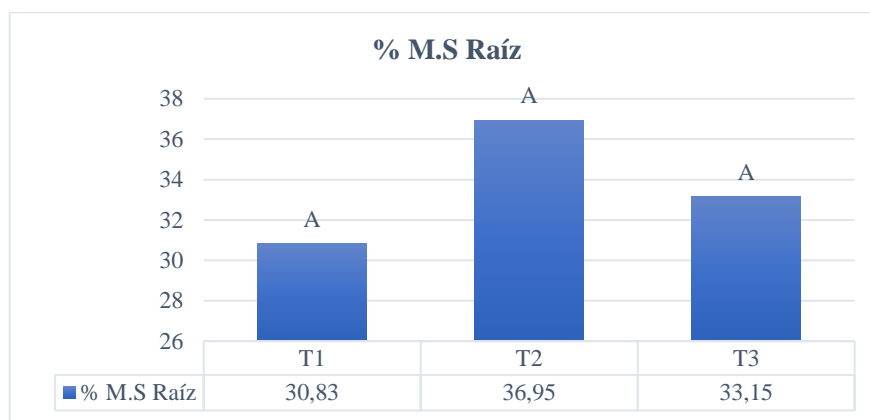
directamente en el crecimiento radicular por ende aumentó el porcentaje de materia seca de la raíz.

**Tabla 18-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable porcentaje de materia seca de la raíz. Tunshi.2020

Tratamientos	% M.S Raíz	
	120 dds	
T1	30,83	
T2	36,95	
T3	33,15	

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 9-3.** Porcentaje de materia seca de la raíz (% M.S Raíz)

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.8.3. Maíz

En el análisis de varianza para la materia seca del maíz, tabla 19-3, presentó diferencia altamente significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 22,85%.

**Tabla 19-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca Maíz. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		% M.S Maíz	
		120 dds	
Total	8		
Repeticiones	2		
Tratamientos	2	556,83**	
Error	4	38,02	
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		22,85	

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

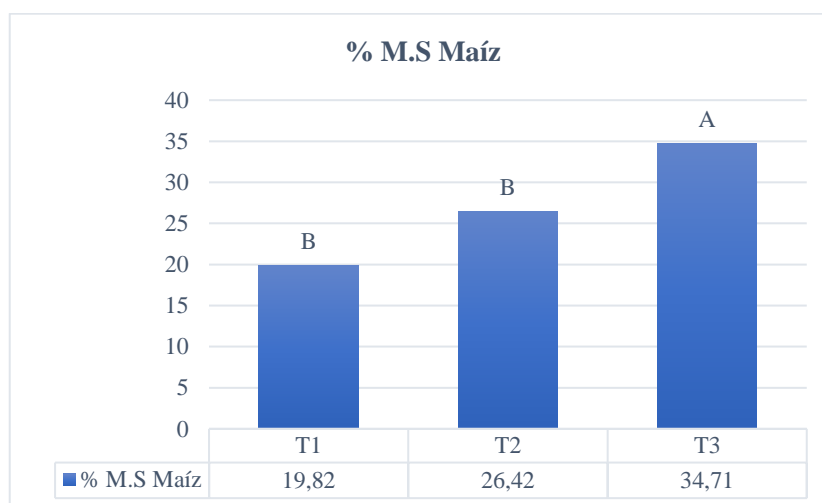
En la Tabla 20-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de materia seca del maíz, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 34,71% de materia seca, consecuentemente este resultado se dio debido a que en el riego por aspersión no llegaban la gotas directamente al suelo debido a que impactaba en los tallos y mazorcas de los maíces aledaños a los aspersores, por ende hubo más humedad en la mazorca o maíz; podemos observar este resultado expresado en el gráfico 10-3.

**Tabla 20-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Maíz. Tunshi.2020

Tratamientos	% M.S Maíz	
	120 dds	
T1	19,82	
T2	26,42	
T3	34,71	

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 10-3:** Porcentaje de materia seca del maíz (% M.S Maíz)

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

### 3.8.4. Hojas

En el análisis de varianza para materia seca de las hojas, tabla 21-3, presentó diferencia altamente significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 22,85%.

**Tabla 21-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable % materia seca Hojas. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		% M.S Hojas	
		120 dds	
Total	8		
Repeticiones	2		
Tratamientos	2		166,53**
Error	4		17,66
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>			16,44

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

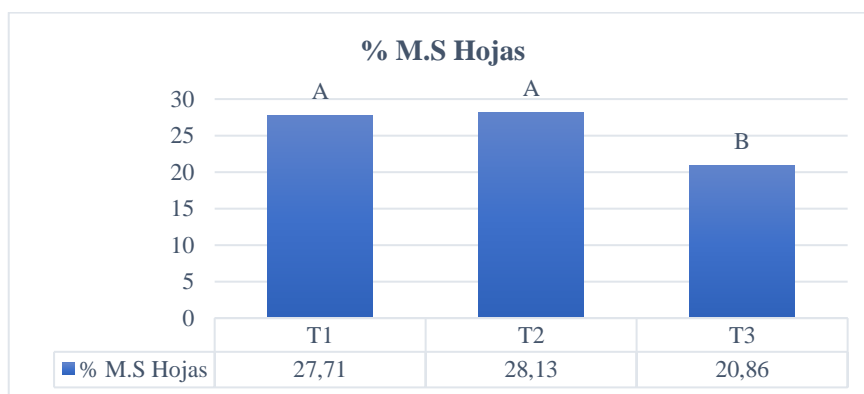
En la Tabla 22-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de materia seca de las hojas, pudiéndose observar en el gráfico 11-3 que el mejor promedio lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 28,13% de materia seca, este resultado está relacionado directamente con el contenido relativo de agua (%WRC) que fue el más alto en el riego por goteo (T2) con 84,94 %, que a la vez estos dependieron directamente del tipo de riego y de su eficiencia.

**Tabla 22-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Hojas. Tunshi.2020

Tratamientos	% M.S Hojas	
	120 dds	
T1		27,71
T2		28,13
T3		20,86

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 11-3.** Porcentaje de materia seca de las hojas (% M.S Raíz)

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

### 3.8.5. Tallos

En el análisis de varianza para materia seca de los tallos, tabla 23-3, no presentó diferencia estadística significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 14,98%.

**Tabla 23-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable % materia seca Tallos. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		% M.S Tallos	
		120 dds	
Total	8		
Repeticiones	2		
Tratamientos	2		19,25 <sup>ns</sup>
Error	4		7,84
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>			14,98

**ns:** no significativo

**\*:** significativo

**\*\*:** altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

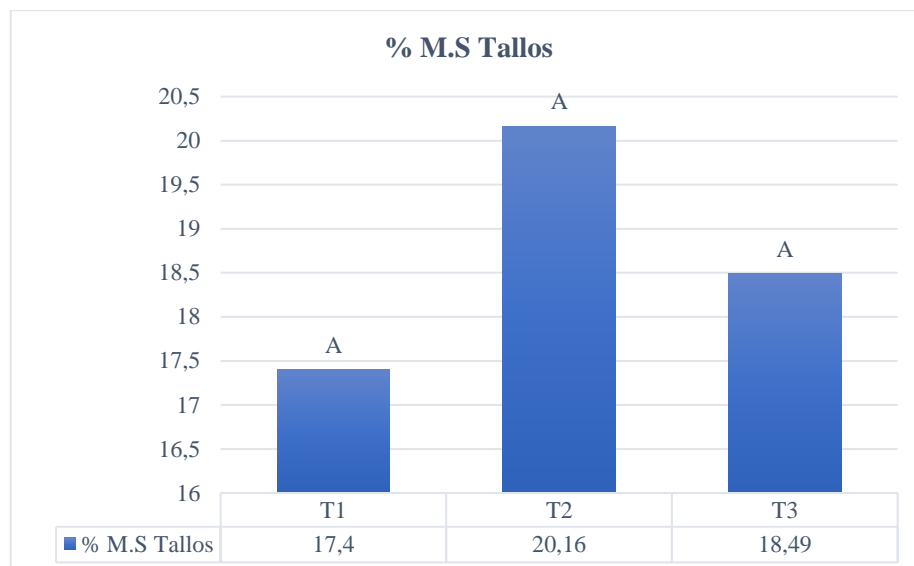
En la Tabla 24-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de materia seca de los tallos, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 20,16% de materia seca, este resultado se puede ver expresado en el gráfico 12-3; lo que evidenció que el sistema de riego por goteo (T2) y su eficiencia de 96 % tuvieron acción directa en el engrosamiento del tallo, por ende aumentó el porcentaje de materia seca de la tallo.

**Tabla 24-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Tallos. Tunshi.2020

Tratamientos	% M.S Tallos	
	120 dds	
T1		17,4
T2		20,16
T3		18,49

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 12-3.** Porcentaje de materia seca de tallos (% M.S Tallos)

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.8.6. *Materia seca total*

En el análisis de varianza para materia seca total, tabla 25-3, presentó diferencia altamente significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 12,78%.

**Tabla 25-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable porcentaje de materia seca Total. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS
		% M.S Total
		120 dds
Total	8	
Repeticiones	2	
Tratamientos	2	54,20**
Error	4	8,52
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		12,78

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

En la Tabla 26-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de materia seca total, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 24,28% de materia seca, seguido del riego por goteo (T2) con 24,07%, es decir no presentaron diferencia estadística significativa, estos resultados se pueden ver expresados en el

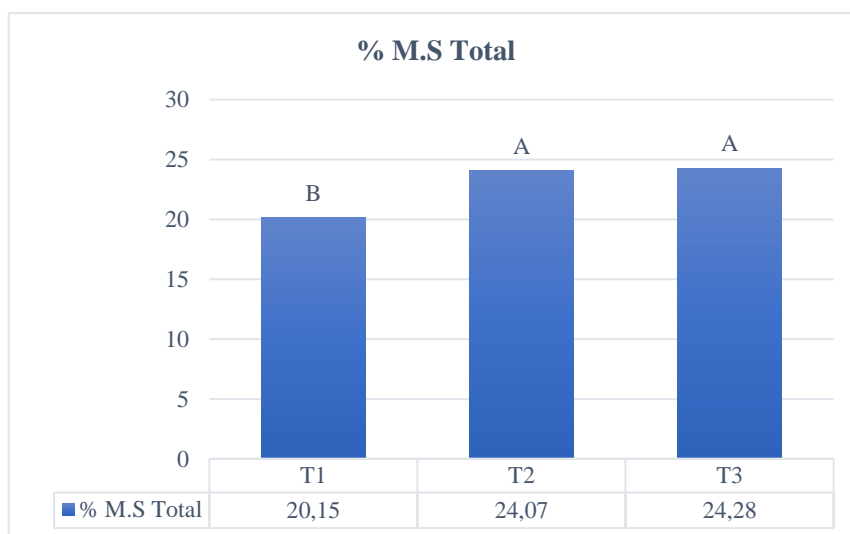
gráfico 13-3. En la publicación de Montemayor et al. (2012), los autores concluyeron que la producción de materia seca fue mayor con el riego por goteo que con el riego por aspersión o con el riego por gravedad; los resultados de esta investigación presentaron similitud, por lo que se sobreentiende que al implementar un riego por goteo o aspersión y con altos porcentajes de eficiencia de riego, se va obtener mayor porcentaje de materia seca que al implementar un riego tradicional o por gravedad.

**Tabla 26-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable % materia seca Total. Tunshi.2020

Tratamientos	% M.S Total	
	120 dds	
T1	20,15	
T2	24,07	
T3	24,28	

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 13-3.** Porcentaje de materia seca total (% M.S Total)

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

### 3.9. Rendimiento (tn/ha)

El rendimiento (tn/ha) es la cantidad total de producto agropecuario efectivamente obtenido después de la recolección en una unidad de área (ENA 2015, p. 2). En el análisis de varianza para el rendimiento, tabla 27-3, para la primera categoría no presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones, mientras que para los tratamientos presentó diferencia altamente significativa y su coeficiente de variación fue de 17,42 %; la segunda categoría no presentó



diferencia estadística significativa y su coeficiente de variación fue de 34,09%; y la tercera categoría presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones sin embargo no presentó diferencia estadística significativa para los tratamientos y su coeficiente de variación fue de 24,79%.

**Tabla 27-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Rendimiento.  
Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS		
		Rendimiento (tn/ha)		
		1era categoría	2da categoría	3era categoría
Total	8			
Repeticiones	2	0,65 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	1,20*
Tratamientos	2	18,92**	10,10 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Error	4	0,90	3,51	0,27
<b>Coeficiente de Variación (%)</b>		17,42	34,09	24,79

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

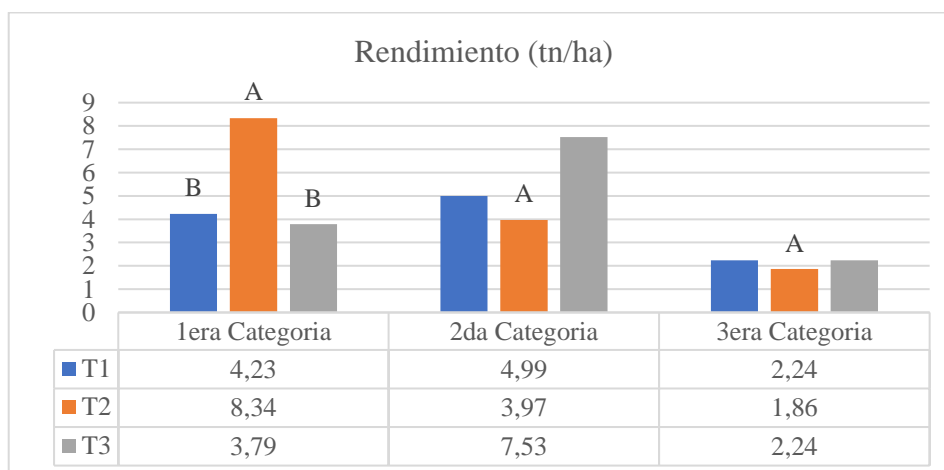
En la Tabla 28-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable rendimiento, pudiéndose observar que el mejor promedio para la primera categoría lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 8,34 tn/ha, para la segunda categoría lo obtuvo el riego por aspersión (T3) con 7,53 tn/ha, y para la tercera categoría lo obtuvieron el riego por gravedad (T1) y el riego por aspersión (T3) con 2,24 tn/ha, estos resultados se pueden ver expresados en el gráfico 14-3. Los resultados alcanzados respecto a la variable rendimiento difieren con los publicados en la investigación de Montemayor et al. (2006), en la cual se evidenció que mediante el riego por goteo se alcanzó un mayor rendimiento que con el riego por gravedad con 46,200 kg/ha y 43,800 kg/ha respectivamente de igual manera que en el presente estudio, las diferencias calculadas no se consideraron estadísticas significativas para ambos tratamientos. Por otra parte, en el estudio de Gárate (2011) sobre el “Impacto económico de la aplicación de riego por goteo para el cultivo de maíz forrajero en la irrigación Majes 2010”, las tasas de rendimiento para el riego por goteo y el riego por aspersión difieren también con los resultados de la presente investigación, donde el riego por goteo incrementó en un 21% la producción de maíz en relación al método de riego por aspersión.

**Tabla 28-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable Rendimiento. Tunshi.2020

Tratamientos	Rendimiento (tn/ha)		
	1era categoría	2da categoría	3era categoría
T1	4,23	4,99	2,24
T2	8,34	3,97	1,86
T3	3,79	7,53	2,24

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.



**Gráfico 14-3.** Rendimiento (tn/ha)

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.10. % Eficiencia de riego

La eficiencia de riego implica el grado de habilidad que tiene el regante para manejar el agua (FAO 2015, p. 39). En el análisis de varianza para la eficiencia de riego, tabla 29-3, no presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones, sin embargo, para los tratamientos presentó diferencia altamente significativa y su coeficiente de variación fue de 6,35%.

**Tabla 29-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable % Eficiencia de riego. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS
		% Eficiencia de Riego
		120 dds
Total	8	
Repeticiones	2	2,65 <sup>ns</sup>
Tratamientos	2	4917,68 <sup>**</sup>
Error	4	17,63
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		<b>6,35</b>

ns: no significativo

\*: significativo

\*\* : altamente significativo

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

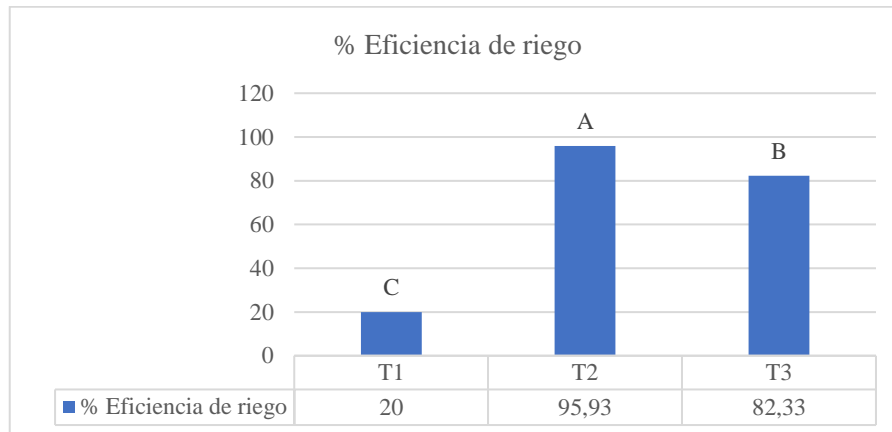
En la Tabla 30-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable porcentaje de eficiencia de riego, pudiéndose observar que el mejor promedio lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 96 % de eficiencia, seguido del riego por aspersión (T3) con 82 % y el riego por gravedad (T1) con 20 % de eficiencia, estos resultados se pueden ver expresados en el gráfico 15-3. Los resultados alcanzados respecto a la variable porcentaje de eficiencia de riego presentaron la misma tendencia que la investigación de Montemayor et al. (2007), en la cual se evidenció que el riego por goteo presentó una mayor eficiencia de riego que el riego por gravedad ya que el riego por goteo es un riego localizado y tecnificado a la vez, lo cual permitió que sea una dosificación uniforme de agua, sin interrupciones y por lo cual la planta pudo aprovecharlo (Vargas, 2008, p. 7).

**Tabla 30-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable % Eficiencia de riego. Tunshi.2020

Tratamientos	% Eficiencia de Riego	
	120 dds	
T1		20
T2		96
T3		82

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.



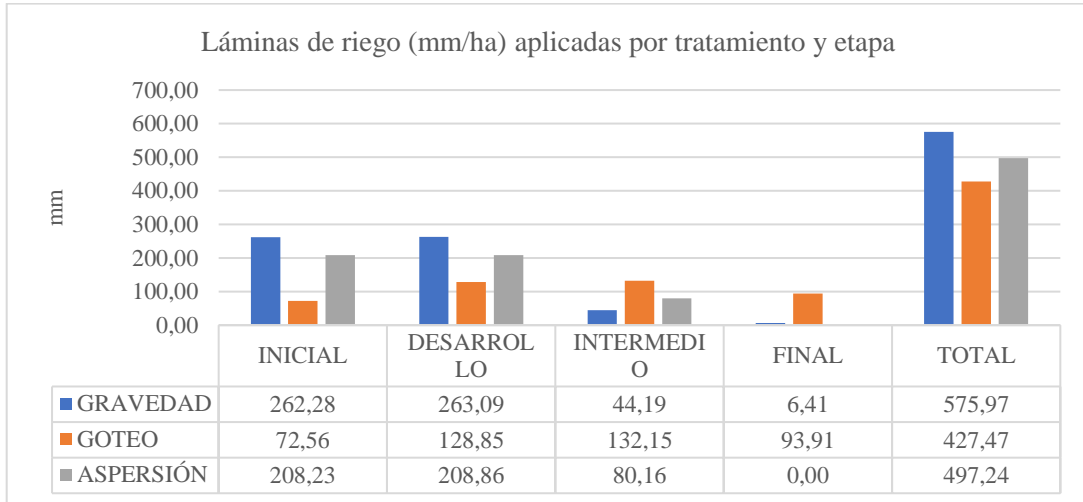
**Gráfico 15-3.** % Eficiencia de riego

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

### 3.11. Lámina de riego y volumen de agua aplicada

En el gráfico 16-3, se representa las láminas de riego (mm) aplicadas por tratamiento y etapa, además se puede observar la lámina de riego por ciclo la cual dio como resultados: mayor lámina de agua aplicada de 575,97 mm para el tratamiento de gravedad y menor lámina de agua aplicada de 427,47 mm para el tratamiento de goteo, resultados que concordaron con la investigación de M. Álvarez y H. Álvarez (2018, pp. 71), que demostraron que al aplicar menor lámina de riego, con ayuda

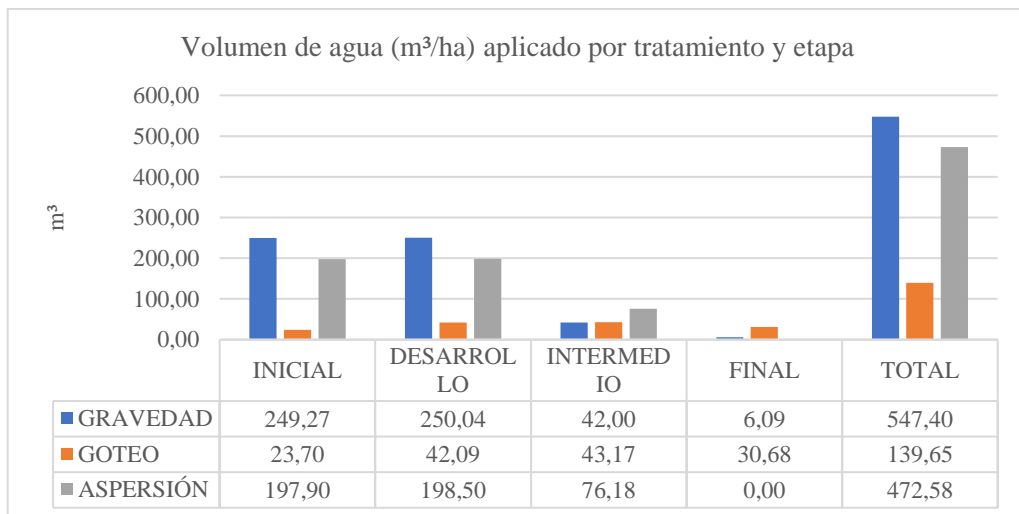
de un sistema de riego tecnificado y con un alto porcentaje de eficiencia de riego se puede ahorrar el suministro hídrico y obtener buenos rendimientos, como fue con el riego por goteo utilizado en ambas investigaciones.



**Gráfico 16-3.** Lámina de riego (mm/ha) aplicadas por tratamiento y etapa

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

En el gráfico 17-3, se representa el volumen de agua ( $m^3$ ) aplicado por tratamiento y etapa, además se puede observar el volumen de riego por ciclo el cual dio como resultados: mayor volumen de agua de  $547,40 m^3$  para el tratamiento de gravedad y menor volumen de agua de  $139,65 m^3$  para el tratamiento de goteo; en la investigación de Guzmán (2017, pp. 52) el riego por goteo presentó menor volumen de agua aplicada, por lo cual se evidenció que la eficiencia de riego por goteo contribuyó de manera significativa para el ahorro del recurso hídrico y este pudo ser aprovechado por las plantas y mejorar su rendimiento.

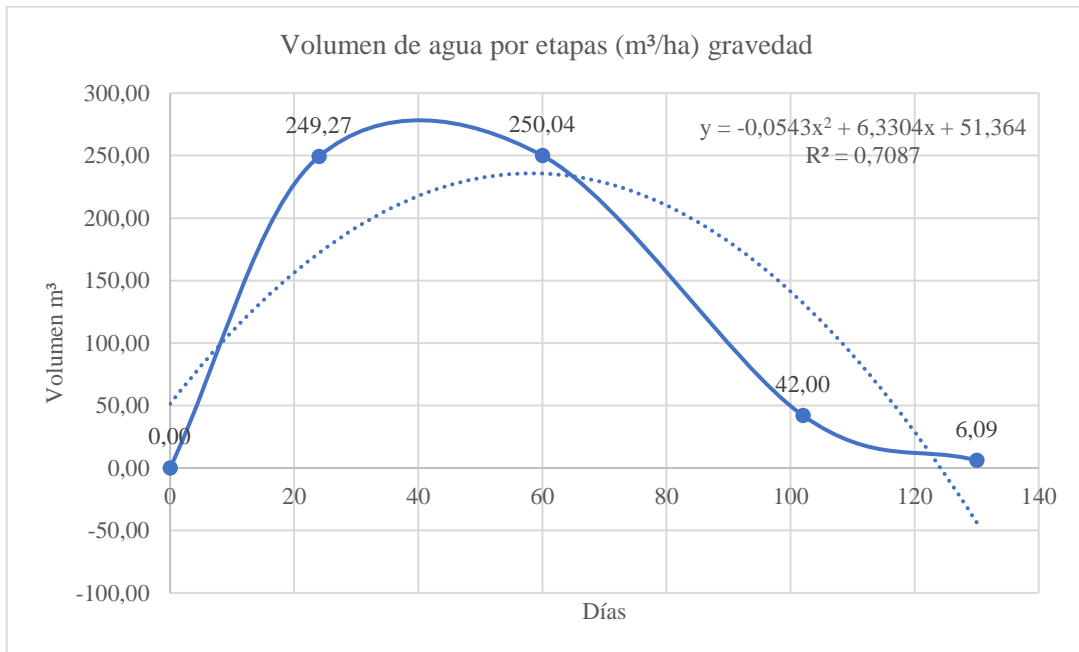


**Gráfico 17-3.** Volumen de agua ( $m^3$ /ha) aplicado por tratamiento y etapa

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

### 3.11.1. Volumen de agua aplicada por gravedad

El gráfico 18-3, representa el volumen de agua aplicada por etapas y por riego de gravedad (T1); para la etapa inicial se utilizó un volumen de agua de 249,27 m<sup>3</sup>; en la etapa de desarrollo un volumen de 250,04 m<sup>3</sup>; en la etapa intermedia un volumen de 42 m<sup>3</sup> y para la etapa final fue un volumen de 6,09 m<sup>3</sup>. Se pudo identificar que en el riego por gravedad (T1), las etapas que requirieron más volumen de agua fueron las etapas iniciales y de desarrollo.

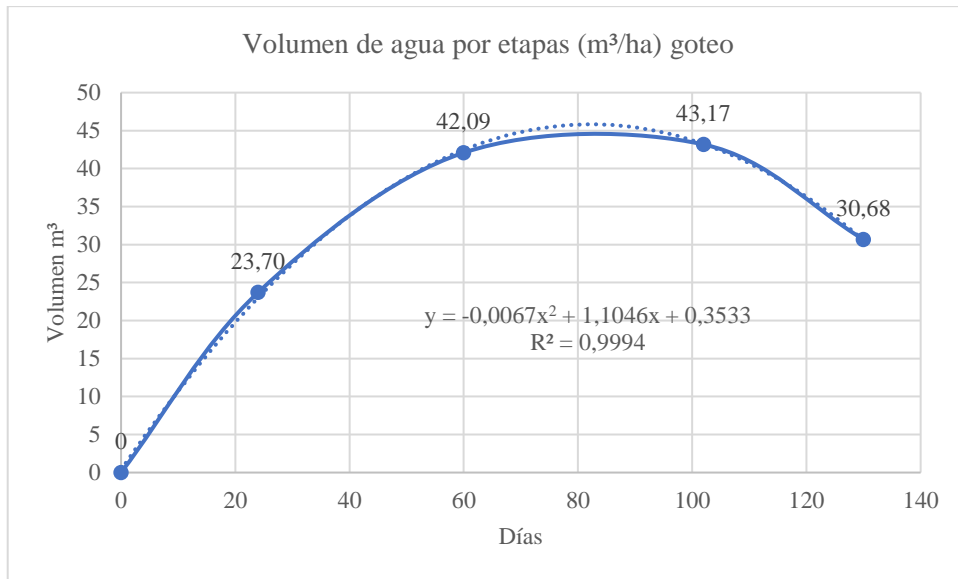


**Gráfico 18-3.** Volumen de agua por etapas

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.11.2. Volumen de agua aplicada por goteo

El gráfico 19-3, representa el volumen de agua aplicada por etapas y por riego de goteo (T2); para la etapa inicial se utilizó un volumen de agua de 23,70 m<sup>3</sup>; en la etapa de desarrollo un volumen de 42,09 m<sup>3</sup>; en la etapa intermedia un volumen de 43,17 m<sup>3</sup> y para la etapa final fue un volumen de 30,68 m<sup>3</sup>. Se puede identificar que en el riego por goteo (T2), en las etapas que requirió más volumen de agua fueron las etapas desarrollo e intermedia.

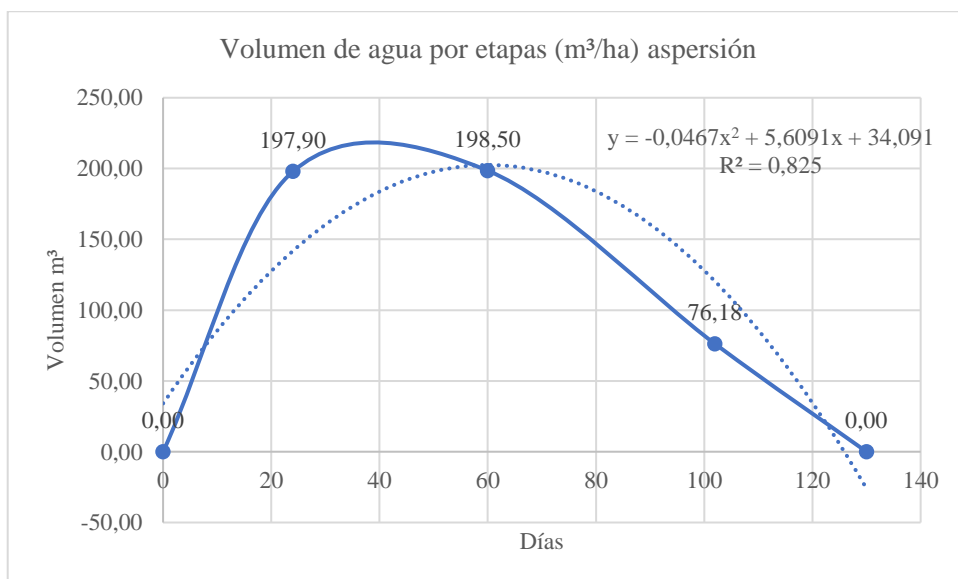


**Gráfico 19-3.** Volumen de agua por etapas

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

### 3.11.3. Volumen de agua aplicada por aspersión

El gráfico 20-3, representa el volumen de agua aplicada por etapas y por riego de aspersión (T3); para la etapa inicial se utilizó un volumen de agua de 197,90 m³; en la etapa de desarrollo un volumen de 198,50 m³; en la etapa intermedia un volumen de 76,18 m³ y para la etapa final fue un volumen de 0 m³. Se pudo identificar que en el riego por aspersión (T3), las etapas que requirieron más volumen de agua fueron la etapa inicial y desarrollo.



**Gráfico 20-3.** Volumen de agua por etapas

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

### 3.12. Huella hídrica

La huella hídrica es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región (Becerra y Membrive 2013, p. 5). En el análisis de varianza para la huella hídrica, tabla 31-3, no presentó diferencia estadística significativa para las repeticiones, sin embargo, para los tratamientos presentó diferencia altamente significativa, y su coeficiente de variación fue de 0,08%.

**Tabla 31-3:** Cuadrado medio y significación estadística para la variable Huella hídrica. Tunshi.2020

Fuente de Variación (F.V.)	Grados de libertad (gl)	CUADRADOS MEDIOS	
		Huella hídrica (L/Kg)	
		120 dds	
Total	8		
Repeticiones	2		0.,78 <sup>ns</sup>
Tratamientos	2		2316976,37 <sup>**</sup>
Error	4		0,78
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>			0.08

**ns:** no significativo

**\*:** significativo

**\*\*:** altamente significativo

**Fuente:** Resultados del procesamiento de datos de Infostat

**Realizado por:** Lema, Cristhian, 2020.

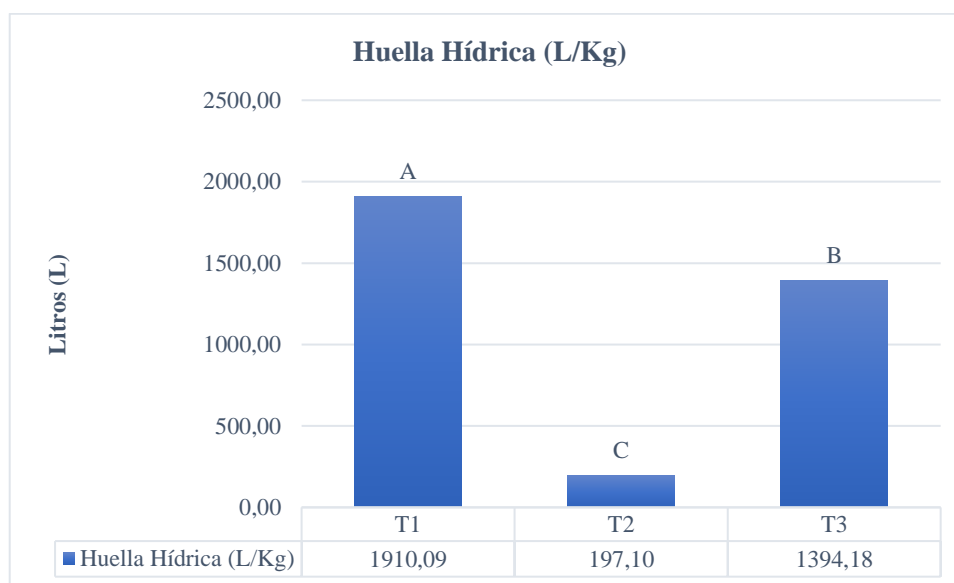
En la Tabla 32-3, se presentan los promedios aritméticos de las medias para la variable huella hídrica, pudiéndose observar en el gráfico 16-3, que el mejor promedio lo obtuvo el riego por goteo (T2) con 197,09 L/Kg seguido del riego por aspersión (T3) con 1394,18 L/Kg y del riego por gravedad (T1) con 1910,09 L/Kg siendo este último el que más agua utilizó para producir un kilogramo de producto por lo cual fue consecuencia de que el riego por gravedad trabajó con una eficiencia de 20% a diferencia del riego por goteo que tuvo la menor huella hídrica y trabajó con una mayor eficiencia de riego de 96 %, datos que coincidieron con la investigación de (Álvarez, Morábito & Schilardi, 2016) por lo tanto quedó comprobado que a mayor eficiencia de riego la huella hídrica disminuyó pero incrementó el rendimiento del cultivo de maíz.

**Tabla 32-3:** Promedio Aritmético de las Medias para la variable huella hídrica. Tunshi.2020

Tratamientos	Huella hídrica (L/Kg)
	120 dds
T1	1910,09
T2	197,10
T3	1394,18

Fuente: Resultados del procesamiento de datos de Infostat

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020



**Gráfico 21-3.** Huella Hídrica

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020

### 3.13. Análisis Beneficio / Costo

**Tabla 33-3:** Análisis beneficio/costo

TRATAMIENTO	INGRESO TOTAL	COSTO TOTAL	B/C	% RENTABILIDAD	AMORTIZACIÓN
T1	896,17	554,63	1,62	38,11	55,46
T2	1022,28	701,63	1,46	31,37	140,32
T3	874,40	995,63	0,88	-13,86	124,45

Realizado por: Lema, Cristhian, 2020.

En el análisis económico nos arroja que el riego por gravedad (T1) presentó mayor beneficio/costo de 1,62 con una rentabilidad del 38,11% lo que quiere decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,62 dólares, además con una amortización anual de 55,46 dólares por 10 años de vida útil del sistema de riego; seguido por el riego por goteo (T2)



que presentó un beneficio/costo de 1,46 con una rentabilidad del 31,37% lo que quiere decir que por cada dólar invertido se recupera el dólar y adicionalmente se gana 0,46 dólares, además con una amortización anual de 140,32 dólares por 5 años de vida útil del sistema de riego; mientras que el riego por aspersión (T3) presentó el menor beneficio/costo de 0,88 con una rentabilidad del -13,86%, es decir, que por cada dólar invertido no se recupera ni el dólar, solamente 0,88 dólares, además con una amortización anual de 124,45 dólares por 8 años de vida útil del sistema de riego. Los resultados presentados mantienen una concordancia con las conclusiones del estudio de Gárate (2011) en los cuales el investigador concluyó que el 100 % de las empresas estudiadas consiguieron aumentar en un 52,64 % su ingreso bruto con el riego por goteo, respecto al sistema de riego por aspersión.

## CONCLUSIONES

El mejor método de riego fue el riego por goteo (T2), obteniéndose un rendimiento de primera categoría de 8,34 tn/ha.

El método de riego con mejor coeficiente de uniformidad de aplicación (eficiencia de riego) fue el riego por goteo (T2) con 96 % de eficiencia, seguido por el riego por aspersión (T3) con 82 % de eficiencia y posteriormente por el riego por gravedad (T1) con 20 % de eficiencia.

Para primera categoría o categoría comercial el riego por gravedad (T1) obtuvo un rendimiento de 4,23 tn/ha, el riego por goteo (T2) obtuvo un rendimiento de 8,34 tn/ha y el riego por aspersión (T3) obtuvo un rendimiento de 3,79 tn/ha.

Para la huella hídrica en el cultivo de maíz, el mejor tratamiento fue el riego por goteo (T2) con 197,10 L/Kg. Se concluye que al emplear el riego por goteo (T2) se necesita menos agua para producir más, mientras que con el riego por gravedad (T1) se necesita más agua, y aun así no se lograría producir igual o más que con el riego por goteo (T2).

Según el análisis económico beneficio/costo, el tratamiento con mejor ingreso económico o ganancias fue el riego por goteo (T2), sin embargo, éste es menos rentable y presenta menos beneficio/costo que el riego por gravedad (T1); esto se debe a la inversión inicial o costo de la implementación de cada método de riego.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar al menos tres evaluaciones del coeficiente de uniformidad durante todo el ciclo del cultivo, es decir, una inicial a los 15 dds, luego a los 60 dds y finalmente a los 90 dds.

Para futuras investigaciones relacionadas al tema de estudio, se propone que en el análisis de huella hídrica se considere a profundidad la huella gris, es decir, cuánto contamina el producir un metro de cinta de riego o un metro de cinta FlexNet, o simplemente un aspersor.

## GLOSARIO

**Altura de inserción de choclo:** comprende la distancia comprendida entre el nivel del suelo y el punto de inserción de la mazorca principal (Moreira 2013, p. 16).

**Altura de la planta:** responde al efecto de tratamientos que promuevan el crecimiento, como lo es el caso de las quitosanas, pues se ha comprobado en diferentes cultivos su acción en cuanto al incremento de la altura en distintas especies comparadas con las plantas no tratadas (Jerez 2017, p. 8).

**Diámetro del tallo:** es el grosor del tallo que depende de la variedad, las condiciones ambientales y nutricionales del suelo, la resistencia que presenta la planta de maíz al acame depende en gran medida del diámetro del tallo (Ruiz y Morrison 2009, p. 23)

**Eficiencia de riego:** implica el grado de habilidad que tiene el regante para manejar el agua (FAO 2015, p. 39).

**Huella hídrica:** es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región (Becerra y Membrive 2013, p. 5)

**Materia seca:** es lo que queda cuando el agua (húmedad) es eliminada del alimento MS (Escobar B. et al. 2020, p. 3)

**Número de hojas:** relación entre peso (tamaño) de la flor, número de hojas a floración, número de hojas a cosecha, grosor del raquis floral a la altura, se estudia parámetros de la hoja, como el área, edad, forma, ángulo de verticalidad (Nava y Vera 2004, p. 6).

**Profundidad radicular:** es la distancia desde su superficie hasta una zona en la que las raíces ya no pueden crecer, zona que puede ser grava, una capa pesada y dura o capa arcillosa, un lecho rocoso o agua (Tenezaca 2015, p. 15).

**Rendimiento:** es la cantidad total de producto agropecuario efectivamente obtenido después de la recolección en una unidad de área (ENA 2015, p. 2).

**Repeticiones:** Es correr más de una vez un tratamiento o una combinación de factores. Es preciso no confundir este principio con medir varias veces el mismo resultado experimental. Las repeticiones permiten distinguir mejor qué parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cuál a los factores (Ortíz 2017, p. 5).

**Tratamiento:** todas aquellas sustancias utilizadas para la protección de los cultivos de todos aquellos elementos que puedan ser perjudiciales para la salud pública, así como también lo sean, para la agricultura (Punina 2013, p. 24).

## BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA, Rosa.** *El cultivo del maíz, su origen y clasificación.* El maíz en Cuba. Cultivos tropicales, 2009, vol. 30, no 2, p. 00-00. AGUA, S., 2019. Plan nacional de riego y drenaje 2019-2017. [en línea]. Ecuador-Quito: [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/RESUMEN-PNRD-2019-2027.pdf>.

**ÁLVAREZ, Martha & ÁLVAREZ, Hugo.** *Parámetros hídricos: cultivo de maíz en el Valle de Joa, Ecuador. Producción y calidad del maíz (Zea mays. L) bajo riego por goteo en el Valle de Joa, Cantón Jipijapa, Provincia de Manabí.* [Ecuador]. Editorial Académica Española, 2018. [137] pp. ISBN: 9786202255875.

**ALVAREZ, A., MORÁBITO, J.A. & SCHILARDI, C.** *Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (Zea mayz) en provincias del centro y noreste Argentino.* Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias [en línea], 2016 (Argentina) 48(1), pp. 161-177. [Consulta 01 enero 2021]. ISSN 1853-8665. Disponible en: <http://revistas.uncuyo.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/3230/2343>

**BADILLO, A.** Evaluación del aporte de gallina a fresca en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mayz*) variedad INIAP 122, en dosis diferentes, en la Parroquia Malchinguí, Cantón Pedro Moncayo, Provincia Pichincha (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Administración y Producción Agropecuaria. Loja-Ecuador. 2016. pp. 1-91

**BAUTISTA, E., ROA, J., & ORTEGA, J.** “Estimación de la huella hídrica para un cultivo de *pitahaya amarilla*”. Publicaciones e investigación [en línea], 2015 (Colombia) 9(1), 135-146. [Consulta: 01 enero 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.22490/25394088.1439>

**BLESSING, D., & HERNÁNDEZ, G.** Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) var. NB-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la Finca El Plantel. 2007-2008 (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal. Managua-Nicaragua. 2009. 1-39.

**CAPCHA, T & MARCACUZCO, J.** “Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima” *Apuntes de Ciencia y Sociedad* [en línea], 2015 (Perú) 5 (1). [Consulta: 03 enero 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.18259/acs.2015020>

**CAMACHO, W., & URIBE, D.** “Estimación de la huella hídrica azul y verde de la producción cafetera en ocho cuencas en el sur del departamento de Huila”. *RIAA* [en línea], 2018 (Colombia) 9(2), pp. 4-15. [Consulta: 03 enero 2021]. ISSN-e 2145-6453. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6535128>

**CHICAS, R., VANEGAS, E. & GARCÍA, N., 201d. C.** *Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala.* [en línea], vol. 3, no. 1. [Consulta: 22 diciembre 2020]. ISSN 2071-0054. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542014000100007&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542014000100007&script=sci_arttext&tlng=en).

**CONGOPE,** *Hablemos de riego.* S.l.: s.n. ISBN 9789942110541. 2016.

**CUELLO, G., VARONA, R., & ESTRADA, O.** “Cuantificación de área humedecida y balance hídrico en guayaba con riego por goteo”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], 2016 24 (5), 12-18 [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/viewFile/426/433>

**CHACHA, J.; COSTA, D.** Evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del río blanco en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica del Ecuador, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba (Ecuador). 2019. pp. 57-59. [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/11139/1/236T0441.pdf>

**DÁVILA, H.** “La huella hídrica en la estructura urbana. El centro tradicional de Bogotá”. *Botacora urbano-territorial* [en línea], 2018 (Colombia) 28(3), 99-110. [Consulta: enero 2021]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6656558>

**DEMIN, P.,** *Métodos de riego : fundamentos, usos y adaptaciones.* Aporte para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego., pp. 6-10. 2014.

**FAO,** *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal.* Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. , pp. 111. 1999.

**FAO**, *Agua y cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura*. [en línea]. Roma: [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y3918s/Y3918S.pdf>. 2002.

**FAO**. *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2011. 978-92-5-306614-8, pp. 1-338.

**FARINANGO, D.E.F.**, “*Primer ciclo de mejoramiento genético de maíz (zea mays l.) mediante selección masal, visual, estratificada, en chazo*”, [en línea]. Riobamba: ESPOCH. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4266/1/13T0810.pdf>. 2018.

**FRANCO, V.** Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Cevallos-Ecuador. 2018. pp. 1-54.

**GÁRATE, J.** Impacto económico de la aplicación de riego por goteo para el cultivo de maíz forrajero en la irrigación Majes 2010 [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna (Perú). 2011. pp. 87-88. [Consulta: 17 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/780>

**GARCÍA, J; et al.** “*Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas*”. CONACYT [en línea], 2016, (México), pp. 129-140. [Consulta: 20 noviembre 2021]. Disponible en: <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>

**GARRIDO, R.** Eficacia de la Nutrición Foliar con 2 soluciones nutritivas y 4 dosis, en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanumtuberosum*L. VAR CECILIA) en la Estación Experimental Tunshi-Epoch (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 2015. 1-92.

**GUACHO, E.** Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la Localidad San José de Chazo (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 2014. 1-100.

**GUERRERO, M.**, Diseño de un sistema de riego por aspersión con automatización para el sector de Ugñag, cantón Penipe. . Tesis. Penipe-Chimborazo: ESPOCH. 2017.

**GUZMÁN, Dennys.** “*Etapas fenológicas del maíz (Zea mays L.) var. tusilla bajo las condiciones climáticas del Cantón Cumandá, Provincia de Chimborazo*”. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Cumandá: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2017. [68] pp. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25123/1/tesis%20029%20Ingenier%c3%ada%20Agropecuaria%20-%20Guzman%20Dennys%20-%20cd%20029.pdf>

**HERNÁNDEZ, R.** “*Resultados de eficiencias de aplicación para diferentes alternativas de diseño y manejo del riego por surcos con flujo de agua continuo. Primera parte*”. Revista Ingeniería Agrícola [en línea], 2017 3(3), 8-11 [Consulta: 23 enero 2021]. Disponible en <https://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/614>

**HURTADO, W.**, *Eficiencias de Riego Parcelario Andino por gravedad*. [en línea]. Cusco-Perú: JL ediciones. Disponible en: <https://agroancash.gob.pe/agro/wp-content/uploads/2016/08/Eficiencias-de-Riego-Parcelario.pdf>. 2016.

**INIAP**, *Instituto Nacional Autonomo De Investigaciones Agropecuarias, Quito (Ecuador). Estacion experimental santa catalina*. Cultive maíz blanco INIAP-101. [en línea]. Bogotá-Colombia: AGROSAVIA. [Consulta: 22 diciembre 2020]. 24. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgiin/wxis.exe/?IsisScript=INIAP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000421>. 1981.

**IZQUIERDO, R.** Evaluación del Cultivo de Maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe – Ecuador (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Cayambe-Ecuador. 2012. 1-103.

**MARTÍNEZ, L. & SALAZAR, F.** “*Huella hídrica de la producción de la leche en el sur de Chile*”. Congreso latinoamericano de agroecología-SOLCA [en línea], 2015 (La Plata) 3(1), 50-96 [Consulta: enero 2021]. ISSN 96. 978-950-34-1265-7. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58530>.

**MONTEMAYOR, J.; GÓMEZ, Á.; OLAGUE, J.; et. al.** “*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 [en línea], 2006, (México) 44 (3), pp. 359-364. [Consulta: 18 febrero 2021]. ISSN 0040-1889. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61344306>

**MONTEMAYOR, J.; OLAGUE, J.; FORTIS, M.; SAM, R.; et. al.** “Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2007, (México) 25(2), pp. 163-168. [Consulta: 19 febrero 2021]. E-ISSN 2395-8030. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325208>

**MONTEMAYOR, J.; LARA, J.; WOO J.; MUNGUÍA, J.; et. al.** “Producción de maíz forrajero (*Zea mays L.*) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México”. *Agrociencia* [en línea], 2012, (México) 46 (3), pp. 267-278. [Consulta: 18 febrero 2021]. ISSN 2521-9766. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n3/v46n3a6.pdf>

**OLAGUE, J.; MONTEMAYOR, J.; BRAVO, S.; et. al.** “Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego sub-superficial”. *Técnica pecuaria en México* [en línea], 2006, (México) 44 (3), pp. 351-357. [Consulta: 19 febrero 2021]. ISSN 0040-1889. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61344305>

**OÑATE, L.** Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays*) var. Blanco Harinoso Criollo, bajo las condiciones climáticas del Cantón Cevallos (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Cevallos-Ecuador. 2016. 1-102.

**PEÑAHERRERA, D; et al.** *Guía para facilitar el aprendizaje sobre manejo integrado de maíz de altura (Zea mays L.)*. Guía de Aprendizaje Nro. 009. Quito-Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2020. 978-9942-38-498-0, pp. 1-165.

**PÉREZ, C.** “Manejo del riego en condiciones de sequía. Estudio de caso”. *Revista Ingeniería Agrícola* [en línea], 2017 (Cuba) 3(1), 17-21 [Consulta: 01 enero 2021]. Disponible en <https://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/595/596>

**QUICHIMBO, PABLO; et al.** “Evaluación del contenido de humedad del suelo por gravimetría y reflectometría”. *Ecuador es Calidad: Revista Científica Ecuatoriana* [en línea], 2016, (Ecuador), pp. 22-27. [Consulta: 20 noviembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.25>

**RICETTO, S., CAPURRO, M., & ROEL, A.** “Estrategias para minimizar el consumo de agua del cultivo de arroz en Uruguay manteniendo su productividad”. *Agrociencia Uruguay en línea*, 2017 (Uruguay) 21(1), 109-119 [Consulta: 02 enero 2021]. Disponible en [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S230115482017000100109&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S230115482017000100109&script=sci_arttext&tlng=pt)

**RODRÍGUEZ, P.**, *Abastecimiento de agua*. Abastecimiento de agua, pp. 499. 2001.

**ROSALES, Rigoberto. & FLORES, H.**, *Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango*. S.l.: s.n. ISBN 9786073708906. 2017.

**RÍOS, J., TORRES, M., & CASTRO, R.** “Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017”. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* [en línea], 2015 (México) 47 (1), 93-107. [Consulta: 07 enero 2021]. Disponible en <https://bdigital.uncu.edu.ar/7472>.

**SALGUERO, D.** Evaluación de tres métodos para determinar el requerimiento hídrico, del cultivo de maíz (*Zea mays*. L.) var INIAP 102, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 2018. 1-102.

**SENAGUA**, *Modelo de gestión Integral del riego*. [en línea]. Quito-Ecuador: [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/06IGC2016-MGRIEGO-SENAGUA-MODELO-DE-GESTIO%CC%81N-INTEGRAL-DEL-RIEGO.pdf>. 2016.

**SILVA, A., PONCE DE LEÓN, J., GARCÍA, F. & DURAN, A.**, *Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay*. [en línea], [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bibnal.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000027>.

**SCHNEIR, E.** “La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú”. *Saber y Hacer* [en línea], 2016 (Perú) 2(1), 34-47. [Consulta: 01 enero 2021]. Disponible en <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>

**TOJA, M., & NAVARRO, D.** “*La huella hídrica en el ciclo urbano del agua*”. Tecnoaqua [en línea], 2019. 1(35), 102-106. [Consulta: 01 enero 2021]. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>

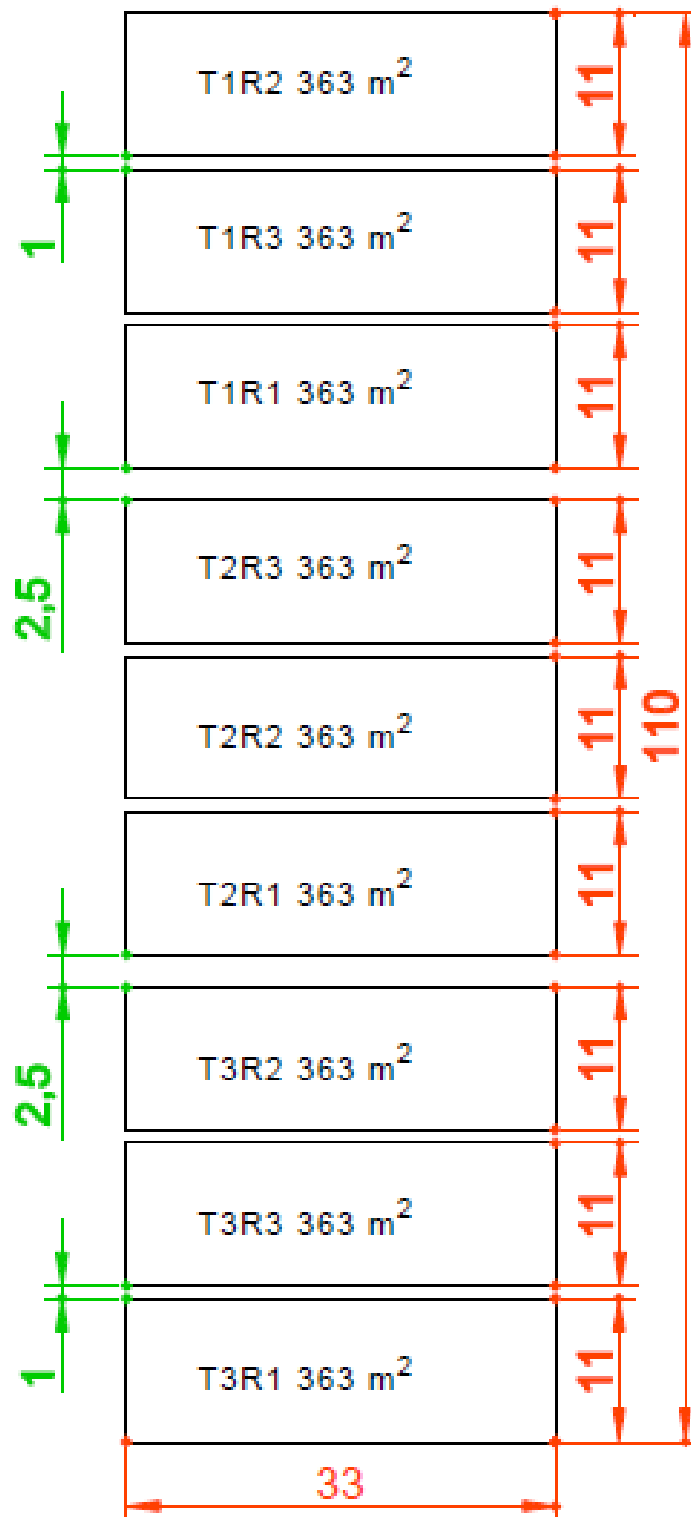
**UNESCO**, *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018*. [en línea]. París Francia: UNESCO. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: [http://www.un-ilibrary.org/natural-resources-water-and-energy/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos/volume-/issue-\\_c18ed0db-es](http://www.un-ilibrary.org/natural-resources-water-and-energy/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos/volume-/issue-_c18ed0db-es).

**UTP**, *Incentivando la Elaboración de Artículos Científicos en el Desarrollo Turístico y Gastronomía*. [en línea]. Mololoo- Colombia: Universidad Tecnocientífica del Pacífico. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <http://tecnocientifica.com.mx/libros/Incentivando-la-elaboraci%C3%B3n-de-Art%C3%ADculos-Cient%C3%ADficos.pdf#page=163>.


**Vargas, J.** Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Zamorano, Carrera De Ciencia Y Producción Agropecuaria, San Antonio de Oriente-Honduras. 2008. pp. 4 <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5481/1/CPA-2008-T073.pdf>

## ANEXOS


### ANEXO A: ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ENSAYO



ANEXO B: RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"**  
**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS**  
 Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340  
 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec  
 Mejías -Ecuador




RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN

<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b> Nombre : Juan Leon Dirección : Chimborazo Ciudad : Teléfono : Fax :	<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b> Nombre : Tumbi Provincia : Chimborazo Cantón : Riobamba Parroquia : Licto Ubicación : Tumbi	<b>PARA USO DEL LABORATORIO</b> No Muestra Lab : 4993 Cultivo Actual : Maíz Fecha de Muestreo : 21/03/2019 Fecha de Ingreso : 21/03/2019 Fecha de Salida : 26/04/2019
---	---	--

MUESTRA No.	CULTIVO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S		FERTILIZANTE	CANTIDAD Sacos de 50 kg	ÉPOCA Y FORMA DE APLICACIÓN
					kg/ha				
4993	Maíz	76	63	43	24		18-46-00	2.7	La cantidad de fertilizantes 18-46-00, Muriato de potasio y Sulponag, aplicar al fondo del surco, cubrir con una délgada capa de suelo y sembrar. La Urea dividir en dos aplicaciones en banda lateral e incorporar con la deshierba y el aporque. Aplicar fertilizantes foliares que contengan Zn y B.
							Urea	2.2	
							Muriato de potasio	0.6	
							Sulponag	2.2	

**OBSERVACIONES:** La recomendación de fertilización se realiza en base al análisis químico del suelo, sin considerar la condición física y climática de la zona en cuestión, por lo tanto esta se constituye en una guía de fertilización que debe ser ajustada por el técnico de la zona.

  
**Yasni Cartagenas Ayala**  
 Ingeniero Agrónomo, Esp., M.C., Dr.  
**RESPONSABLE DE LA RECOMENDACIÓN**



## ANEXO C: PREPARACIÓN DEL TERRENO



## ANEXO D: SIEMBRA



## ANEXO E: RIZOTRONE



## ANEXO F: MÉTODO DE RIEGO POR GRAVEDAD





## ANEXO G: MÉTODO DE RIEGO POR GOTEO



## ANEXO H: MÉTODO DE RIEGO POR ASPERCIÓN





## ANEXO I: ÁREA DE INVESTIGACIÓN



## ANEXO J: RASCADILLO



**ANEXO K: RIZOTRONE CON CULTIVO EN FLORACIÓN**





## ANEXO L: CONTROL FITOSANITARIO





**ANEXO M: CULTIVO EN FLORACIÓN MASCULINO Y FEMENINO**



**ANEXO N: COSECHA**





## ANEXO O: RENDIMIENTO POR CATEGORÍA











## ANEXO P: MUESTRAS FRESCAS PARA ANÁLISIS DE MATERIA SECA





## ANEXO R: DESARROLLO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ

							
Semilla	VE-V1	V3	V7	V10 – V12	VT	R1	R5
0 dds	8 - 10 dds	15 dds	25-35 dds	60dds	75 - 90 dds	90-105 dds	120 dds
	Desarrollo Vegetativo				Desarrollo Reproductivo		Maduración