

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DEL AGUA EN EL CULTIVO MAÍZ
MORADO (*Zea mays*. L.) UTILIZANDO RIEGO POR GOTEO EN LA
UNALM”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÍCOLA**

GIANNELLA LILIBETH ORTIZ YALTA

LIMA - PERÚ

2023

Tesis Giannella Ortiz Yalta

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	purl.org Fuente de Internet	1%
2	vsip.info Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	portal.amelica.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DEL AGUA EN EL CULTIVO MAÍZ
MORADO (*Zea mays*. L.) UTILIZANDO RIEGO POR GOTEO EN LA
UNALM”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. GIANNELLA LILIBETH ORTIZ YALTA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. NÉSTOR MONTALVO ARQUIÑIGO
Presidente

Dra. ROCÍO DEL PILAR PASTOR JÁUREGUI
Miembro

Ing. JOSÉ BERNARDINO ARAPA QUISPE
Miembro

Dr. DAVID RICARDO ASCENCIOS TEMPLO
Asesor

Ing. ANTHONY ALFREDO ARANGO MITMA
Co-Asesor

LIMA – PERU

2023

DEDICATORIA

A mi madre Ana Yalta, tú has sido mi guía y mi ejemplo a seguir a lo largo de los años, inculcándome valores de perseverancia y determinación. Tu amor inquebrantable y tu infinita paciencia han sido mi roca en los momentos de desafío.

A mi familia Martin, Milady y Amelia, por sus sabias palabras de aliento, por siempre inspirarme a alcanzar mis metas académicas. Su amor incondicional y su constante apoyo han sido mi fuente de fortaleza y motivación.

A mis hermanas Milagros y Angela, quienes han compartido conmigo risas, alegrías y momentos inolvidables.

A mis abuelos, tías(os) y primos(as), que siempre han estado ahí para brindarme su cariño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida y ponerme personas maravillosas en mi camino

A mi asesor Dr. Ing David Ascencios, por su orientación experta, su paciencia y su compromiso con mi crecimiento académico. Sus valiosos consejos y sugerencias han sido fundamentales en la construcción de este trabajo.

A mi Co-asesor Ing. Anthony Arango, por brindarme su tiempo y conocimiento para la ejecución de la tesis.

A Alan Santibañez, por brindarme su apoyo incondicional, tiempo y su apreciada amistad.

Mi gratitud se extiende a los ingenieros de la universidad Fernando Paz, Jose Falconi, Hugo Huanuqueño y Julián Chura por sus aportes académicas.

A mis compañeros del CIER que contribuyeron de manera significativa en la realización de mi estudio, especialmente a mi compañera Paola Santos. Este logro no habría sido posible sin el apoyo, orientación y estímulo de numerosas personas que han dejado una marca indeleble en este viaje académico.

A mi familia, por apoyarme emocional y moralmente. En especial a mi compañero de vida, Alexander Segura que siempre estuvo ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAÍZ MORADO	3
2.1.1. Generalidades	3
2.1.2. Importancia	3
2.1.3. Taxonomía	4
2.1.4. Morfología	4
2.1.5. Composición química del maíz morado	6
2.1.6. Fases fenológicas	7
2.1.7. Labores culturales.....	10
2.1.8. Manejo integral de plagas	14
2.1.9. Producción de maíz morado	21
2.1.10. Exportación de maíz morado	22
2.1.11. Rendimiento.....	23
2.1.12. Calidad.....	23
2.1.13. Riego.....	23
2.2. RIEGO POR GOTEIO	24
2.2.1. Componentes del sistema	25
2.2.2. Fertirriego	28
2.2.3. Coeficiente de uniformidad (CU)	28
2.2.4. Operación y mantenimiento del sistema.....	29
2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	29
2.3.1. Evapotranspiración de referencia (Eto)	30
2.3.2. Coeficiente del cultivo (Kc).....	30
2.3.3. Evapotranspiración del cultivo (Etc)	31
2.3.4. Coeficiente de riego (fr).....	31
2.3.5. Métodos para determinar la evapotranspiración.....	31

2.4.	COEFICIENTES HÍDRICOS	33
2.4.1.	Capacidad de campo (CC)	33
2.4.2.	Punto de marchitez (PM)	33
2.4.3.	Capacidad de agua disponible (CAD)	34
2.4.4.	Densidad aparente (Da)	34
2.5.	HUMEDAD DEL SUELO	35
2.6.	ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI).....	36
2.6.1.	Vuelo de dron Phantom 4 PRO	37
2.6.2.	Cámara multiespectral Parrot Sequoia.....	37
2.6.3.	Softwares empleados para el procesamiento de las imágenes.....	38
2.7.	FUNCIÓN PRODUCCIÓN DEL AGUA.....	38
2.8.	USO EFICIENTE DEL AGUA	39
2.9.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	40
III.	METODOLOGÍA	42
3.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	42
3.1.1.	Ubicación del área experimental	42
3.2.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	43
3.3.	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	43
3.4.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	44
3.5.	MATERIALES Y EQUIPOS	44
3.6.	METODOLOGÍA	46
3.6.1.	Diseño experimental y análisis estadístico	46
3.6.2.	Labores culturales.....	48
3.6.3.	Determinación de parámetros biométricos y agronómicos durante la fase fenológica del cultivo	53
3.6.4.	Efectos de la aplicación de cuatro láminas de riego en el rendimiento y función producción	56
3.6.5.	Relación entre el NDVI, humedad del suelo y calidad del producto.....	59
c.	Calidad.....	60
3.6.6.	Estrategias para implementar una mejor planificación en función de la disponibilidad	60
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1.	PARÁMETROS BIOMÉTRICOS Y AGRONÓMICOS	61

4.1.1. Parámetros biométricos	61
4.1.2. Parámetros agronómicos.....	64
4.2. RENDIMIENTO Y FUNCIÓN PRODUCCIÓN.....	70
4.2.1. Variables climáticas.....	70
4.2.2. Láminas aplicadas de riego para los diferentes tratamientos por goteo	72
4.2.3. Rendimiento total.....	73
4.2.4. Rendimiento comercial	74
4.2.5. Función producción	76
4.2.6. Uso eficiente del agua (UEA).....	78
4.3. RELACIÓN ENTRE EL NDVI, HUMEDAD DEL SUELO Y CALIDAD DEL PRODUCTO	80
4.3.1. Contenido de humedad del suelo.....	80
4.3.2. Valores de NDVI en los tratamientos.....	83
4.3.3. Calidad del maíz morado	85
4.4. ESTRATEGIAS PARA IMPLEMENTAR UNA MEJOR PLANIFICACIÓN ...	87
V. CONCLUSIONES	93
VI. RECOMENDACIONES	94
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	95
VIII. ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del maíz morado PMV 581, INIA 615 e INIA 601.....	6
Tabla 2: Principales radicales de las antocianinas.....	6
Tabla 3: Fertilizantes químicos y contenido de nitrógeno (N).....	12
Tabla 4: Fertilizantes químicos y contenido de fósforo (P ₂ O ₅).....	13
Tabla 5: Fertilizantes químicos y contenido de potasio (K ₂ O).....	13
Tabla 6: Indicadores de producción de maíz morado en el Perú.....	21
Tabla 7: Producción nacional de maíz morado en toneladas por región.....	22
Tabla 8: Requisitos fisicoquímicos para la comercialización de maíz morado.....	23
Tabla 9: Valores representativos de Da según el tipo de suelo.....	35
Tabla 10: Características climáticas en la UNALM 2000-2016.....	43
Tabla 11: Características físico – químicas del agua.....	44
Tabla 12: Características físico- químicas del suelo.....	44
Tabla 13: Materiales y equipo del sistema de riego.....	44
Tabla 14: Materiales y equipos para el monitoreo de la Eto.....	45
Tabla 15: Materiales y equipos para el monitoreo de la humedad volumétrica.....	45
Tabla 16: Relación de insecticidas.....	45
Tabla 17: Relación de fertilizantes.....	46
Tabla 18: Equipo para el monitoreo del NDVI.....	46
Tabla 19: Especificaciones de la siembra.....	47
Tabla 20: Alturas de plantas del maíz morado.....	64
Tabla 21: Longitud de mazorca del maíz morado.....	65
Tabla 22: Promedio de los diámetros de mazorca.....	66
Tabla 23: Promedio del peso de 100 granos.....	67
Tabla 24: Promedio de número de hileras por mazorca.....	68
Tabla 25: Número de granos por hilera.....	69
Tabla 26: Datos climáticos de junio-diciembre del 2022.....	70
Tabla 27: Promedio acumulado mensual de la evaporación.....	72
Tabla 28: Láminas acumuladas durante la campaña.....	72
Tabla 29: Rendimiento por tratamiento.....	73
Tabla 30: Rendimiento comercial y porcentaje del maíz morado.....	74

Tabla 31: Lámina acumulada y rendimiento por tratamiento.....	76
Tabla 32: Rendimiento y uso eficiente del agua (kg/m3).....	78
Tabla 33: Valores de NDVI por tratamiento	83
Tabla 34: Contenido de antocianinas en los tratamientos	86
Tabla 35: Promedio del color de mazorca por tratamiento	87
Tabla 36: Costos fijos en la campaña 2022	88
Tabla 37: Costos variable de energía para la campaña 2022.....	88
Tabla 38: Costo variable de agua para la campaña 2022	88
Tabla 39: Costo total por tratamiento	89
Tabla 40: Costo y beneficio del maíz morado	90
Tabla 41: Análisis y punto de equilibrio cuando varía el precio de venta.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grano de maíz y sus partes	5
Figura 2: Estados de desarrollo de la planta de maíz	7
Figura 3: Coleóptilo visible al finalizar la etapa de germinación	8
Figura 4: Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> Smith)	15
Figura 5: Larva y daño de <i>Helicoverpa zea</i> B	16
Figura 6: Mosca <i>Euxesta</i> spp.....	16
Figura 7: Adulto de <i>Dalbulus maidis</i> y enfermedad.....	17
Figura 8: Maíz morado atacado por gorgojos.....	18
Figura 9: Mazorca y tallo, con presencia de carbón común	18
Figura 10: Síntomas del complejo fitoplasma-espiroplasma.....	19
Figura 11: Características de la enfermedad mancha gris	20
Figura 12: Manchas características de la roya en el maíz	20
Figura 13: Producción de maíz morado en costa y sierra en toneladas	21
Figura 14: Comparación de precio en chacra y mercado (soles kg ⁻¹)	22
Figura 15: Humedad del bulbo según el tipo de suelo	24
Figura 16: Cabezal de control de riego por goteo	25
Figura 17: Diagrama de una red de distribución	26
Figura 18: Curva de gasto real de un gotero.....	27
Figura 19: Factores que afectan la evapotranspiración	30
Figura 20: Descripción del tanque clase A.....	32
Figura 21: Estación meteorológica Davis Pro Vantage 2.....	32
Figura 22: Contenido de agua del suelo	34
Figura 23: Intervalo de valor de NDVI en función al factor biológico del cultivo	37
Figura 24: Repuesta de la producción de un cultivo al riego (función producción)	39
Figura 25: Gráfico del punto de equilibrio	41
Figura 26: Ubicación del área de estudio	42
Figura 27: Caseta del CIER	45
Figura 28: Tratamientos aplicando el DCA.....	46
Figura 29: Representación de la unidad experimental.....	48
Figura 30: Preparación del terreno usando arado de discos	49
Figura 31: Siembra de la semilla PMV-581 en la zona de estudio.....	49

Figura 32: Fertilización empleada	50
Figura 33: Desahije de forma manual.....	50
Figura 34: Deshierbo en el maíz morado.....	51
Figura 35: Aporque en el cultivo de maíz morado	51
Figura 36: Aplicación de insecticidas.....	52
Figura 37: Cosecha del maíz morado	52
Figura 38: Medición de altura de plantas	54
Figura 39: Medición de la presión en el porta lateral	56
Figura 40: Presión de trabajo del sistema de riego	57
Figura 41: Prueba de inyección del fertirriego	57
Figura 42: Representación de la unidad experimental por tratamiento	59
Figura 43: Calibración del FDR	60
Figura 44: Estado vegetativo del maíz morado	61
Figura 45: Crecimiento de la panoja en la etapa VT	62
Figura 46: Estado de desarrollo reproductivo.....	63
Figura 47: Altura de planta del maíz morado	64
Figura 48: Longitud de mazorca del maíz morado.....	65
Figura 49: Promedio de los diámetros de mazorca por tratamiento	66
Figura 50: Promedio del peso de 100 granos	67
Figura 51: Promedio de número de hileras por mazorca.....	68
Figura 52: Promedio de granos por hilera	69
Figura 53: Evapotranspiración de la estación vs Tanque A	71
Figura 54: Lámina de riego para los tratamientos T1, T2, T3 y T4.	73
Figura 55: Rendimiento del maíz morado versus lámina acumulada de riego.....	73
Figura 56: Rendimiento comercial y porcentaje del maíz morado.....	75
Figura 57: Daños causados en el maíz morado	75
Figura 58: Función producción del maíz morado.....	77
Figura 59: Uso eficiente del agua (kg m^{-3})	78
Figura 60: Curva de humedad antes de aplicar los tratamientos	80
Figura 61: Curva de humedad de los tratamientos T1, T2, T3 y T4	82
Figura 62: Curva del NDVI según tratamiento	84
Figura 63: Antocianinas en grano versus coronta	86
Figura 64: Escala de color utilizado para evaluar color de coronta en maíz morado.....	86

Figura 65: Color de mazorca según tratamientos	87
Figura 66: Costo de producción del maíz morado para la campaña 2022.....	90
Figura 67: Análisis de sensibilidad y punto de equilibrio cuando varía el rendimiento	91
Figura 68: Costo total vs Precio unitario	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis del suelo	102
Anexo 2: Análisis de varianza para altura de planta	103
Anexo 3: Análisis de varianza de la longitud de mazorca.....	103
Anexo 4: Análisis de varianza de diámetro de mazorca.....	104
Anexo 5 Análisis de varianza del peso de 100 granos	104
Anexo 6: Análisis de varianza de numero de hileras.....	105
Anexo 7: Análisis de varianza de granos por hilera	105
Anexo 8: Análisis de varianza del rendimiento total.....	106
Anexo 9: Análisis de varianza del rendimiento comercial	106
Anexo 10: Análisis de varianza del UEA.....	107
Anexo 11: Calibración de sensores de humedad de suelo.....	107
Anexo 12: Láminas acumuladas totales por tratamiento.....	108
Anexo 13: Costo total de la instalación de riego tecnificado para 4 Ha.....	109
Anexo 14: Valor de NDVI del primer vuelo	110
Anexo 15: Valor de NDVI del quinto vuelo.....	110
Anexo 16: Valor del NDVI del noveno vuelo	111
Anexo 17: Cosecha del tratamiento 2.....	111
Anexo 18: Recibo de agua de la Unalm	112
Anexo 19: Ficha técnica de la cinta de gotero.....	113
Anexo 20: Ficha técnica de la bomba 2CP 32/200C	114

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación y Extensión en Riego (CIER) – Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), en los meses de junio-diciembre del 2022, con el objetivo de determinar el efecto de cuatro láminas de riego sobre el rendimiento, calidad, y uso eficiente del agua en el maíz morado (*Zea mays*. L). Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, en una parcela con un área de 1713,75 m². Cada tratamiento consistía en reponer el equivalente al 40% (T1), 70% (T2), 100% (T3) y 130% (T4) de la evapotranspiración de referencia (Eto).

El tratamiento que se repuso el 130% de la Eto (T4), permitió el máximo rendimiento y calidad con un valor de 10054,81 kg ha⁻¹ y el mayor uso eficiente del agua (UEA) lo obtuvo el tratamiento donde se repuso el 40% de la Eto (T1), con un valor de 3,8 kg m⁻³, estadísticamente hay diferencias entre los tratamientos. Se obtuvo la función producción que se ajustó a una polinómica de tercer grado con un R=0,9814. Los cuatro tratamientos no presentaron diferencias significativas en los valores obtenidos de NDVI a pesar que algunos estuvieron en déficit hídrico.

En general las variables agronómicas evaluados como altura de planta, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de granos, número de hileras y número de granos por hilera, no presentaron diferencias significativas en los cuatro tratamientos. Con los resultados obtenidos, se realizó el análisis económico y todos los tratamientos son económicamente rentables. Sin embargo, las condiciones que presenta La Molina, cada vez más escasa la disponibilidad hídrica y el elevado precio del agua, la estrategia a seguir en función a la disponibilidad de agua, es la del uso eficiente del agua (T1), mas no la obtención de máximos rendimientos (T4).

Palabras clave: *Zea mays*. L, antocianinas, riego por goteo, función de producción, uso eficiente del agua

ABSTRACT

The present work was carried out at the Irrigation Research and Extension Center (CIER) – Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), in the months of June-December 2022, with the objective of determining the effect of four irrigation sheets on yield, quality, and efficient water use in purple corn (*Zea mays*. L). A completely randomized design (DCA) was used with three repetitions, in a plot with an area of 1713.75 m². Each treatment consisted of replenishing the equivalent to 40% (T1), 70% (T2), 100% (T3) and 130% (T4) of the reference evapotranspiration (E_{to}).

The treatment that replaced 130% of the E_{to} (T4) allowed the maximum yield and quality with a value of 10054.81 kg ha⁻¹ and the highest efficient use of water (UEA) was obtained by the treatment where the 40% of the E_{to} (T1), with a value of 3.8 kg m⁻³, there are statistically differences between the treatments. The production function was obtained that was adjusted to a third degree polynomial with R=0.9814. The four treatments did not present significant differences in the NDVI values obtained despite the fact that some were in water deficit.

In general, the agronomic variables evaluated, such as plant height, ear length, ear diameter, grain weight, number of rows and number of grains per row, did not present significant differences in the four treatments. With the results obtained, the economic analysis was carried out and all treatments are economically profitable. However, the conditions that La Molina presents, the increasingly scarce water availability and the high price of water, the strategy to follow based on the availability of water is that of efficient use of water (T1), but not the obtaining maximum returns (T4).

Keywords: *Zea mays*. L, anthocyanins, drip irrigation, production function, efficient water use

I. INTRODUCCIÓN

El maíz morado (*Zea mays* L.) autóctono del Perú, es un cultivo que se siembra en la cordillera de Los Andes, en altitudes entre 1200 y 4000 msnm. Este alimento ha ganado importancia en el mercado internacional no solo con fines culinarios sino también por su alto contenido de antocianinas, el cual es un pigmento que sustituye a los colorantes sintéticos en alimentos, productos cosméticos, medicinas y para la obtención de productos con valor agregado para el consumo humano que benefician la salud humana.

En los últimos años el maíz morado se ha convertido en uno de los productos más exportados del Perú, generando así divisas para el país. La producción de este alimento llega a 6000 toneladas aproximadamente. Actualmente se cultivan 4000 ha en los valles occidentales andinos de Chíncha a Barranca, seguidamente del callejón de Huaylas, que abastecen a los mercados de Lima.

Siendo el maíz una planta muy sensible a la falta o exceso de agua, la aplicación adecuada de lámina de agua no solo dará un beneficio económico del agua sino también en la obtención de altos rendimientos. Sin embargo, esta disponibilidad hídrica cada vez es más escasa debido al mal uso por muchos años de los recursos hídricos por parte de las industrias, cambio climático, aumento de la población y las malas prácticas agrícolas.

Bajo esta situación, siendo el agua una prioridad para el consumo humano, su empleo para la agricultura queda limitado debido al crecimiento del área urbana. Es así que para el 2019 se reportó que el consumo de agua diaria a nivel nacional promedio fue de 130 litros por habitante y en los distritos de la Molina, Miraflores y San Isidro, alcanzó los 250 litros (Gestión 2021).

En el 2018, el Fondo de Agua para Lima y Callao (AQUAFONDO), con información de la autoridad del Agua (ANA) y Sedapal, mediante un estudio llegó a la conclusión que para el año 2030 el consumo de agua en Lima Metropolitana incrementaría en un 40%. Las cuencas que abastecen a Lima de agua son Lurín, Rímac, Chillón y el río Mantaro.

Esta realidad que se tiene a nivel mundial conlleva a asumir nuevos retos como el de producir más alimentos con poca agua, para lo cual una de las tácticas a seguir es el uso eficiente del agua en la agricultura a través del estudio de las funciones agua rendimiento (González-Robaina *et al.*, 2015).

Este estudio pretende obtener la curva de la función agua-rendimiento para el maíz morado, ya que estas son únicas para cada cultivo bajo las condiciones que se desarrollan. Se evaluarán máximos rendimientos y el uso eficiente del agua para definir las estrategias bajo las condiciones que se presentan en la oferta de agua en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la función de producción del agua en el maíz morado (*Zea mays*. L) utilizando riego por goteo, en la UNALM.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir y evaluar los parámetros biométricos y agronómicos durante la fase fenológica del cultivo.
- Determinar el efecto de la aplicación de cuatro láminas de riego en el rendimiento y el uso eficiente del agua del maíz morado para la obtención de la función de producción.
- Evaluar la relación entre el NDVI, humedad del suelo y calidad del producto.
- Determinar las estrategias para implementar una mejor planificación en función de la disponibilidad del recurso hídrico, precio y costo del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAÍZ MORADO

2.1.1. Generalidades

El maíz morado (*Zea mays* L.) es una variedad auténtica de los valles de los Andes que suele crecer a unos 3000 msnm, sus granos poseen un color morado característico y es nutricionalmente más rico que el maíz amarillo. En el Perú existen muchas variedades de maíz morado como: morado Caraz arequipeño, Cuzco morado, morado Canteño, negro Junín, morado mejorado y negro Canaán. Sin embargo, el más comercial es del maíz morado Canteño, debido a que se desarrolla entre los 1800-2900 msnm, a temperaturas de medias anuales de 12° a 20°C y con una precipitación de 500 a 1000 mm. El cultivo del maíz se desarrolla en varias condiciones del suelo, pero los buenos resultados se presentan en suelos con pH de 6 a 7, si están fuera de estos límites suele disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce la toxicidad. El maíz es medianamente tolerante a los contenidos de sales en el suelo o aguas de riego. Es resistente a las plagas y puede ser nativa en las diferentes zonas (Manrique, 2000)..

En la zona andina el cultivo del maíz se desarrolla con lluvias temporales, el riego por gravedad es complementario siendo importante para la preparación del suelo, siembra y las primeras etapas del desarrollo de las plantas (Manrique, 2000)..

2.1.2. Importancia

La presencia de antocianinas en el maíz, lo hace un producto potencial para proporcionar colorantes, por lo que se hacen estudios de los pigmentos presentes en los granos y coronta. Estos estudios han demostrado también diversos beneficios en el consumo de alimentos con alto contenido de antocianinas, por ello se le considera un poderoso antioxidante, también que es beneficioso para el fortalecimiento de la visión, combate la obesidad y posee

propiedades anticancerígenas debido al efecto angiogénesis, lo que permite la no formación de nuevos vasos sanguíneos que disminuyen la oxigenación en células tumorales (Rabanal-Atalaya y Medina- Hoyos, 2021).

2.1.3. Taxonomía

El maíz morado se clasifica de la siguiente manera (Takhtajan, 1980).

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida o Monocotiledónea

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

Variedad: PMV-581

2.1.4. Morfología

La morfología del maíz morado se puede dividir en dos grupos, el primero son los órganos vegetativos que principalmente cumplen la función de dar soporte, vida y alimento a la planta; mientras que en el segundo grupo se encuentran los órganos reproductivos que se encargarán de propagar la especie.

a. Órganos vegetativos

- Raíces

Se presentan dos tipos de raíces, las seminales y las adventicias. Las primeras forman parte del crecimiento inicial de la plántula hasta que se da lugar a la formación de raíces adventicias permanentes, estas en algunos casos pueden continuar su formación sobre la superficie del terreno (Medina, 2022).

- Tallo

Esta estructura cumple con tres funciones principales según Medina (2022): “dar soporte a la planta, transportar nutrientes y almacenar carbohidratos” (pág. 33). En cuanto a sus características físicas, crece verticalmente y suele ser de gran longitud.

Pinedo (2015) menciona que “la altura variable que puede ir de 0,80 a 2,50m y en climas tropicales hasta 4 m de altura”.

- **Hojas**

Las hojas pueden alcanzar gran tamaño, creciendo de forma alargada y alternada en el tallo. Además, son lanceoladas y paralelinervias. (Pinedo, 2015).

b. Órganos reproductivos

- **Floración masculina**

La inflorescencia masculina se muestra en forma de panícula o panoja, donde se da la formación y liberación del polen, “según la variedad, una panoja produce entre 15 a 50 millones de granos de polen” (Medina, 2022).

- **Floración femenina**

La inflorescencia femenina es denominada también como mazorca. Esta a su vez está compuesta por la coronta y posteriormente dará lugar al crecimiento de los granos de maíz. La proporción de entre coronta y granos es de 85 y 15% aproximadamente en la mazorca (Pinedo, 2015; Piña 2018).

- **Fruto y semilla**

Llamado cariósipide o cariospe. En la Figura 1 se muestran las cuatro partes principales del grano que son: pericarpio, endospermo, germen y pedicelo. Según Medina, (2022) “el endospermo representa entre el 80 y 85% del peso total del grano y está formado por almidón en un 88% y proteínas en un 8%”.



Figura 1: Grano de maíz y sus partes

FUENTE: Medina (2022)

2.1.5. Composición química del maíz morado

El maíz morado se caracteriza por su alto contenido de carbohidratos y proteínas, así como otros componentes químicos, según Arroyo *et al.* (2007) estos son: esencias, ácido salicílico, azufre, grasas, sales de potasio resinas, saponinas, y sodio, y fósforo, pero, sobre todo, compuestos fenólicos como la antocianina. El porcentaje y cantidades de cada uno de los componentes del maíz morado varían de acuerdo a la variedad como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición química del maíz morado PMV 581, INIA 615 e INIA 601

Componentes	Resultados de análisis físico químicos		
	PMV-581 Canaán	INIA-615	INIA-601
% Kcal proveniente de carbohidratos	78,6	78,4	79,5
% Kcal proveniente de grasa	12,0	11,0	11,4
% Kcal proveniente de proteínas	9,4	10,6	9,1
Carbohidratos (g (100g) ⁻¹)	72,2	71,9	69,2
Energía total (Kcal (100 g) ⁻¹)	367,3	366,9	348,0
Proteína (g (100g) ⁻¹)	8,6	9,7	7,9
Cenizas (g (100g) ⁻¹)	1,5	1,9	1,3
Grasas (g (100g) ⁻¹)	4,9	4,5	4,4
Humedad (g (100g) ⁻¹)	12,8	12,0	17,2

FUENTE: Pinedo (2015)

- Antocianinas

La antocianina está compuesta por glucósidos que se encargan de la pigmentación característica del maíz morado, así como otros vegetales. Estos pigmentos son de color rojo, violeta, azul y púrpura (Pinedo, 2015). En el maíz morado, este pigmento se concentra principalmente en la coronta. Así mismo se conoce que existen diversas antocianinas presentes en el fruto como la cianidina y la peonidina (Piña, 2018). En la Tabla 2 se presentan los principales radicales de las antocianinas.

Tabla 2: Principales radicales de las antocianinas

AGLICONA	R1	R2
Petunidina	OH	OCH ₃
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃
Pelargonidina	H	H
Delfinidina	OH	OH
Cianidina	OH	H
Peonidina	OCH ₃	H

FUENTE: Altamirano (2019)

2.1.6. Fases fenológicas

Según Medina (2022) las fases fenológicas del maíz se pueden dividir en dos etapas. La primera hace referencia a la etapa de desarrollo vegetativo de la planta, es decir, desde que esta emerge hasta que se produce la floración masculina. Durante la segunda etapa se hace referencia a la etapa de desarrollo reproductivo cuando aparece la floración femenina hasta que se llega la madurez fisiológica como se muestra en la Figura 2.

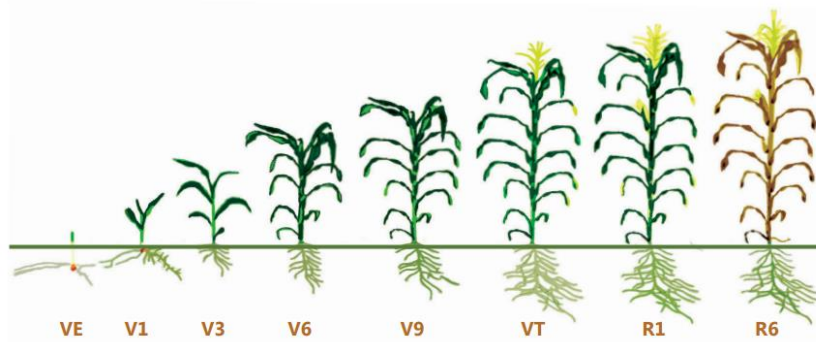


Figura 2: Estados de desarrollo de la planta de maíz

FUENTE: Medina (2022)

a. Etapa de desarrollo vegetativo

- Germinación y emergencia (VE)

Después de la siembra de la semilla de maíz, se da inicio a la germinación. Durante esta fase comienza la aparición y crecimiento de la radícula, a su vez el coleóptilo comienza a emerger, luego 3 o 4 raíces seminales brotarán, como se muestra en la Figura 3. El coleóptilo será empujado por el mesocotilo y cuando empiece a emerger por encima del suelo y los rayos solares incidan sobre él su crecimiento cesará y empezará la fase V1 cuando aparece la primera hoja embrionaria, por lo tanto, esta fase se desarrolla por debajo de la superficie del terreno. La longitud del tallo puede llegar a medir hasta 1,5 pulgadas (2,5 a 3,8 cm). La etapa de emergencia se da 4 o 5 días después de la siembra (dds), pero puede variar dependiendo de las circunstancias climáticas (Medina, 2022; Justiniano, 2010).

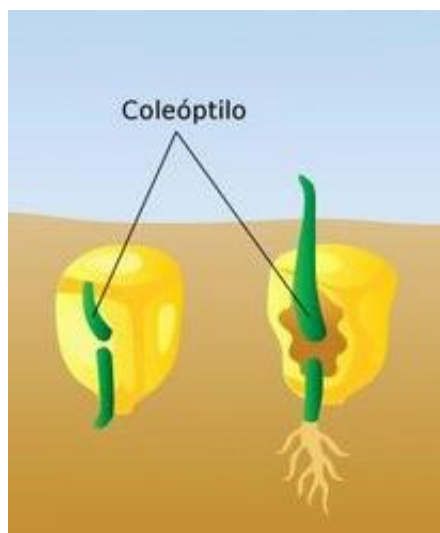


Figura 3: Coleóptilo visible al finalizar la etapa de germinación

FUENTE: Pérez (2017)

- **Estado V 3**

Se inicia la formación de las hojas y el brote de la mazorca, además se inició la floración masculina microscópica. El desarrollo se da a nivel del suelo, posteriormente se observará el crecimiento de la planta en 20 cm por encima de la superficie. Por ello se recomienda deshierbar para evitar la competencia de recursos con malezas y controlar el inicio de posibles plagas (Medina, 2022; Justiniano, 2010).

- **Estado V 6**

Comprende el crecimiento de la planta sobre la superficie del suelo. Se puede observar la aparición de macollos, la cantidad de estos variará de acuerdo a la selección del híbrido y condiciones climáticas. Además, es una etapa de alta demanda nutricional, por lo que de acuerdo a las condiciones se puede comenzar con la aplicación de nitrógeno (Medina, 2022; Justiniano, 2010).

- **Estado V 9**

Se produce el crecimiento de varias mazorcas en los nudos por encima del suelo, exceptuando los 6 u 8 que se encuentren por debajo de la panícula. Así mismo no todas lograrán prosperar y solo alrededor de dos mazorcas serán cosechables, el

aumento de las mismas dependerá de la densidad de siembra. Durante esta etapa la necesidad de agua y nutrientes se incrementa (Medina, 2022; Justiniano, 2010).

- **Estado V 12**

En esta fase se definen la cantidad de granos (potenciales óvulos) y las dimensiones de la mazorca. También el número de hileras, aunque esto dependerá de las condiciones de riego y aporte de nutrientes, porque al ser estos deficientes se puede reflejar en la disminución del tamaño y cantidad de granos en la mazorca (Medina, 2022; Justiniano, 2010).

- **Estado V15**

Se comienza a visibilizar la punta de las vainas rodeadas y su crecimiento es rápido. Así mismo es una etapa importante porque se está a menos de dos semanas del inicio de la floración femenina (Justiniano, 2010).

- **Estado V18**

Se acelera el desarrollo de la mazorca, cada vez es más visible. Se está al menos a 7 días de la floración femenina (Justiniano, 2010).

- **Estado VT**

La floración masculina se hace visible por completo además el crecimiento de la planta ha llegado a su máximo desarrollo (Medina, 2022; Justiniano, 2010).

b. Etapa de desarrollo reproductivo

- **Floración femenina R1**

La floración femenina inicia mediante la polinización, este proceso puede tardar entre 2 y 3 días y su crecimiento puede variar entre 2,5 y 3,8 cm diarios. El interior del grano aún no presenta pigmentación característica del maíz morado, el material periférico a la mazorca presenta una coloración blanquecina. Se empieza a almacenar los nutrientes como el almidón, además los granos de maíz se desarrollan incrementando de tamaño y peso, debido a esto la planta aumenta su consumo de nitrógeno y fósforo, por ello es necesario riego y el control de posibles condiciones

de riesgo, de lo contrario el desarrollo no será completo y se podrá observar granos vacíos. La humedad de los granos se encuentra en un 85% (Medina, 2022).

- **Grano perlita R2**

Durante esta etapa se incrementa la acumulación de materia seca. Los granos se encuentran en un 80% de humedad (Medina, 2022).

- **Grano lechoso R4**

Durante esta etapa el grano se encuentra en un 75% de humedad. El fluido lechoso se reduce mientras que la consistencia sólida aumenta, debido a esto durante esta etapa la consistencia será más pastosa (Medina, 2022).

- **Grano dentado R5**

Los granos se comienzan a secar, este proceso empieza desde la parte superior. La humedad ha disminuido y se encuentra en 70%, además la coloración de la cáscara cambia de rosáceo a rojo oscuro. Durante esta etapa se puede visualizar que los granos están dentados (Medina, 2022).

- **Madurez fisiológica R6**

Esta etapa se caracteriza por alcanzar la madurez fisiológica debido a que la acumulación de peso seco es máxima. La humedad desciende y se encuentra entre 30 y 35% (Medina, 2022).

2.1.7. Labores culturales

- **Preparación del terreno**

La preparación del terreno es previa a la siembra. El realizarla de forma adecuada ayuda a la germinación y el enraizamiento del cultivo. Se puede desarrollar de forma manual o mecanizada dependiendo de las condiciones de terreno, su topografía, tipo de suelo y el riesgo a la erosión por acción del viento. Por lo general se recomienda utilizar el arado de discos para soltar y remover el suelo, creando condiciones favorables a la circulación del agua y gases. Luego se introducirá el surcado para la elaboración de surcos cada 0,8 m entre ellas. También se debe tomar en cuenta el

tipo de malezas que se encuentran en campo, de tal forma se pueden tomar acciones para que estas no perjudiquen a los cultivos durante su etapa de crecimiento (Justiniano, 2010).

- **Siembra**

La época de siembra depende de la variedad del cultivo y de las condiciones climáticas del lugar. En el caso del maíz morado que se cultiva en zona costera se recomienda sembrar durante la época del invierno. Para ello se debe realizar una adecuada preparación del terreno. La profundidad de siembra debe ser no menor a 5 cm ni mayor a 10 cm. Además, esta se suele hacer a golpes con separación de líneas de entre 0,8-1,0 m y de 0,35-0,40 entre golpe (Justiniano, 2010).

- **Control de maleza**

El control de malezas debe efectuarse para evitar la baja productividad del cultivo, esto se debe a la competencia que se genera entre el cultivo y maleza, sobre todo en la primera etapa de crecimiento por recursos como el agua, la luz y nutrientes. Su presencia no se elimina después del aporque, sin embargo, durante esta otra etapa se presentan peligros asociados a virus que se transmiten a través de insectos vectores presentes en las malezas. Para realizar el control existen diversos métodos, entre los más conocidos están las labores de cultivos que consisten en la eliminación de malezas pequeñas superficiales y el aporque como método complementario, el segundo es mediante aplicación de herbicidas (Justiniano, 2010).

- **Desahije**

El desahije se realiza para controlar la densidad de siembra retirando aquellas plantas que se encuentren en exceso. Debe realizarse cuando el cultivo alcance una altura aproximada de 0,20 m dejando solo dos plantas que posean mayor vigorosidad (Ortiz, 2019).

- **Aporque**

El aporque se realiza como medida complementaria para el control de malezas, sin embargo, no es su única finalidad. Algunos de los objetivos al llevar a cabo esta labor

es la de proporcionar un buen anclaje a la planta, aireación de raíces. Se sabe que el tiempo adecuado para el aporque es cuando la planta tenga 40 cm de altura (Pinedo, 2015).

- **Fertilización**

La fertilización permite entregar nutrientes a la planta, de tal forma que se garantice un óptimo rendimiento. Esta labor no se desarrolla de forma reglamentada, pues dependerá de las condiciones del suelo y desarrollo fenológico. Para esto se debe realizar un análisis de suelo previo y controlar la aparición de indicadores que alerten sobre la falta o exceso de alguno de estos elementos minerales. El maíz es un cultivo que tiene grandes exigencias nutricionales, dependiendo de su desarrollo. Según Medina (2022) “El maíz necesita entre 28 a 30 kg de nitrógeno (N), 10 a 12 kg de fósforo (P_2O_5) y 23 a 25 kg de potasio (K_2O) por cada tonelada de grano producido. Adicionalmente, requiere de calcio, magnesio y azufre”. El maíz absorbe el nitrógeno (N) durante todo su ciclo vegetativo, pero, es la etapa de floración la de mayor consumo. Este nutriente favorece a la fotosíntesis y acumulación de proteínas en el grano, por lo tanto, el déficit de nitrógeno se manifiesta en hojas amarillentas, mazorcas sin granos en las puntas. Por ello están disponibles diversos tipos de fertilizantes con alto contenido de nitrógeno (Tabla 3), que permitirán mejorar las condiciones de la planta (Medina, 2022).

Tabla 3: Fertilizantes químicos y contenido de nitrógeno (N)

Fertilizante	% de N
Urea	46
Sulfato de amonio	20
Nitrato de amonio	33

FUENTE: Medina (2022)

La absorción de fósforo (P_2O_5) influye directamente en el desarrollo de las raíces y mazorcas. Es primordial en la primera etapa de desarrollo de la planta siendo la floración el momento de mayor consumo. Se detecta la deficiencia de fósforo en el cultivo cuando las hojas inferiores presentan coloración verde oscura, rojiza o purpura (Medina, 2022). En la Tabla 4 se muestra el contenido de fósforo (P_2O_5) disponibles en cuatro tipos de fertilizantes.

Tabla 4: Fertilizantes químicos y contenido de fósforo (P₂O₅)

Fertilizante	% P ₂ O ₅
Fosfato mono amónico	50
Fosfato di amónico	46
Superfosfato triple de calcio	46
Superfosfato simple	21

FUENTE: Medina (2022)

El nutrir al cultivo con potasio (K) ayudará a la rigidez de la planta, dando consistencia a las hojas y tallos, además permite que sea resistente a enfermedades, climas hostiles como el friaje, heladas y sequias. La deficiencia de potasio suele presentarse en quemaduras color café de las hojas más cercanas al suelo. Por ello de presentarse este déficit en el cultivo se puede aplicar fertilizantes con alto contenido de potasio (Tabla 5) en su forma soluble como K₂O (Medina, 2022).

Tabla 5: Fertilizantes químicos y contenido de potasio (K₂O)

Fertilizante	% de K ₂ O
Sulfato de potasio	50
Cloruro de potasio	60

FUENTE: Medina (2022).

- **Cosecha**

La cosecha es la recolección de mazorcas cuando se encuentran en la etapa de madurez fisiológica. Se debe empezar esta labor cuando los granos poseen 30% de humedad y/o cuando la planta se encuentre seca al 70%, como mínimo (Pinedo, 2015).

- **Secado**

Después de la cosecha las mazorcas deben ser llevadas a un tendal para el secado, esto será debido a la acción del viento y el sol. Un buen secado es importante, por ello debe ser breve para evitar la presencia de hongos. Esta etapa culminará cuando la humedad del grano esté en el rango de 12 a 14%. En el caso del maíz morado, no se desgrana después de la cosecha, al culminar esta etapa el maíz estará listo para su comercialización (Pinedo, 2015).

2.1.8. Manejo integral de plagas

El manejo integral de plagas son un conjunto de estrategias que permiten reducir la proliferación de plagas en un determinado cultivo. Mediante estas se puede reducir o eliminar el uso excesivo de plaguicidas, ya que al entrar en contacto directo con personas pueden provocar afecciones a su salud. Un buen manejo de estas estrategias permitirá reducir costos de producción, así como potenciales pérdidas producto de las plagas que puedan atacar al cultivo tanto en campo como en almacén. Existen factores que incrementan el riesgo a que estas aparezcan, uno de ellos es el factor climático pues se ha visto que en climas lluviosos incrementa la probabilidad de pérdidas entre un 10 y 20%.

Otro factor es el uso de fertilizantes, las plagas muchas veces son atraídas por estos, ya que encuentran en este tipo de sustancias una fuente de alimento con la que pueden subsistir y así reproducirse. Por ello estas estrategias deben basarse principalmente en tres aspectos; el primero, es el de prevenir la aparición de plagas, el segundo es la observación, de esta forma se identifican las potenciales plagas que podrían desarrollarse en el cultivo y tercero es la aplicación, como su nombre lo dice consiste en aplicar estas estrategias para poder mitigar su incremento. Es imposible la eliminación total de una plaga, pero sí se puede manejar de tal forma que permita un óptimo desarrollo del cultivo durante todos sus estadios vegetativos (Medina, 2022).

a. Plagas propagadas en campo

- Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith)

Es considera la principal amenaza del maíz, ataca a la planta desde que comienza su crecimiento en los primeros 10 y 15 cm de altura. Suelen masticar y perforar el cogollo disminuyendo así rendimientos como se observa en la Figura 4, como plan de prevención se puede llevar un control de población de malezas como la grama china y otras gramíneas. Cuando ya la población se encuentra a un estadio de adultez se recomienda colocar trampas de luz y melaza. Se puede actuar de dos formas frente a la aparición del cogollero, si la plaga es localizada se puede hacer uso de productos vegetales para combatirla, si la plaga se ha extendido sobre gran parte de los cultivos se evaluará la evolución de la plaga, si esta se encuentra en un estadio temprano será necesario el uso de insecticidas, pero si el cogollo ya ha sido formado se puede hacer uso de insecticidas granulados (Medina, 2022).



Figura 4: Cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith)

FUENTE: Medina (2022)

- **Gusano mazorquero (*Helicoverpa zea* B.)**

Ciclo reproductivo de este gusano inicia cuando la polilla en su forma adulta coloca huevos sobre las barbas del choclo, una vez que la larva logra ingresar a la mazorca esto se alimentará del grano lechoso y cuando termina de desarrollarse la larva abandonará la mazorca (Figura 5). Sin embargo, esta quedará expuesta para el ataque de otro insecto como la mosca *Eusexusta* spp. Debido a los orificios que deja el gusano el agua de lluvia puede llegar a ingresar dentro de estos orificios causando la pudrición de la mazorca. Para poder combatir esta plaga se puede realizar un control biológico natural mediante la liberación de avispidas del género *Trichograma* u otros métodos como la aplicación de aceite vegetal que se dará durante tres fechas. Así mismo el control químico se realizará mediante aplicaciones dirigidas (Medina, 2022).



Figura 5: Larva y daño de *Helicoverpa zea* B

FUENTE: Medina (2022)

- **Mosca *Euxesta* spp**

Esta mosca puede ser identificada por su coloración ploma oscura (Figura 6). Son las larvas quienes producen el deterioro de la planta pues se alimentan de los estigmas, sin embargo, luego también llegan a tener como fuente de alimento a los granos en estado pastoso, emitiendo así un olor fétido causando la pérdida de granos (Medina, 2022).



Figura 6: Mosca *Euxesta* spp

FUENTE: Medina (2022)

- **Cigarrita *Dalbulus maidis***

De acuerdo a sus características físicas, su coloración es amarilla pálida (Figura 7).

Los huevos son depositados en la nervadura central de las hojas, además la fuente de alimentación son las hojas del maíz. Este insecto actúa principalmente como vector de enfermedades como son el caso de rayado fino de maíz y mollecotes, causando la decoloración de la planta y el enanismo de la misma (Medina, 2022).



Figura 7: Adulto de *Dalbulus maidis* y enfermedad

FUENTE: Medina (2022)

- **Huanchacos**

Estas aves pueden llegar a ocasionar la pudrición de la mazorca. Esto se debe a que ataca principalmente cuando el grano se encuentra en estado lechoso (Medina, 2022).

b. Plagas propagadas en el almacén

El gorgojo suele proliferar en ambientes con altitudes menores a los 3300 msnm. Se le puede identificar en dos estadios; el primero es cuando se encuentra en un estado larvario, donde se alimenta principalmente del endospermo llegando a debilitar por completo la estructura, lo cual se refleja en una destrucción rápida y abrupta del grano sin mayor esfuerzo, por otro lado, también se puede presentar en un estado adulto y es precisamente aquí cuando el insecto deja sus huevos dentro del grano. El tratamiento de la plaga se puede hacer mediante la identificación individualizada, donde se debe separar las mazorcas con granos afectados, mientras que cuando la población afectada es mucho mayor se debe fumigar. Es importante prestar atención a la aparición de estos insectos pues la producción debe ser almacenada y se debe garantizar su buen estado para su futura comercialización (Medina, 2022). En la Figura 8, se muestra al maíz morado atacado por gorgojos.



Figura 8: Maíz morado atacado por gorgojos

FUENTE: Medina (2022)

c. Enfermedades comunes

- **Carbón común (*Ustilago maydis* Persoon)**

Esta enfermedad es causada por un hongo denominado *Ustilago maydis*. Por lo general se presenta en temporadas con poca precipitación y cuando la planta está en etapa de floración. Suele aparecer también en temporadas donde las temperaturas pueden llegar desde los 25°C hasta los 33°C. Para poder combatir esta enfermedad es necesario identificar aquellas plantas infectadas y eliminarlas (Figura 9) y dependiendo de la magnitud también será necesario el control mediante fungicidas (Medina, 2022).



Figura 9: Mazorca y tallo, con presencia de carbón común

FUENTE: Medina (2022)

- **El puca poncho (*Spiroplasma kunkeli*)**

Esa es la enfermedad transmitida por las “cigarritas”. Es importante identificarla a tiempo antes de la aparición de manchas rojizas o amarillentas y la aparición de mazorcas en cada nudo de la planta ya que esto indica un estado avanzado de la enfermedad, como se muestra en la Figura 10. Por otro lado, cuando se presentan coloraciones blanquecinas en las hojas próximas al tallo indica problemas de enanismo de la planta, lo cual se transformará en cero producciones de granos. Por ello es muy importante que se puede identificar la aparición de esta plaga sobre todo en los primeros estadios del cultivo ya que si no se controla se podría llegar a perder hasta el 100% de la plantación (Medina, 2022).



Figura 10: Síntomas del complejo fitoplasma-espiroplasma

FUENTE: INIA (2020)

- **Mancha gris (*Cercospora zae maydis*)**

Esta enfermedad es producida por hongos. En la Figura 11, se muestra la aparición de manchas inicialmente translúcidas que pueden llegar a tener coloraciones amarillas, naranjas y grisáceas. Suelen tomar formas rectangulares y triangulares. Esta enfermedad puede producir que la planta se seque apresuradamente lo cual es dañino sobre todo

cuando se encuentra en los primeros estadios de desarrollo (ICA, 2007).

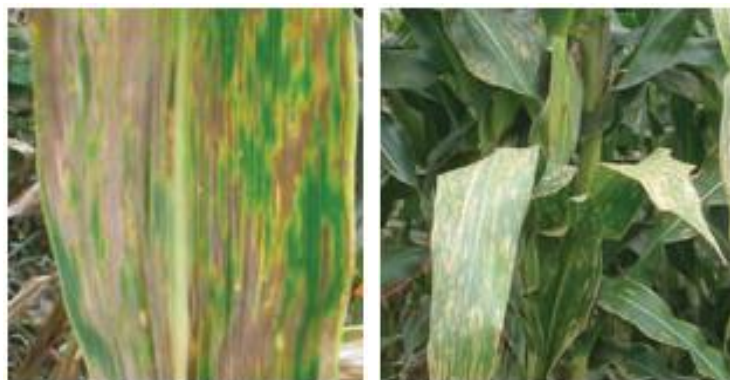


Figura 11: Características de la enfermedad mancha gris

FUENTE: ICA (2007)

- **Roya**

Es una de las enfermedades más comunes y se presenta principalmente como manchas, estas suelen tener forma circular y afectan principalmente a las hojas, aunque también se pueden encontrar en el tallo y las envolturas de la mazorca. Las manchas comienzan con una coloración parda o amarillenta y se pueden transformar en café, rojizas o negras (Figura 12). Ya en su fase final, de las pústulas se llega a desprender un polvillo de color café (ICA, 2007; Ortiz, 2019).



Figura 12: Manchas características de la roya en el maíz

FUENTE: ICA (2007)

2.1.9. Producción de maíz morado

En la Tabla 6 se muestran los indicadores de producción de maíz morado, entre los años 2016 y 2020, la producción y superficie cosechada tuvieron tendencia positiva. Sin embargo, el precio en chacra decreció.

Tabla 6: Indicadores de producción de maíz morado en el Perú

	2016	2017	2018	2019	2020	% Var.prom
Producción (t)	21,474	23,151	23,219	23,069	24,580	2,70 %
Superficie cosechada (ha)	3,909	4,375	4,248	4,357	4,401	2,40%
Rendimiento (t ha ⁻¹)	5,5	5,3	5,5	5,3	5,6	0,30%
Precio promedio en chacra (kg ha ⁻¹)	1,62	1,37	1,27	1,79	1,55	-1,00%

FUENTE: Sierra y selva exportadora (2021)

De acuerdo a la Figura 13 se puede comparar la producción de maíz morado por región costa y sierra. Mientras que la costa (Lima, La Libertad, Ica y Lambayeque) tiene una producción sostenida durante todo el año, en la sierra (Moquegua, Cajamarca, y Apurímac) la producción es entre los meses de febrero y julio. Esto se debe al tipo de riego, debido que en la sierra suele estar en base a la época de venidas de lluvia.

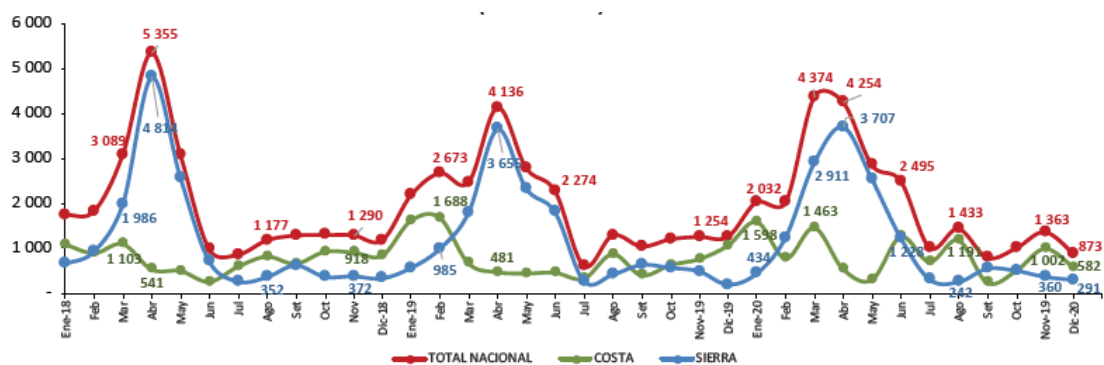


Figura 13: Producción de maíz morado en costa y sierra en toneladas

FUENTE: Romero (2021)

De acuerdo a la Tabla 7 se observa que quien sostiene la producción de la costa es la región Lima. Mientras que en la sierra Ayacucho es quien tiene la mayor producción en toneladas.

Tabla 7: Producción nacional de maíz morado en toneladas por región

TOTAL	2016	2017	2018	2019	2020
Lima	9 520	8 570	7 602	8 164	7 756
Ayacucho	1 455	2 960	4 910	3 697	6 012
Arequipa	1 998	1 826	1 958	2 270	2 251
Ancash	3 018	2 482	2 539	2 590	1 746
Huánuco	1 703	1 892	2 016	1 961	1 963
Cajamarca	969	1 471	1 776	2 104	1 899
La libertad	1 595	1 917	766	790	1 556
Ica	812	1 157	842	542	865
Apurímac	164	689	539	737	305
Moquegua	213	153	194	154	121

FUENTE: Sierra y selva exportadora (2021)

La Figura 14 se muestra como varían los precios del maíz morado en chacra, comparado con los precios en el mercado mayorista. Si se compara este gráfico con el de producción en la costa y sierra la baja producción de la costa incrementa el precio de venta en el mayorista y la venta en chacra, lo cual indica que es clara su importancia en el abastecimiento del principal centro de abastos por su cercanía. El precio en el mercado mayorista por debajo del de chacra, puede darse por especulación o sobre producción.

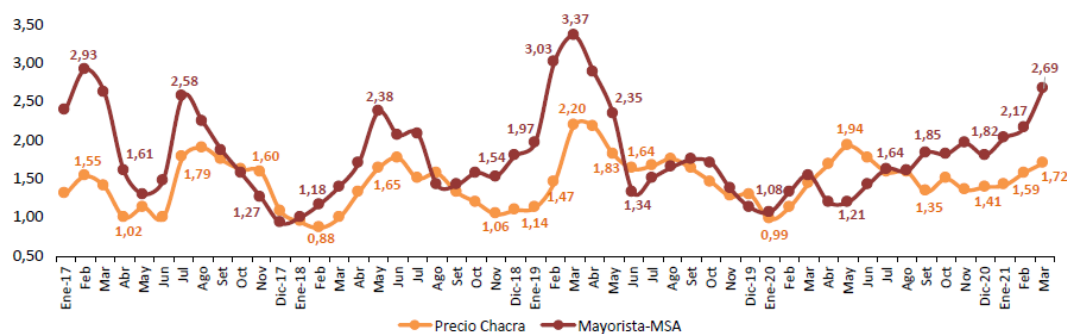


Figura 14: Comparación de precio en chacra y mercado (soles kg⁻¹)

FUENTE: Romero (2021)

2.1.10. Exportación de maíz morado

En el 2015 los principales países de las exportaciones de maíz morado fueron: Ecuador y Estados Unido, que recibieron el 78% del total de envíos. Perú tiene acuerdos comerciales para exportar maíz con preferencias arancelarias (MIDAGRI, 2016)

El mayor destino de las exportaciones nacionales en el 2017 fue Estados Unidos, con colocaciones por US\$ 420 649. Le siguieron España (US\$ 65 116), Ecuador (US\$ 51 328), Chile (US\$ 25 512), Japón (US\$ 23 982) y otros destinos con valores menores que juntos sumaron US\$ 59 182 (MIDAGRI, 2016).

2.1.11. Rendimiento

La variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, conseguida a través de la variedad morado de Caraz, adaptada a la costa y sierra baja, con resistencia a cercospora y roya, con un buen manejo agronómico se llega a obtener mazorcas medianas de 15 a 20 cm, alargadas con alto contenido de pigmento y un potencial de rendimiento de 6 t ha⁻¹ (Manrique, 2000).

2.1.12. Calidad

En el Perú se ha aprobado la Norma Técnica Peruana (NTP) para las mazorcas de maíz morado- NTP 011.601:2016. Esta norma clasifica, establece y define los requisitos que debe cumplir las mazorcas para su uso como materia prima para el consumo directo y el procesamiento industrial. Los requisitos fisicoquímicos establecidos se detallada en la Tabla 8.

Tabla 8: Requisitos fisicoquímicos para la comercialización de maíz morado

Requisito	Mazorca	Corona
Humedad (%)	Máximo 13	Máximo 10
Porcentaje antocianinas (%)	Mínimo 0,8	Mínimo 0,8
Longitud (cm)	Mayor a 6,0	No aplica

FUENTE: MIDAGRI (2016)

2.1.13. Riego

El maíz morado requiere un suelo con buena humedad para el óptimo desarrollo del cultivo. Las etapas más críticas de crecimiento y donde se necesita mayor frecuencia de riego son las de floración y formación del grano. Según Medina (2022) “El volumen total de agua que requiere el cultivo depende del ciclo vegetativo, de la variedad precoz, intermedio y tardío, y varía entre 5000 y 7500 m³”, utilizando riego tradicional en Cajamarca.

2.2. RIEGO POR GOTEO

El sistema de riego por goteo es un sistema a presión, se caracteriza por la emisión de agua localizada y alta frecuencia a la planta. El agua es transportada mediante una red presurizada de tuberías y es aplicada a través de los emisores. Este sistema reduce las pérdidas de agua por escorrentía, infiltración y evaporación consiguiendo una alta uniformidad de distribución del agua. La velocidad de infiltración dependerá del tipo y condiciones del suelo en el que se va a trabajar, por ejemplo, el suelo arenoso tiene una alta permeabilidad lo que ocasiona que el bulbo húmedo crezca más de forma vertical, mientras que en suelo arcilloso al tener baja permeabilidad la extensión del bulbo húmedo crecerá de forma horizontal ocasionando encharcamientos, tal como se observa en la Figura 15 (Mendoza, 2013).

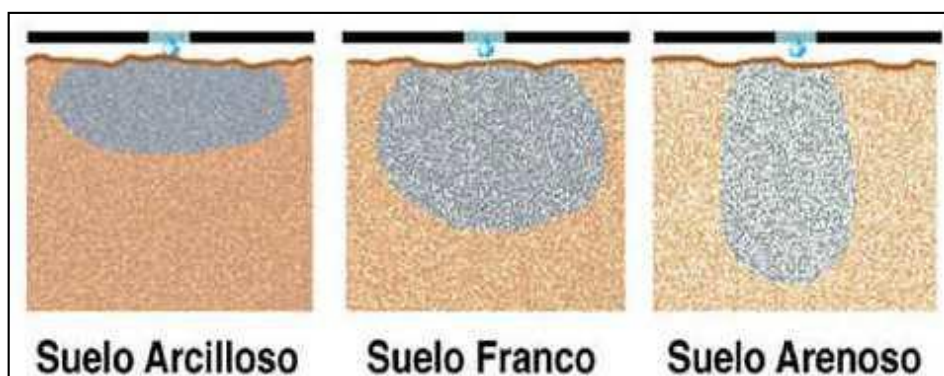


Figura 15: Humedad del bulbo según el tipo de suelo

FUENTE: Mendoza (2013)

También es importante que antes de elegir cualquier sistema de riego se debe tener en cuenta las ventajas y desventajas en comparación a otros métodos. En este caso entre las principales ventajas del riego por goteo es el uso eficiente del agua, además no se requiere de tanta presión, se puede regar aunque se tenga grandes pendientes y puede ser automatizado; sin embargo también se identifican algunas desventajas, al ser un sistema localizado de riego esto se refleja en un alto costo de operación y mantenimiento, por otro lado al estar en contacto directo con el suelo se pueden presentar problemas de taponamiento y acumulación de sales en el suelo debido a la cantidad mínima de agua con la que se riega (Valdivieso, 2013).

2.2.1. Componentes del sistema

- Fuente de energía

La fuente de energía que permita la circulación del agua es el sistema de bombeo. Este se compone de bombas acopladas a motores (a combustión interna o eléctricos) que superen las pérdidas de energía. Existen diferentes tipos de bombas y cada una tiene una finalidad diferente. Se puede encontrar las bombas horizontales, que son las más usadas en riego ya que tanto bomba y motor se encuentran en la superficie; después se tienen las bombas verticales que son más usadas en pozos, donde la bomba es sumergible mientras el motor se encuentra en la superficie y por último se tiene a las bombas sumergibles, donde tanto bomba y motor son sumergidas, por lo general son usadas en sondeos en pozos estrechos.

- Cabezal de control

En la Figura 16 se muestra el cabezal de control que se compone de todo aquello que permita el adecuado funcionamiento de la red de riego. Por ello se debe tener en cuenta que en el sistema de riego por goteo los emisores deben recibir agua sin residuos ni sedimentos, ya que si estos lograran ingresar podrían generar taponamientos. Para lograrlo en el cabezal se debe filtrar y tratar el agua que se recibe de la fuente de agua. Por otro lado, también se debe controlar la fertilización, para ello se debe contar con un equipo de fertirriego (Mendoza, 2013).

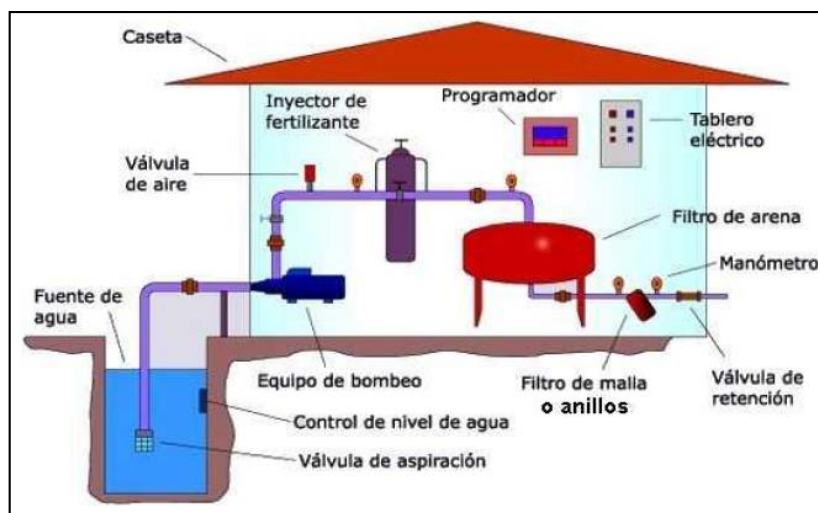


Figura 16: Cabezal de control de riego por goteo

FUENTE: Mendoza (2013)

El sistema de filtrado se puede componer de uno o más tipos de filtros. Su instalación dependerá del tipo de fuente de agua, las algas y partículas en suspensión. Por lo usual se encuentran tres tipos de filtros: el hidrociclón, filtro de arena y de anillos. El hidrociclón actúa como pre filtro cuando el agua tiene gran contenido de arenas, el filtro de arena ayuda a captar algas y otros microorganismos en suspensión y el filtro de anillos realiza filtrado a profundidad, ayuda a retener sales que precipiten y su capacidad depende del radio de los anillos, número de ranuras y color (Mendoza, 2013; Romero, 2022).

El sistema de fertirrigación permite que la fertilización sea optimizada. Existen diversos métodos de inyección de los cuales se destacan tres. El primero es el de tanque de presión, si bien debe soportar la presión de la red de riego, es muy sencillos de usar, transportable y práctico. El segundo es el inyector de Venturi, también se caracteriza por ser sencillo y no son necesarias fuentes de energía externas. El tercero son las bombas dosificadoras, por medio de este método se inyecta el fertilizante al sistema mediante una bomba, permite que este proceso se lleve de forma controlada y dosificada, pero puede traer problemas de corrosión (Mendoza, 2013).

- **Red de tuberías**

El tipo de material de tubería dependerá del nivel u orden en la red de tuberías (Figura 17). Esto dependerá de la superficie a regar. La tubería que se conecta al cabezal se denomina tubería principal o primaria y aquellas que distribuyen el agua a los emisores se denominan laterales de riego. Por lo usual son de PE (polietileno) y PVC (policloruro de vinilo) (Mendoza, 2013; Romero, 2022).

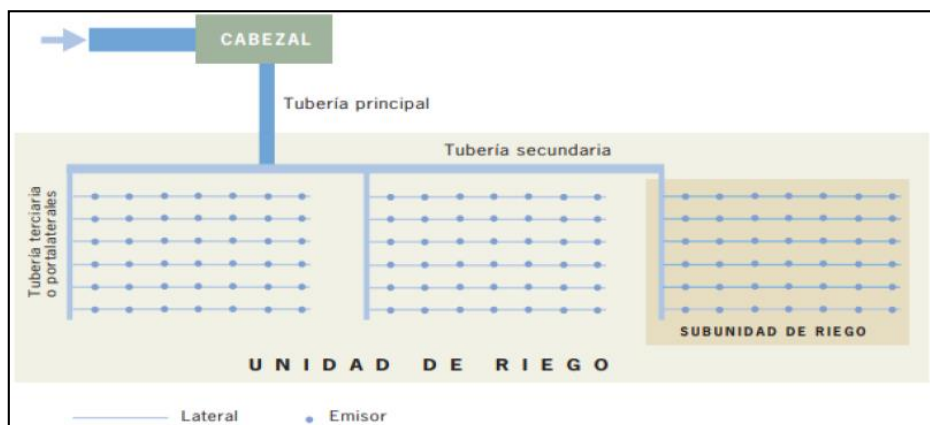


Figura 17: Diagrama de una red de distribución

FUENTE: Romero (2022)

- **Goterros o emisores**

Tienen como finalidad disipar la energía. El agua fluye por el lateral a presión, pero entra en contacto al suelo en forma de gotas. La elección de tipo de gotero dependerá de la calidad del agua, condiciones de operación y eficiencia del sistema. Existen varios tipos, entre ellos están: gotero en línea, gotero sobre la línea, tubería integral, cinta de riego y otros. Mendoza (2013) menciona que “en el rango de descargas deseado, las características del flujo de la mayoría de los goteros se pueden expresar mediante la ecuación del gotero”.

$$q = Kd * h^x$$

Donde:

q = caudal del gotero (l h⁻¹)

Kd = coeficiente de descarga que caracteriza a cada gotero

h = carga de operación del gotero (m)

x = exponente de descarga del gotero

Cuando el valor de x es igual a la unidad el régimen hidráulico es laminar, cuando es 0,5 será régimen turbulento y cuando tiene el valor de cero será auto compensante (Mendoza, 2013; Romero, 2022).

En la Figura 18 se muestra la curva de gasto real de un gotero.

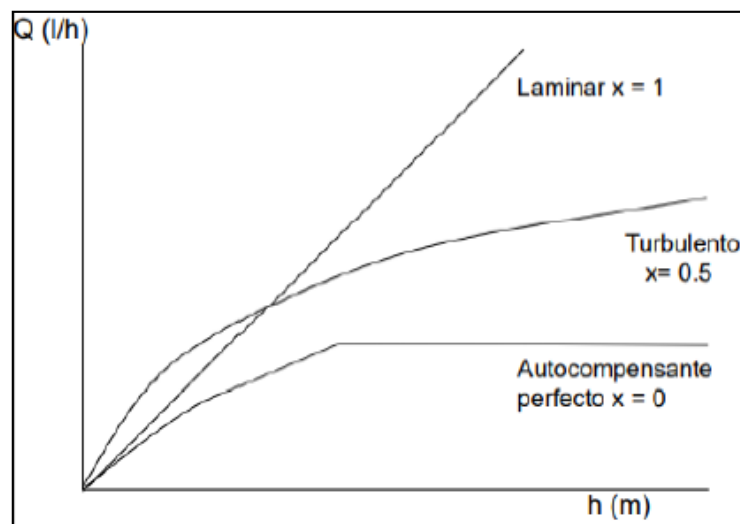


Figura 18: Curva de gasto real de un gotero

FUENTE: Romero (2022)

- **Dispositivos de control**

Estos dispositivos son imprescindibles en cualquier instalación de riego controlado. Miden caudales, volumen y presiones en el sistema.

Según Mendoza (2013) y Romero (2022) se pueden identificar los siguientes:

- Medidores de caudal
- Medidores de presión
- Válvulas de aire
- Válvulas de corte o aislamiento
- Válvula anti retorno o de retención

2.2.2. Fertirriego

La fertirrigación se realiza mediante la inyección de los fertilizantes (solución madre) al agua de riego, por la acción del flujo turbulento del agua dentro de la red de tuberías siendo esta transportada desde el cabezal de riego hasta los emisores, entregando directamente en la zona radicular del cultivo (Ortiz, 2019).

Esta técnica de fertilización produce una mejor disponibilidad y aprovechamiento de nutrientes, provee una distribución uniforme de los nutrientes en la solución del suelo y sobre el terreno cultivado, la aplicación de fertilizantes se realiza de forma diaria e inclusive varias veces durante el día, de acuerdo al estado fenológico del cultivo o también para mitigar de forma inmediata síntomas de carencia de nutrientes, además, permite la aplicación de productos fitosanitarios como fungicida, herbicidas, entre otros (Ortiz, 2019).

2.2.3. Coeficiente de uniformidad (CU)

El coeficiente de uniformidad es un indicador, que permite estimar el funcionamiento del sistema de riego. Se realiza antes de que el sistema entre en operación y cuando ya está en funcionamiento. Además, se requiere evaluar cada subunidad. El resultado de la prueba realizada en campo es fundamental en el diseño de sistemas de riego por goteo porque es uno de los componentes para el cálculo de la lámina de riego. La uniformidad de la emisión depende de la variación de caudales que se presenta en la subunidad como consecuencia al cambio de presiones debido a pérdidas de cargas en la red de riego y variaciones topográficas. Cuando se tienen valores de coeficiente de uniformidad debajo del 90%, se

deben evaluar estrategias para mejorar este indicador (Mendoza, 2013).

El cálculo del coeficiente de uniformidad es la siguiente:

$$CU = 100 \left(\frac{q_{25}}{q_a} \right)$$

Donde:

CU= uniformidad de la emisión a partir de la prueba de campo

q₂₅= promedio del 25% de emisores más bajos

q_a= promedio de todos los emisores

2.2.4. Operación y mantenimiento del sistema

La operación del sistema de riego consiste en el manejo de todas las instalaciones desde que el agua sale del cabezal que ingresa a través de los laterales de riego. Sin embargo, se debe tomar en cuenta medidas de prevención que permitan el funcionamiento adecuado del sistema. El mantenimiento se basa principalmente en procedimientos que permitan identificar y combatir aquellos posibles problemas que pueden reducir el rendimiento durante la operación del sistema (Netafim, 2014).

Las medidas de control se pueden realizar de forma visual mediante un operario que identifique las posibles fallas en las instalaciones y comprobación en campo de su correcto funcionamiento. Para esto se deben tener todos los equipos que permitan el control como manómetros antes y después de filtros, medidores de caudal entre otros. Dentro de las acciones periódicas que se deben tomar en cuenta están las de monitoreo y evaluación de las presiones del sistema, prueba de caudales, mantenimiento de filtros, lavado de líneas de goteo, tratamiento químico para prevención de obstrucciones, tratamiento de algas para reservorio (Mendoza, 2013; Romero, 2022).

2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Según Allen et al. (2006) “Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo” (Figura 19). La evaporación de agua se puede presentar en diversas superficies, como lagos, ríos y suelos. Consiste en la vaporización del agua por acción de distintas variables climáticas como viento, radiación solar, temperatura del aire, entre otros. Mientras que la transpiración es la eliminación de

agua a través de las estomas de las plantas hacia el exterior, esta dependerá de diversos factores como el avance fenológico y el tipo de cultivo a desarrollar. Durante la evapotranspiración ambos procesos ocurren de forma simultánea, sin embargo, la evaporación es mayor durante los primeros estadios de crecimiento de la planta, mientras que la transpiración se vuelve predominante cuando la etapa de crecimiento está más desarrollada. Su unidad de medida se expresa en mm, la pérdida de 1mm de agua corresponde a la pérdida de 10 m^3 de agua por hectárea.

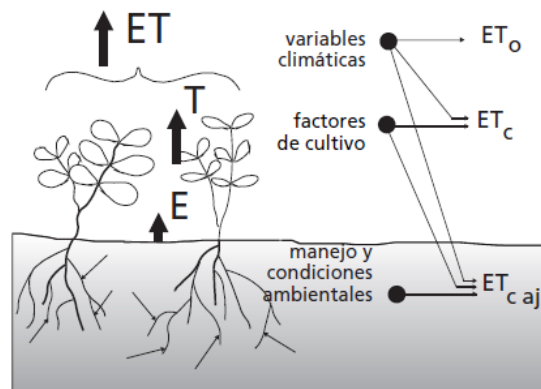


Figura 19: Factores que afectan la evapotranspiración

FUENTE: Allen *et al.* (2006)

2.3.1. Evapotranspiración de referencia (E_o)

Este parámetro hace alusión a la tasa de evapotranspiración de un cultivo de referencia, según la FAO corresponde a pasto, que no tiene limitación de agua. Su valor varía de acuerdo a la de la ubicación y la estación de año que corresponda, por ello se considera que no depende del tipo de cultivo y del manejo que se le dé, pues solo es afectado por parámetros climáticos. Por lo tanto, puede ser calculado a través del método de Penman-Monteith con valores de parámetros meteorológicos (Arango, 2019).

2.3.2. Coeficiente del cultivo (K_c)

Este valor permite conocer cuánto requiere la planta de agua. Varía de acuerdo al desarrollo fenológico por lo tanto se debe generar una curva con los valores para cada etapa de crecimiento de cultivo, además se calcula según las condiciones del lugar donde este se desarrolla. Se suele determinar este valor con un lisímetro debido a que otros métodos

pueden resultar costosos (Arango, 2019).

2.3.3. Evapotranspiración del cultivo (Etc)

La transpiración de cultivo se da bajo condiciones estándares de clima, suelo y agua, además considera que las enfermedades no están presentes, se cuenta con una buena fertilización y terrenos amplios, por lo tanto, se llega a altos rendimientos de producción. Cuando estas condiciones cambian este parámetro debe ser ajustado. Se calcula multiplicado el valor del coeficiente de cultivo (K_c) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) (Arango, 2019; Cifuentes, 2016).

2.3.4. Coeficiente de riego (fr)

El coeficiente de riego es un factor que forma parte de las estrategias aplicadas para el ahorro de agua en cultivos. Ascencios *et al.* (2019) realizó la investigación en césped americano, en la cual utilizó factores de coeficiente de riesgo en 100, 80, 60 y 40 por ciento y comparó rendimientos (Romero, 2022).

2.3.5. Métodos para determinar la evapotranspiración

a. Método de tanque de evaporación clase A

El tanque evaporímetro permite evaluar y obtener la evaporación de agua de acuerdo a las condiciones ambientales. En una época donde la lluvia se ausenta, la disminución de altura corresponde a la evaporación del día. El tanque tipo A se encuentra localizado sobre una superficie verde rodeado por área seca y debe evitarse errores al momento de medir la evaporación. Durante la medición se debe tomar en cuenta que la disminución del nivel de agua no se encuentre por encima de los 10 cm, ya que el rango aceptado es de 5 a 7,5 cm debajo del borde. Para mejorar las condiciones se debe cercar el área del tanque ya que cuando éste se encuentre lleno puede ser usado como fuente de agua por diversos animales y pájaros, por lo tanto, es mejor mantenerlo aislado bajo condiciones controladas. De acuerdo a sus dimensiones la FAO establece que el tanque tipo A debe tener 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad, el material del cual está hecho debe ser de hierro galvanizado o láminas de metal (0,8 mm) y debe situarse sobre una superficie de madera nivelada, como se visualiza en la Figura 20. Después de su instalación se

debe llenar con agua hasta 5 cm por debajo del borde. Las mediciones deben tomarse durante la mañana y el agua debe ser cambiado periódicamente (Allen *et al.* 2006).

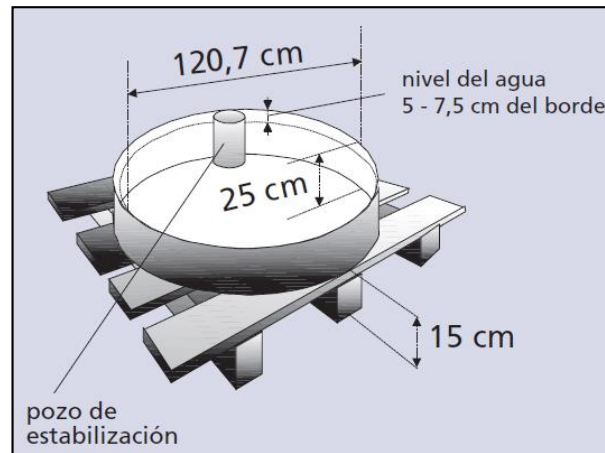


Figura 20: Descripción del tanque clase A

FUENTE: Allen *et al.* (2006)

b. Estaciones meteorológicas

Este tipo de instalaciones permiten obtener datos meteorológicos mucho más exactos de acuerdo al lugar donde se desarrolla el cultivo, debido a que se utilizan diversos sensores. Las estaciones meteorológicas (Figura 21) están compuestas por un colector de lluvia, anemómetro (mide la dirección y velocidad del viento) y sensores de temperatura, humedad, radiación solar, entre otros. Estos valores son registrados y procesados para la obtención de los datos de evapotranspiración para lo cual utiliza la ecuación de Penman- Monteith (Manual de la consola Davis Pro Vantage 2, 2012).



Figura 21: Estación meteorológica Davis Pro Vantage 2

FUENTE: Manual de instalación de Davis Vantage Pro 2

c. Ecuación de Penman Monteith FAO

Según la FAO el método de Penman – Monteith es uno de los más precisos. Se puede aplicar en periodos diarios, alguno de los parámetros que se deben tomar en cuenta son la latitud, la época de año y la radiación (Allen et al. 2006).

Según la FAO:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = radiación neta en la superficie de cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

R_a = radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G = flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T = temperatura medía del aire a 2 m de altura (°C)

U_2 = velocidad de viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ = constante psicométrica (kPa °C⁻¹)

2.4. COEFICIENTES HÍDRICOS

2.4.1. Capacidad de campo (CC)

Capacidad de campo hace referencia a la máxima capacidad de conservación de agua de un suelo, es decir está al 100% de humedad disponible para la planta. Esta condición se alcanza cuando el drenaje interno ha cesado después de que el suelo estuvo completamente saturado (Chuchón, 2019; Romero, 2022).

2.4.2. Punto de marchitez (PM)

El punto de marchitez representa la condición donde la humedad de suelo es mínima y la planta ya no puede absorber el agua. En esta condición existe agua en los micro poros, la

cual debe poseer una succión mayor a 15 atmosferas de tensión para poder ser extraída. Como el aprovechamiento de agua es nulo este puede ocasionar la muerte del cultivo, esto se manifiesta con signos de marchitamiento, caída de hojas y escaso desarrollo (Arango, 2019; Chuchón, 2019).

2.4.3. Capacidad de agua disponible (CAD)

Es el contenido de agua disponible para el aprovechamiento de la planta. Se encuentra entre el rango de humedad, cuando el suelo está a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (PM). Si se sobrepasa el límite de CC, la falta de aire puede terminar ahogando el cultivo, por el contrario, si se desciende del límite inferior indicado por el PM, se verán efectos adversos para el desarrollo de cultivo, el cual puede llegar hasta la muerte (Chuchón, 2019). La representación gráfica de los tres coeficientes hídricos se observan en la Figura 22.

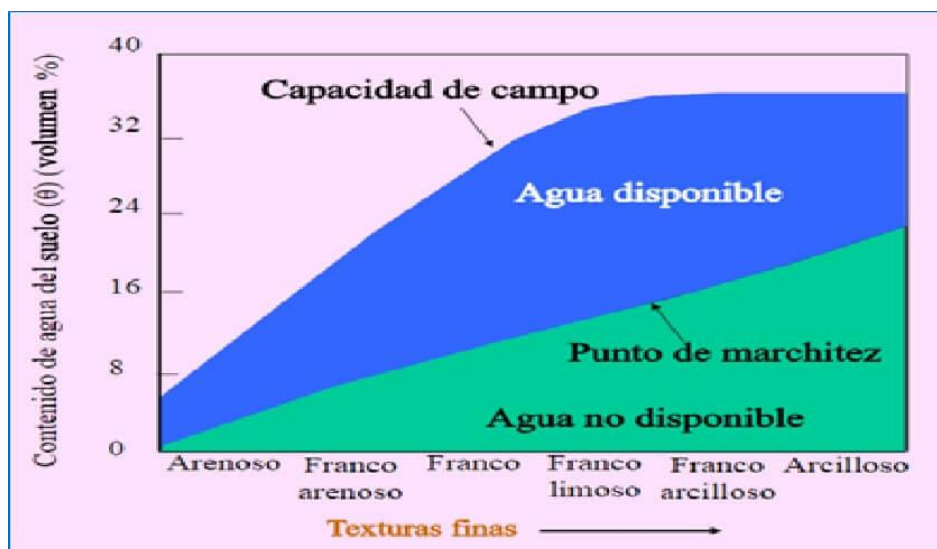


Figura 22: Contenido de agua del suelo

FUENTE: INTAGRI (2017)

2.4.4. Densidad aparente (Da)

La densidad aparente es la relación entre el peso seco y el volumen total de suelo incluyendo poros. Para determinar este parámetro se debe llevar la muestra de suelo al horno por 24 horas a 110 °C. Normalmente el método más utilizado para obtener la muestra de suelo es el del anillo volumétrico. El cálculo de la densidad aparente permite obtener valores de

humedad gravimétrica en términos de humedad volumétrica. Además, su valor varía de acuerdo con la textura del suelo, tal como se muestra en la Tabla 9 (Cuadra y García, 2016; Romero, 2022).

Tabla 9: Valores representativos de D_a según el tipo de suelo

Textura	Densidad aparente (D_a) (g cm^{-3})
Suelo arenoso	1,51 – 1,70
Suelo franco	1,31 – 1,50
Suelo arcilloso	1,00 – 1,30
Suelo volcánico	< 1.00

FUENTE: Romero (2022)

Según Cuadra y García (2016) se calcula:

$$D_a = \frac{G}{V_t}$$

Donde:

D_a = densidad aparente (gr cm^{-3})

G = masa del suelo seco (g)

V_t = volumen total ocupado por el suelo (cm^{-3})

2.5. HUMEDAD DEL SUELO

- Método gravimétrico

Según Padilla (2016) “Es un método de medición directa de la humedad. Permite determinar el contenido de agua del suelo a través de la medida de la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco a 105 °C, en relación al peso seco de la muestra”. Es uno de los métodos más utilizados, aunque su aplicación resulta invasiva y laboriosa, ya que después de obtener la muestra en un punto del terreno ya no se puede volver a extraer muestra del mismo punto pues sus propiedades han sido alteradas. Este procedimiento es clave para la calibración de sensores de humedad (Cabrera et al, 2018; Padilla, 2016).

- Reflectometría en el dominio de frecuencia (FDR)

El método FDR consiste en medir la humedad del suelo determinado la constante

dieléctrica del suelo, midiendo el tiempo en que se carga un condensador (fuente dieléctrica). La constante está relacionada directamente al tiempo de circulación de la señal electromagnética en las sondas o varillas metálicas colocadas en el suelo. A través de estas se obtienen datos de humedad del suelo de forma continua, por ello se debe realizar la calibración previa. La frecuencia de trabajo se encuentra en el rango de 10 a 100 Mhz (Buesa, 2013).

2.6. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

El índice de vegetación determina el grado de vigorosidad de las plantas. Se mide a través de la intensidad de radiación en bandas electromagnéticas reflejadas, de esta forma se puede diferenciar entre la vegetación y otras superficies como el suelo. Los valores de este indicador varían entre 0 y 1. Valores por encima de 0,1, según algunas investigaciones, indica presencia de vegetación. El valor de NDVI se puede calcular a través de una fórmula que relaciona dos bandas, el infrarrojo cercano (R_{nir}) y el rojo (R_{red}). El valor de NIR aumenta mientras hay una mayor absorción de energía y agua de la planta, mientras que el valor de RED aumenta cuando el cultivo sufre algún tipo de estrés plaga o sequía (Díaz, 2015). El cálculo de NDVI es la siguiente:

$$NDVI = \frac{(R_{nir} - R_{red})}{(R_{nir} + R_{red})}$$

Donde:

R_{red} = reflectancia de la radiación del rojo visible

R_{nir} = reflectancia de la radiación del infrarrojo cercano

Si bien los valores de NDVI varían de 0 a 1 se pueden establecer rangos que permitan identificar y/o clasificar con mayor precisión las superficies como se muestra en la Figura 23.



Figura 23: Intervalo de valor de NDVI en función al factor biológico del cultivo

FUENTE: Cima (2021)

2.6.1. Vuelo de dron Phantom 4 PRO

El DJI PHATOM 4 es un dron que se utiliza en la agricultura con una cámara especializada para capturar imágenes multispectrales ya que tiene seis bandas (azul, rojo, verde, borde rojo, infrarrojo, visible RGB) que permiten obtener imágenes NDVI en tiempo real, este dron viene con un módulo integrado como su homónimo para fotogrametría Phantom RTK. Cabe resaltar que luego de realizar el vuelo no tripulado se tiene que procesar las imágenes obtenidas (Manual Phantom 4 PRO, 2017).

2.6.2. Cámara multispectral Parrot Sequoia

Esta cámara está diseñada principalmente para usos agrícolas. Se compone de una cámara multispectral y un sensor solar. Los datos que se obtengan sobre la luz solar permiten la auto calibración ya que confirma los valores de datos espectrales. La cámara multispectral se ubica frente al cultivo, este refleja luz en cuatro bandas que son; verde, roja y las bandas infrarrojas de borde rojo e infrarrojo cercano, el sensor solar se ubica por encima del dron y recoge datos de intensidad de luz respecto a las cuatro bandas ya mencionadas. Se adapta a cualquier tipo de avión no tripulado además incluye un GPS, conexión wi-fi y USB (Trueba, 2017).

Las imágenes tomadas con el espectro visible e infrarrojo son útiles para la agricultura de precisión, debido a que se puede visualizar la cantidad de clorofila que presentan las hojas además de la tasa fotosintética. Mediante dichos factores es posible detectar en los cultivos la presencia de enfermedad, plagas, estrés en la vegetación, falta de nutrientes o falta de agua. (Lozano y Torres, 2019).

2.6.3. Softwares empleados para el procesamiento de las imágenes

- ArcGis

Es uno de los softwares más usados para la creación y usos del sistema de información geográfica (SIG). Posee tres componentes principales que son ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. Estos se complementan entre sí para el manejo de información. (Almeida, 2008).

- Pix4Dmapper

Guirola (2018) menciona que Pix4D es un software que tiene gran utilidad en la agricultura de precisión. Se usa principalmente en productos cartográficos. Se obtienen las imágenes a través de vuelos no tripulados y la precisión de la imagen está entre 1 y 200 megapíxeles. Pueden ser usados para el monitoreo y también para producción de mapas de fertilización. Tiene un costo aproximado de 3500 USD y 6500 USD si se agrega la compra del sensor Sequoia. El soporte técnico se puede dar a través del manual o el servicio de consulta de calidad en su página oficial. Además “Este software tiene compatibilidad con las plataformas de MacOs y Windows 64 bits 7, 8, 10 y Server” (Evora, 2016).

2.7. FUNCIÓN PRODUCCIÓN DEL AGUA

La función producción explica la relación entre cantidad de lámina aplicada y el rendimiento de un cultivo, así el primero aumentará si el riego es constante, pero, si se aplica más riego del que se debería el rendimiento disminuye. En la Figura 24, se muestra que se pueden obtener buenos rendimientos si se riega por debajo del 100% de las necesidades hídricas de la planta. Con esta forma de regar (r) se obtiene mayor rentabilidad, es otras palabras, la pérdida monetaria que se tiene por el descenso de la producción (p), está compensando con el ahorro de electricidad y agua. Por otro lado, el riego excesivo no es beneficioso en general

para los cultivos, debido al arrastre de herbicidas y fertilizantes por debajo del área de raíces, ya que no son aprovechados por la planta y se puede contaminar fuentes de agua aledañas. Se controla el vigor de la planta, ya que se evita el excesivo crecimiento de su follaje y por lo tanto se ahorra la mano de obra por concepto de poda y desmalezar (Fernández et al. 2015).

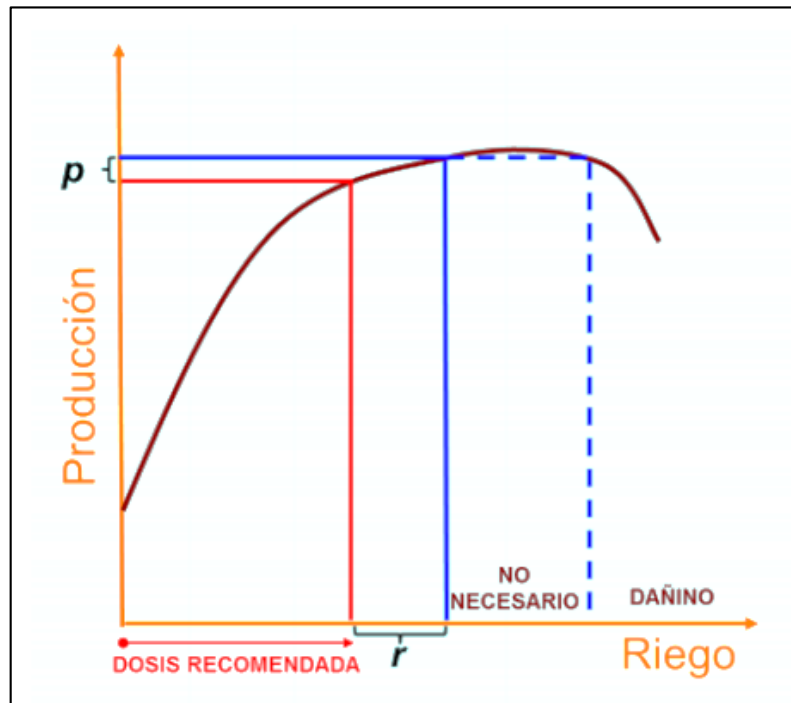


Figura 24: Repuesta de la producción de un cultivo al riego (función producción)

FUENTE: Fernández *et al.* (2015)

La función será lineal si se considera que toda el agua aplicada se usa durante la evapotranspiración, sin embargo, estudios realizados anteriormente, indican que el de mejor ajuste para las relaciones rendimiento/agua aplicada es el polinomio de segundo orden (González-Robaina *et al.*, 2015; Romero, 2022).

2.8. USO EFICIENTE DEL AGUA

Kijne *et al.* (2003), citados por Ortiz y Larios (2020) definen “la productividad del agua como una medida que determina la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir agua en alimento, es decir, cuánto producto se generó respecto al volumen de agua asignado”. De esta forma se pueden tomar decisiones sobre la eficiencia de la cantidad de agua utilizada

para el riego de distintos cultivos, dependiendo de distintas variables; que pueden ser climáticas y geográficas sumados otros factores como el tipo de riego, condiciones de suelo y más. Este parámetro toma mayor importancia debido a la necesidad de incrementar el rendimiento de producción con un mejor uso de recurso hídrico (Ortiz y Larios, 2020).

González *et al.* (2011) plantean la ecuación para el cálculo de la productividad del agua

$$WP = \frac{R}{I}$$

Donde:

WP= productividad del agua aplicada por riego (kg m⁻³)

R= rendimiento (kg ha⁻¹)

I= lámina de agua aplicada (m³ ha⁻¹)

2.9. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico-financiero también conocido como análisis contable, es un conjunto de técnicas para diagnosticar la situación de la empresa, detectar reservas y tomar la mejor decisión.

El punto de equilibrio es un término utilizado en económica, para definir como aquel punto de actividad en el cual las ventas (ingresos totales) son exactamente equivalentes a los costos totales. En otras palabras, es aquel punto de actividad en cual no existe utilidad, ni pérdida positiva (Valladares, 2018).

Para determinar su valor, es necesario conocer ciertos valores:

- Costos fijos: son aquellos que permanecen estables a lo largo del tiempo, ventas o producción.
- Costo variable: es aquella que varía en función de las cantidades producidas.
- Costos totales: viene a ser la suma de ambos en función del aumento de las ventas y producción.
- Precio de venta: es el precio que tiene cada producto en el mercado.

Como se observa en la Figura 25, cuando los costos totales igualan a las ventas, se obtiene el punto de equilibrio. A partir de ese punto la utilidad (ganancias) será positiva (Valladares, 2018).

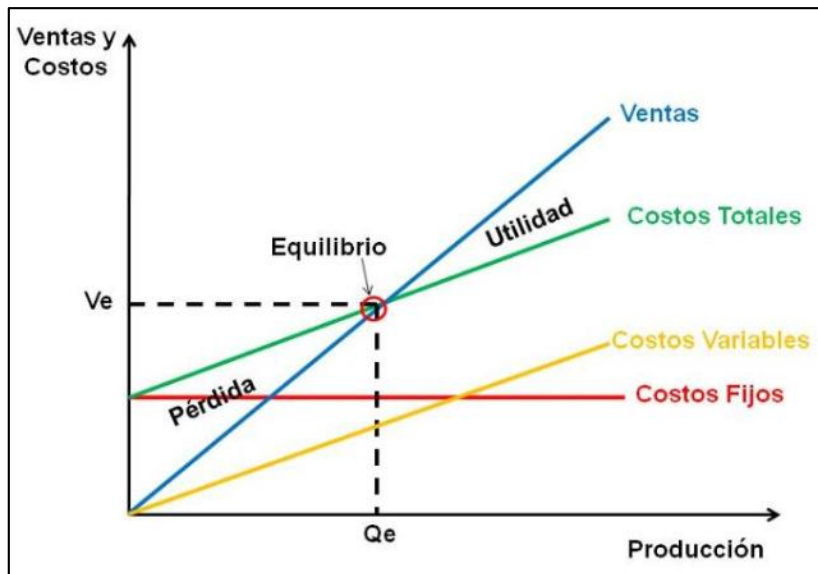


Figura 25: Gráfico del punto de equilibrio

FUENTE: Valladares *et al.* (2018)

III. METODOLOGÍA

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación del área experimental

La zona de estudio se encuentra en el centro de investigación y extensión en riego (CIER), dentro de las instalaciones de la UNALM en el distrito de La Molina, provincia de Lima, Región Lima.

Teniendo como coordenadas geográficas: S 12° 04' 59" y O 76° 57' 07" y 233 msnm de longitud, latitud y altura, respectivamente. En la Figura 26 se presenta la ubicación de la zona de estudio. El experimento se realizó durante los meses de junio a diciembre del 2022.

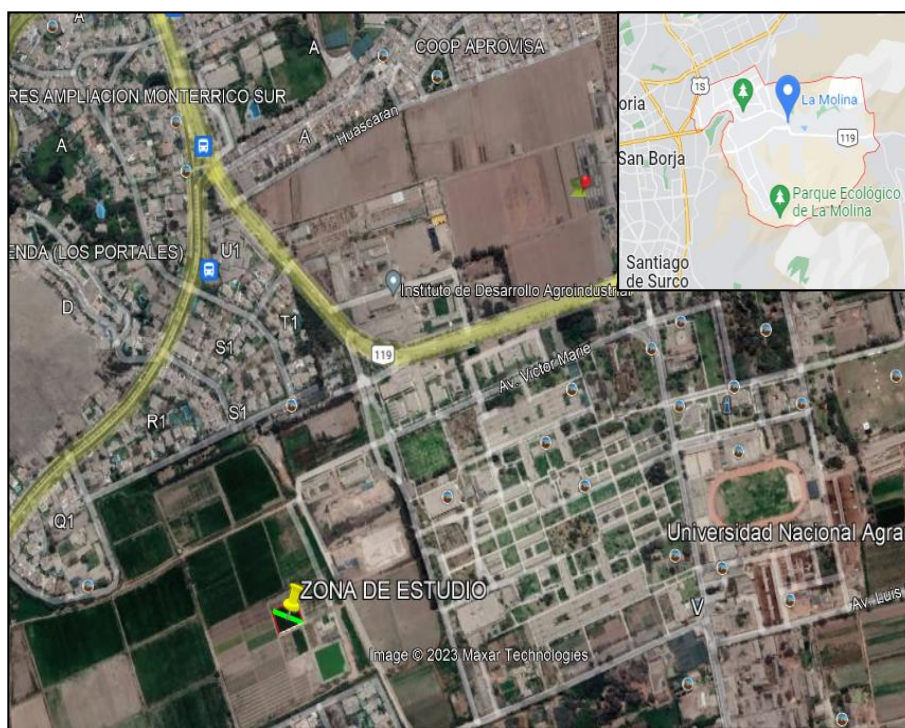


Figura 26: Ubicación del área de estudio

Nota: Tomado de Google Earth y Google maps

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La información climática de La Molina fue obtenida de la estación meteorológica Alexander Von Humboldt, ubicada en la UNALM, entre los años 2000-2010. En la Tabla 10 se presenta el resumen de los datos meteorológicos.

Tabla 10: Características climáticas en la UNALM 2000-2016

Mes	T max (°C)	T min (°C)	T prom	HR (%)	Vel. Viento (m s ⁻¹)	Horas de sol	Eto (mm día ⁻¹)
Enero	27,41	19,44	23,42	79,6	1,26	5,32	3,71
Febrero	28,92	20,33	24,63	75,85	1,26	5,95	4,09
Marzo	28,65	19,75	24,2	75,63	1,15	7,02	4,16
Abril	26,86	17,75	22,3	79,07	1,11	7,62	3,72
Mayo	23,27	15,5	19,39	83,24	0,92	5,62	2,65
Junio	19,89	14,2	17,05	87,63	0,77	2,66	1,79
Julio	18,91	14,16	16,53	88,7	0,85	2,04	1,69
Agosto	18,31	13,92	16,11	88,53	0,88	2,4	1,89
Setiembre	19,98	13,95	16,96	88,07	0,99	3,23	2,33
Octubre	21,18	14,52	17,85	86,09	1,08	4,37	2,85
Noviembre	22,69	15,67	19,18	84,25	1,1	5,01	3,16
Diciembre	25,06	17,41	21,23	82,74	1,14	4,89	3,32
Promedio	23,43	16,38	19,9	83,28	1,04	4,68	2,95

Nota. Resumen registro climatológico de La Molina (Cifuentes, 2016).

El promedio de la temperatura mínima es de 16,4 °C y una temperatura máxima de 23,4 °C. La humedad relativa promedio fue de 83.28%. La velocidad del viento promedio fue de 1,04 m.s⁻¹, mientras que las horas de sol en promedio es de 4,68. Finalmente, el promedio anual de evapotranspiración de referencia es de 2,95 mm día⁻¹.

3.3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

La fuente de agua proviene del río Rímac y es almacenada en el reservorio del área experimental agrícola del CIER.

El agua extraída se analizó mediante un PHmetro y un conductímetro, el resultado obtenido se presenta en la Tabla 11. El pH obtenido fue de 9,5, clasificándose como muy alcalino. La conductividad eléctrica es de 0,895 dS m⁻¹, el agua para riego se clasifica como C2, es decir presenta una salinidad moderada, esto indica que es un agua de calidad para los cultivos tolerantes a sales.

Tabla 11: Características físico – químicas del agua

Parámetro	Valor	Unidad
pH	9,5	...
Conductividad Eléctrica	0,895	d S cm ⁻¹
Temperatura	20,9	°C

3.4. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Para obtener las características físicas - químicas del suelo, se tomaron muestras en distintas partes del área de estudio, para ser analizadas en el Laboratorios de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina. El pH es de 7,74, por lo que se considera suelo ligeramente alcalino. La conductividad eléctrica fue de 3,46 dS m⁻¹, lo cual indica que se trata de un suelo ligeramente salino. El porcentaje de materia orgánica que presenta el suelo es de 1,03% clasificándose como bajo y por ende es un suelo pobre en concentración de nitrógeno. El contenido de materia calcáreo (CaCO₃) se considera en el intervalo medio. Como resultado final el suelo es de textura franco arenoso. En la Tabla 12 se puede observar los resultados, el formato original se está incluyendo en el Anexo 1.

Tabla 12: Características físico- químicas del suelo

Numero de muestra		CE dS m ⁻¹	pH	MO	P	K	CaCO ₃
Lab.	Campo	Relación 1:1	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%
18924	Suelo	3,46	7,74	1,03	22,39	266	3,01

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS

Se usó como material vegetal el maíz morado PMV-581, esta semilla procede del programa de investigación en cereales y granos nativos – UNALM. En las Tablas 13 al 18 se muestran los equipos, materiales e insumos, que se usaron durante el periodo de la investigación.

Tabla 13: Materiales y equipo del sistema de riego

Equipos, materiales e insumos	Descripción
Reservorio	El reservorio está construido de geomembrana y tiene una capacidad de 8000 m ³
Cabezal de riego	El cabezal está compuesto por una bomba de 4Hp modelo 2CP 32/200C, que extrae el agua del reservorio, manómetros al inicio y final, válvulas check, válvulas de aire doble efecto de 2", caudalímetros, válvulas de alivio de 2", válvula de mariposa, filtrado de anillos Arkal Sencillo 6XL, un variador de frecuencia, un sistema de fertilización y un tablero eléctrico (Figura 27).
Tuberías de conducción y emisores	La tubería de conducción es de PVC de 2", que alimentan a las cintas no compensadas (Stream C. 8000, 0,3 m, 1,6 l h ⁻¹)



Figura 27: Caseta del CIER

Tabla 14: Materiales y equipos para el monitoreo de la Eto

Materiales y equipos	Cantidad
Estación meteorológica	1
Tanque evaporímetro	1
Balde de plástico 5 l	1
Sulfato de cobre (kg)	1
Malla metálica	1

Tabla 15: Materiales y equipos para el monitoreo de la humedad volumétrica

Materiales y equipos	Cantidad
Reflectometría en el dominio de frecuencia (FDR)	1

Tabla 16: Relación de insecticidas

Insumo	Cantidad
Lannasolt	4
Tifon 4E	1
Jumper (250 ml)	1
Tajante (250 ml)	1
Ranger Flash	1
BBS (1 l)	1

Tabla 17: Relación de fertilizantes

Insumo	Cantidad
Urea (kg)	61
Fosfato diamonico (kg)	44
Cloruro de potasio (kg)	27

Tabla 18: Equipo para el monitoreo del NDVI

Equipo
Dron Phantom 4 PRO

3.6. METODOLOGÍA

3.6.1. Diseño experimental y análisis estadístico

a. Diseño experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), es decir de manera aleatoria se escogió tres laterales seguidas para asignar un tratamiento, con el fin de comparar los cuatro tratamientos y evaluar sus rendimientos productivos. Se contó con 41 laterales de los cuales 36 laterales fueron seleccionados para los cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno y los cinco restantes se pusieron como neutros para diferenciar uno de otro tratamiento, como se visualiza en la Figura 28.

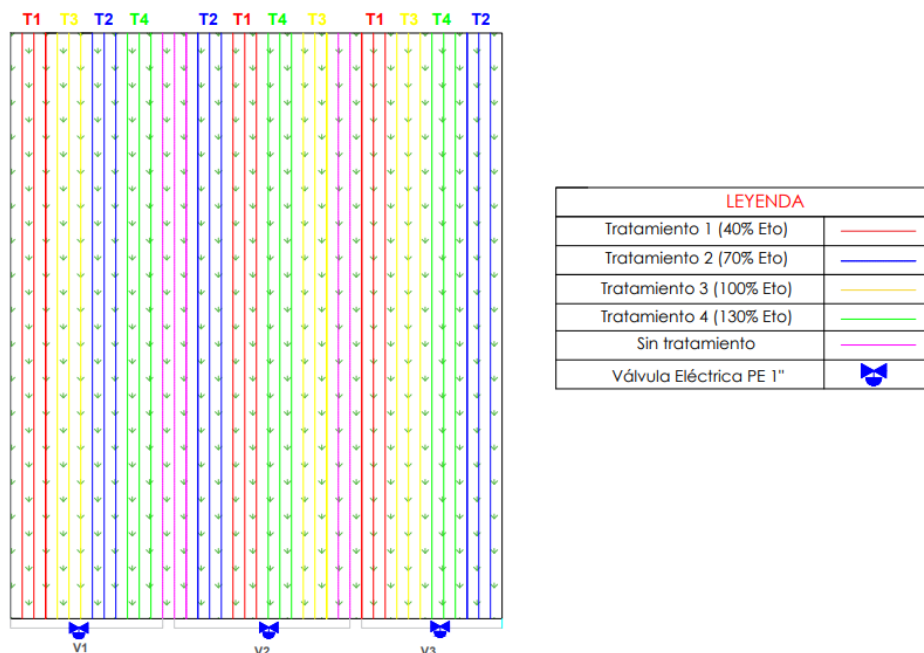


Figura 28: Tratamientos aplicando el DCA

- **Tratamientos**

Los tratamientos fueron establecidos en base al factor de riego (Fr) determinado por la evapotranspiración de referencia (Eto). Se evaluaron cuatro tratamientos por goteo, como se describe a continuación:

Tratamiento 1 (T1): reposición del 40% de la evaporación del cultivo (Eto)

Tratamiento 2 (T2): reposición del 70% de la evaporación del cultivo (Eto)

Tratamiento 3 (T3): reposición del 100% de la evaporación del cultivo (Eto)

Tratamiento 4 (T4): reposición del 130% de la evaporación del cultivo (Eto)

• **Especificaciones de la siembra**

El área de investigación tuvo 12 unidades experimentales de plantas de maíz morado, cada unidad experimental está constituida de tres laterales, formando un área 109,68 m² (Figura 29).

El periodo vegetativo fue de 180 días, el área neta fue de 1713,75 m², como se especifica en la Tabla 19.

Tabla 19: Especificaciones de la siembra

Especificaciones de la siembra	
Distancia entre plantas	0,4 m
Distancia entre surcos	0,8 m
Nº de plantas por golpe	2
Nº surcos por unidad experimental	3
Largo total de la parcela	45,7 m
Ancho total de la parcela	37,5 m
Área total de la parcela	1713,75 m ²

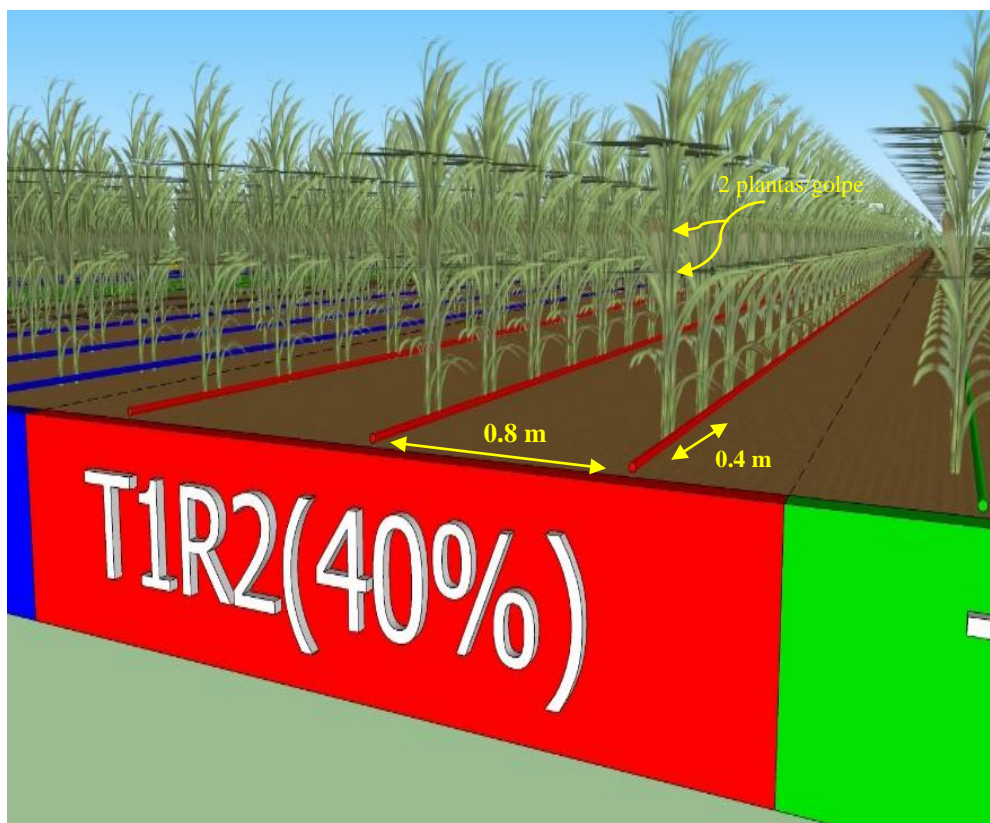


Figura 29: Representación de la unidad experimental

b. Diseño estadístico

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) y los datos registrados en cuanto a lámina de riego, longitud de mazorca, peso de mazorca, diámetro de mazorca, alturas de plantas, rendimientos, fueron analizados con el procedimiento estadístico ANOVA (*Analysis of variance*) o análisis de varianza y comparados con la prueba Tukey (nivel de significancia al 5%), mediante la versión libre del software InfoStat.

3.6.2. Labores culturales

- **Preparación del terreno**

La preparación del terreno se realizó el 20 de mayo del 2022, utilizando el arado de discos para soltar y remover el suelo, luego el surcador se utilizó para la formación de los surcos espaciados cada 0,8 m entre ellos, como se presenta en la Figura 30. Para finalmente hacer un riego pesado.



Figura 30: Preparación del terreno usando arado de discos

- **Siembra**

En la Figura 31 se muestra la siembra de la semilla PMV-581, realizado el 17 de junio del 2022. Se efectuó un riego previo con el objetivo de humedecer el suelo hasta llegar a capacidad de campo (CC), para agilizar la siembra y brindar excelentes condiciones para la germinación de las semillas. Se realizó esta actividad con la ayuda de una lampa recta para depositar tres semillas por golpe, a una profundidad de 5 cm, con un distanciamiento de 0,8 m entre surcos y 0,4 m entre golpe. Las plántulas empezaron a emerger al sexto día de la siembra.



Figura 31: Siembra de la semilla PMV-581 en la zona de estudio

- **Fertilización**

El primer abono se realizó el 1 de julio, la cual se aplicó el 100% de potasio (K) y fósforo (P), mientras que el nitrógeno (N) solo se aplicó un 50%. La diferencia se aplicó mediante fertirriego, completando los 50% de nitrógeno (urea) en doce aplicaciones (Figura 32). La dosis de fertilización empleada fue 180-100-80 (NPK).



Figura 32: Fertilización empleada

- **Desahije**

El desahije se realizó el 4 de agosto del 2022, de forma manual eliminando las plantas menos vigorosas, débiles y amarillentas, dejando dos plantas por golpe. La planta tenía de 30 a 50 cm de altura aproximadamente, como se visualiza en la Figura 33.



Figura 33: Desahije de forma manual

- **Control de malezas**

El primer deshierbo se realizó el 19 de julio, periodo crítico de competencia con el maíz, el segundo fue el 23 de agosto y el tercero el 22 de septiembre, se ejecutó de forma manual con un azadón. La presencia de maleza fue: cadillo (*Bidens pilosa* L), coquito (*Cyperus rotundus*) y otras malezas de hoja anchas que aparecieron luego de los 15 días de la siembra, como se presenta en la Figura 34.



Figura 34: Deshierbo en el maíz morado

- **Aporque**

El aporque se realizó el 10 de agosto, cuando las plantas tenían de 50-60 cm de altura, como se visualiza en la Figura 35. Se utilizó el arado de rastra y el objetivo fue darle anclaje a la planta, para mejorar la absorción de agua y nutrientes y eliminar las malezas presentes.



Figura 35: Aporque en el cultivo de maíz morado

- **Control de plagas**

La primera aplicación se realizó el 5 de julio y la segunda el 23 de agosto, debido a la presencia del gusano cogollero. La dosis utilizada para una mochila de 20 litros fue 10 ml de solt pH, 30 g de lannasolt, 15 ml de tajante 50 EC y 15 ml surfactante (ver Figura 36).



Figura 36: Aplicación de insecticidas

- **Cosecha**

La cosecha se realizó de forma manual el 20 de diciembre, cuando las plantas tuvieron más del 70% de hojas secas y el grano tenía el 35% de humedad, como se observa en la Figura 37. Luego se procedió al secado de cada una de las mazorcas durante un periodo de 15 días.



Figura 37: Cosecha del maíz morado

3.6.3. Determinación de parámetros biométricos y agronómicos durante la fase fenológica del cultivo

a. Evaluación de variables biométricos

Se reconoció el estado fenológico del maíz morado para la zona de La Molina, basándonos en evaluaciones hechas cada quince días, se tomó en cuenta el tiempo en que demoró en aparecer los diferentes órganos de la planta. Se definieron seis estados fenológicos:

- Germinación y emergencia: se reconoció la aparición de las primeras hojas.
- Floración masculina: se identificó la presencia de la panoja en la hoja superior de la planta.
- Floración femenina: se identificó la presencia de los estigmas (cabello de choclo o barba) se produce a los 8-10 días después de la aparición de la panoja.
- Maduración lechosa: los granos presentan un líquido lechoso y se forman la mazorca.
- Maduración pastosa: los granos centrales de la mazorca adquieren una consistencia pastosa y el color típico del grano maduro.
- Maduración cornea: las hojas se han vuelto amarillas o ya se han secado y los granos del maíz están duros.

b. Evaluación de variables agronómicas

• Antes de la cosecha

- Altura de planta: se midió cada semana a 10 plantas en completa competencia por tratamiento, midiéndose desde la base del tallo hasta la base de la panoja (ver Figura 38).
- Diámetro del tallo: al mismo tiempo en que se toman los datos de altura de planta, se midió el diámetro del tallo a la altura del primer entrenudo, en las mismas 10 plantas por tratamiento.
- Número de plantas: se contó el número total de plantas presentes en cada tratamiento un día antes de la cosecha.



Figura 38: Medición de altura de plantas

- **Después de la cosecha**

Peso de mazorca en cosecha (PC): se pesó todas las mazorcas cosechadas por tratamiento, que vendrá a ser el peso de campo por tratamiento.

Para estimar componentes del rendimiento

Se tomó 10 mazorcas aleatoriamente por cada tratamiento y se sometió al secado hasta que la humedad llegó a 14%. Una vez secas las mazorcas se midieron:

- **Peso de mazorcas (P10mz):** se tomó 10 mazorcas de cada tratamiento y luego se pesaron.
- **Longitud de mazorca (LM):** con una regla milimétrica se midió el largo de 10 mazorcas de extremo a extremo de cada tratamiento.
- **Diámetro de la mazorca (DM):** con una regla milimétrica se midió el ancho de 10 mazorcas, la misma que fue tomada en el tercio medio.
- **Número de hileras por mazorca (HM):** se contó en cada una de las 10 mazorcas el número de hileras en la parte media de la misma.
- **Número de granos por hilera (GH):** en cada una de las 10 mazorcas, se tomó dos hileras al azar y en ellas se contaron el número de granos por hilera, para luego obtener el promedio.

- Número de granos por mazorca (GM): se obtuvo de la multiplicación del número de hileras por el número de granos por hilera.
- Peso de grano de mazorcas (PG10mz): se desgranó las 10 mazorcas provenientes de cada tratamiento y luego se pesó los granos.
- Peso de granos (P100G): se contó aleatoriamente 100 granos sanas y se registró el peso en gramos.
- Color del pericarpio del grano (CP): en todas las mazorcas de cada tratamiento se evaluó el color del pericarpio, según la escala de colores para grano en maíz morado.
- Color de coronta (CC): en todas las mazorcas de cada tratamiento se evaluó el color de la coronta según la escala de color para coronta del maíz morado (Huanuqueño *et al.*, 2019).

c. Rendimiento del cultivo

- Rendimiento por mazorca (RM)

Con el peso de parcela registrado en campo, después de corregir por fallas y ajustado al 14% de humedad se obtuvo este dato (Huanuqueño *et al.*, 2022).

$$RM = 0.971 * PC * Fh * Ff * \frac{1000}{A}$$

Donde:

RM = rendimiento de mazorca (kg ha⁻¹)

Pc = peso total de mazorca cosechada en la parcela

0.971= factor de contorno

A = área de la parcela (m²)

Fh = factor de corrección por humedad

$$Fh = \frac{100 - \%humedad (H)}{100 - 14}$$

Ff = factor de corrección por fallas

$$Ff = \frac{H - 0.3 * F}{H - F}$$

Donde:

H = número de golpes por parcela

F= número de fallas

Para el número de fallas se consideró lo siguiente: 2 plantas por golpe (0 fallas), 1 planta por golpe (0,5 fallas) y 0 plantas por golpe (1 falla).

3.6.4. Efectos de la aplicación de cuatro láminas de riego en el rendimiento y función producción

a. Manejo del sistema de riego

Para iniciar con los tratamientos se tuvo que evaluar la uniformidad en la operación del sistema de riego, para ello se midió la presión con un manómetro que está instalado inmediatamente después de la bomba y al final de la tubería principal antes del porta lateral (ver Figura 39).

La finalidad fue saber con qué presión tenía que salir de la caseta para que llegue con 1 bar a los emisores, esto debido a que se utilizó cintas no compensadas Streamline X de $1,6 \text{ l h}^{-1}$ (presión de trabajo de 0,8-1,9 bar) como se muestra en la Figura 40.



Figura 39: Medición de la presión en el porta lateral



Figura 40: Presión de trabajo del sistema de riego

Para la aplicación de fertirriego se realizó prueba de inyección de la solución madre. Para ello se llenó un balde de agua (20 l) con la solución y se contabilizó en cuantos minutos la bomba succionó todo el volumen de agua, por lo que se contabilizó una aplicación de 5 l min^{-1} . Después de vaciar el tanque se apagó la bomba y se siguió regando con agua el tiempo de cinco minutos para lavar el sistema de riego (ver Figura 41).



Figura 41: Prueba de inyección del fertirriego

b. Criterios de riego

Con la información diaria de la evapotranspiración de referencia (Eto) y el factor de riego (fr) de cada tratamiento, se realizó la programación de riego, es decir, se calcularon las láminas a regar para cada tratamiento con sus tiempos de riego.

- De junio a setiembre se regó con una frecuencia de 3-4 días hasta acumular cerca de 5 mm de Eto.
- En octubre se regó con una frecuencia de 2-3 días, hasta acumular cerca 5 mm de Eto.
- En noviembre y diciembre los riegos fueron inter diarios, hasta acumular 5 mm de Eto.

Para obtener el tiempo de riego por tratamiento se hicieron los siguientes cálculos:

- Lámina aprovechable del suelo en base a parámetro hídricos (Ln)

$$Ln = (CC - PM) * \frac{Da}{Dw} * Pr * \%Agotamiento$$

- Lámina neta de riego (Lb)

$$Lb = \frac{Etc}{Ef\ riego}$$

- La lámina neta obtenida se multiplicó por un factor de riego establecido por cada tratamiento

$$Lb\ (tratamiento) = Lb * fr$$

- Tiempo de riego se obtiene de la división de la lámina neta entre la precipitación del sistema.

$$TiempoRiego = \frac{Lb}{PPgotero}$$

c. Evapotranspiración de la zona

Se obtuvo datos de evapotranspiración mediante la estación meteorológica Davis Pro Vantage ubicado en la maestría de Recursos Hídricos -UNALM y el tanque evaporímetro, ubicado en la misma zona de estudio como se muestra en la Figura 42.



Figura 42: Representación de la unidad experimental por tratamiento

d. Coeficiente de uniformidad

Se determinó el coeficiente de uniformidad (CU) mediante el método estándar propuesto por Jack Keller. La evaluación se realizó tres veces durante el ciclo vegetativo.

e. Función de producción del agua

Se evaluaron los rendimientos según los volúmenes de agua aplicados. Con esta información se obtuvo la función producción (kg ha^{-1}) y el uso eficiente del agua (kg m^{-3}).

3.6.5. Relación entre el NDVI, humedad del suelo y calidad del producto

a. Calibración de la curva de humedad

La humedad volumétrica del suelo se obtuvo mediante los sensores Decagon GS3 que estuvo instalado en las unidades experimentales T1R2, T2R2, T3R2 y T4R2. Se recopiló información del datalogger EM-50, este instrumento almacenó información leída por los sensores GS3 cada 15 minutos y se descargó a través del software ECH20 Utility. Este sensor se calibró en los campos del Centro de Investigación y Extensión en Riego (CIER), para ello se sacó muestras en diez puntos para obtener la humedad gravimétrica y a la vez la lectura por el FDR de dichos puntos, como se muestra en la Figura 43.



Figura 43: Calibración del FDR

b. Obtención del NDVI

Se monitoreó el estado del cultivo mediante los indicadores del NDVI, para obtener este índice se realizaron vuelos con el dron Phantom 4 Pro, cada 15-20 días, luego se procesó la información en gabinete con el Software Pix4D para finalmente trabajarlos en ArcGIS. El dron se calibró haciendo giros horizontales y verticales según indica el software DJI y se esperó a que tenga como mínimo ocho satélites, para finalmente establecer la altura y la ruta del vuelo.

c. Calidad

La calidad del maíz morado se vio reflejado en el contenido de antocianina, la cual se obtuvo de las tusas de las mazorcas evaluadas anteriormente y se enviaron 300 g de muestra por tratamiento a La Molina Calidad Total Laboratorios.

3.6.6. Estrategias para implementar una mejor planificación en función de la disponibilidad

Los rendimientos obtenidos de cada tratamiento fueron sometidos a un análisis económico, para determinar la rentabilidad o simplemente determinar el tratamiento con mayor retorno económico y la mejor opción para producir maíz morado según la disponibilidad hídrica de la zona (Aleman, 2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS BIOMÉTRICOS Y AGRONÓMICOS

4.1.1. Parámetros biométricos

El estado de desarrollo vegetativo se inició con la germinación y emergencia del maíz morado, posteriormente se dio el desarrollo de las hojas, hasta llegar a la floración masculina. En esta etapa el crecimiento de la planta fue lento durante las primeras semanas, luego aceleró su crecimiento a partir del estado V9 (20 de agosto del 2022) y finalmente disminuyó en el estado V15 (21 de setiembre del 2022), como se muestra en la Figura 44.

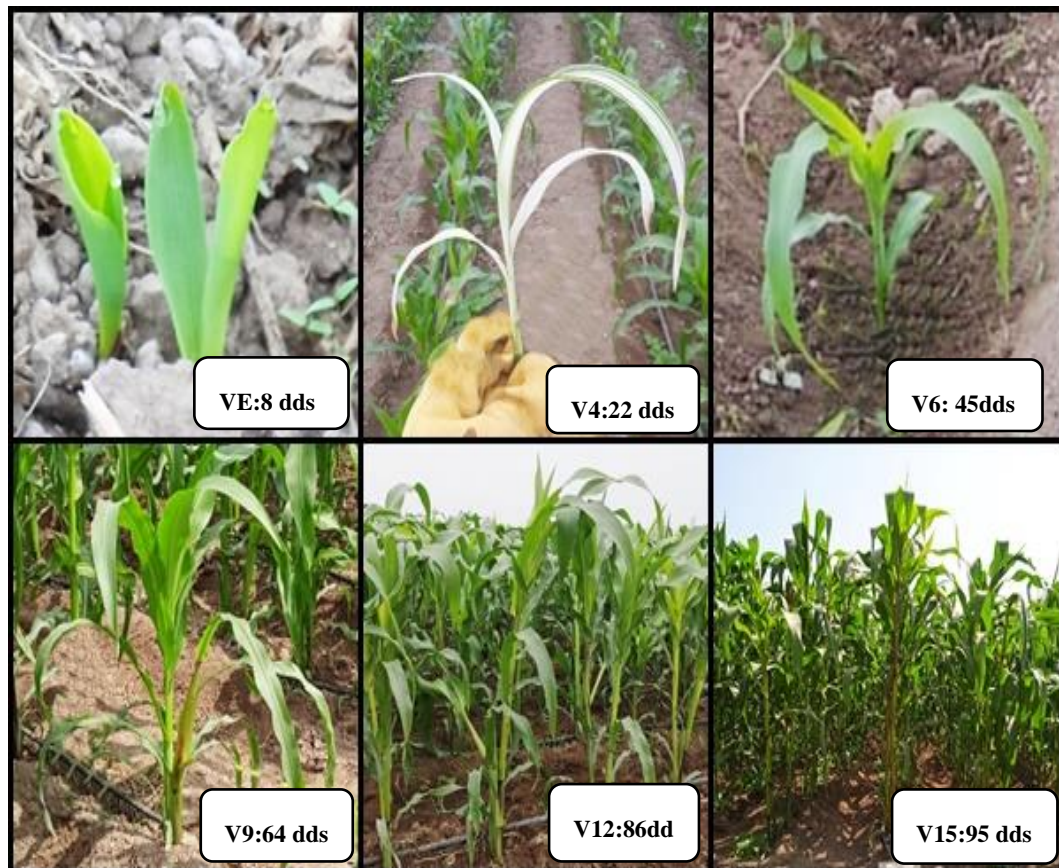


Figura 44: Estado vegetativo del maíz morado

La etapa de transición (VT) se inició a los 99 días después de la siembra (dds), cuando la rama final de floración masculina se hizo completamente visible. La VT comenzó aproximadamente 3-4 días después de la emergencia de la floración femenina. En esta etapa la planta alcanzó la altura máxima de 247,4 cm en promedio (ver Figura 45).



Figura 45: Crecimiento de la panoja en la etapa VT

El estado de desarrollo productivo (Figura 46), comenzó con la floración femenina (R1), a los 106 dds (1 de octubre del 2022), con la aparición de los estigmas manteniéndose por uno 7-8 días hasta obtener su máximo tamaño; a los 119 dds se dio el R2, dando inicio al almacenamiento de almidón en el endospermo; el R3 inició a los 25 días promedios después de la floración femenina (131 dds) presenciando la consistencia lechosa de los granos; después se dio el estado R4 (138 dds) donde se observó el grano en estado pastoso; el R5 (154 dds) en esta etapa la consistencia de los granos son sólidos y las puntas de los granos están duras con una apariencia a dientes. Finalmente se dio la madurez fisiológica, R6 a los 186 dds (20 de diciembre del 2022), donde los granos presentaron una capa negra y una consistencia dura con un color morado intenso.



Figura 46: Estado de desarrollo reproductivo

4.1.2. Parámetros agronómicos

- Altura de planta

En la Tabla 20 y Figura 47 se observan los resultados de alturas de plantas.

Tabla 20: Alturas de plantas del maíz morado

DDS	T1 (40%)	T2 (70%)	T3 (100%)	T4 (130%)
15	11,17	10,51	11,47	10,85
29	21,43	21,77	25,47	21,87
33	28,1	28,83	30,17	28,73
43	40,27	44,4	46,3	44,33
57	70,1	75,8	79,1	75,3
65	98,5	98,8	99,6	99,5
72	136,67	138,67	150,33	144,33
78	170,05	170,32	175,23	175,83
84	190,4	195,5	203,72	197,55
92	205,73	218,9	240,5	238,1
103	227,4	237,9	263,6	260,7

Nota: DDS (días después de la siembra)

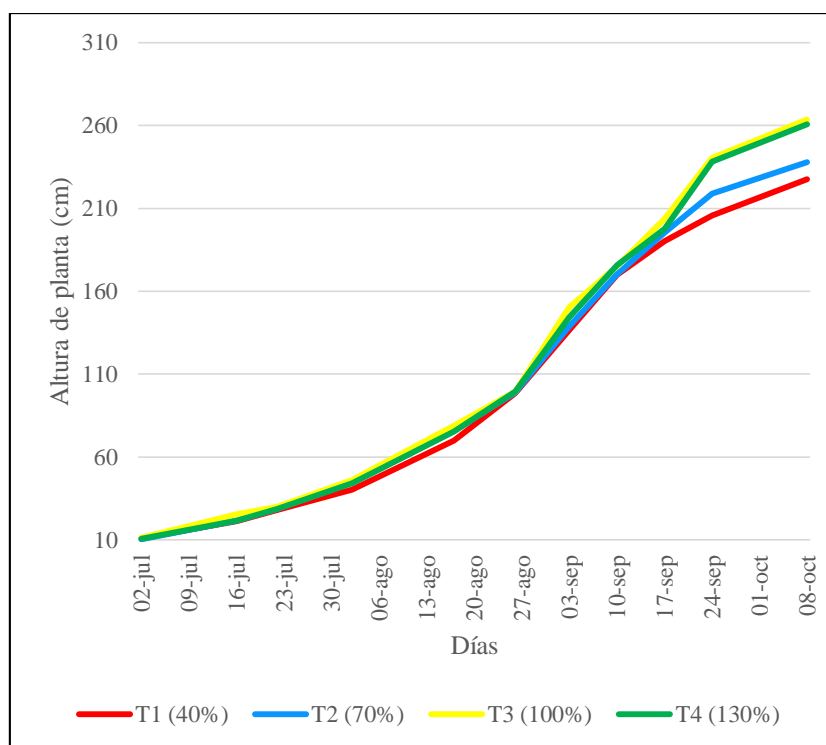


Figura 47: Altura de planta del maíz morado

Al final del ciclo vegetativo, la menor altura lo obtuvo el tratamiento T1 con 227,4 cm y la mayor altura fue del T4 (130%) con 260,7 cm. El análisis de varianza se muestra que p-valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias en las alturas de las plantas en los tratamientos (ver Anexo 2).

Según Evaristo (2019), el promedio de altura de planta con la aplicación de la dosis de Mixhor-Plus para la variedad PMV-581 fue de 239 cm. Al respecto, Espinoza (2003), encontró significación estadística solo para la variable altura de planta, presentándose el mayor valor (225 cm) para el tratamiento con un nivel de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Por otro lado, Cabrera (2016) indicó que las variedades de maíz morado PMV-581, INIA-615 negro canaan y INIA 601 Cajamarca, son similares estadísticamente, presentando una altura de 265,35cm para la primera variedad.

- **Longitud de mazorca**

En la Tabla 21 y Figura 48 se muestran el comportamiento de la variable longitud de mazorca.

Tabla 21: Longitud de mazorca del maíz morado

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Longitud mazorca (cm)	15,18	15,62	16,95	17,37

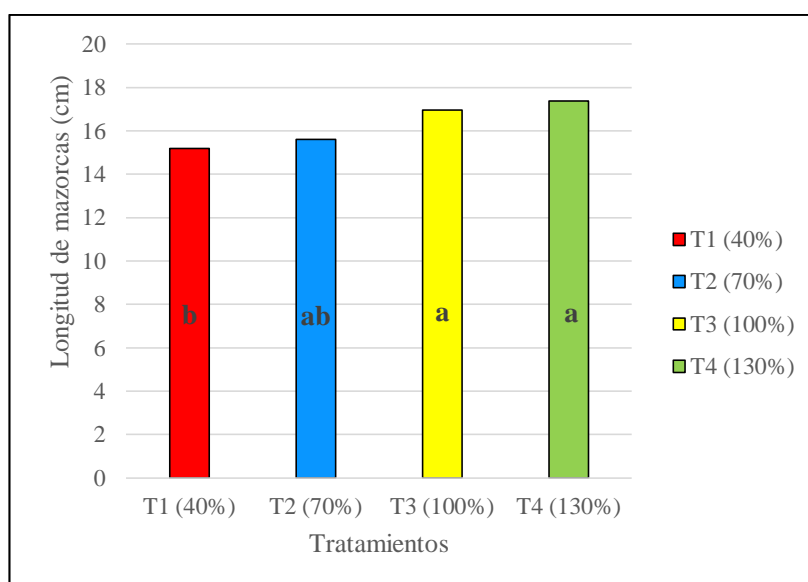


Figura 48: Longitud de mazorca del maíz morado

El valor más alto de longitud de mazorca fue en el T4 (130%) con 17,37 cm, seguido del T3 (100%) con 16,95 cm, en tercer lugar, el T2 (70%) con 15,62 cm y finalmente el T1 (40%) obtuvo 15,18 cm. Sevilla y Valdez (1985), señalan que el maíz morado mejorado PMV-581 tiene una longitud de mazorca de 14,5 cm. Según el análisis de varianza, los promedios de T4 (130%) y T3 (100%) no presentan diferencias estadísticas entre sí, en la longitud de mazorca (cm) y son estadísticamente similares a T2 (70%), a su vez son estadísticamente superior a T1 (40%) (ver Anexo 3).

Evaristo (2019), al evaluar el efecto del bioestimulante Mix Plus en el maíz morado tuvo como respuesta una longitud de 15,88 cm para el T4 (dosis de bioestimulante Mix Plus al 2⁰/₀₀) Pinedo (2015), no encontró diferencias significativas en la longitud mazorca aplicando niveles de fertilización en dos variedades (INIA-615 y PMV-518), obteniendo una longitud promedio de 13,25 cm.

- **Diámetro de mazorca**

En la Tabla 22 y Figura 49 se muestran los resultados de diámetro de mazorca.

Tabla 22: Promedio de los diámetros de mazorca

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Diámetro mazorca (mm)	43,23	44,98	45,39	46,03

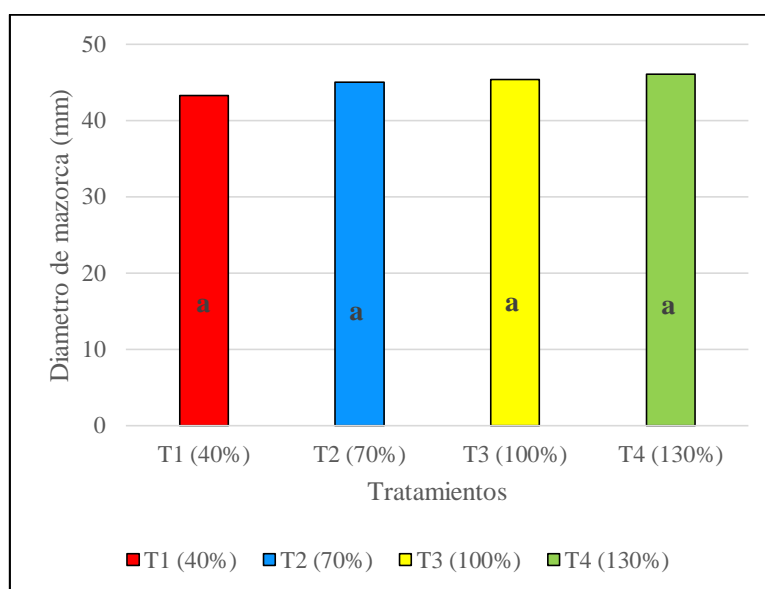


Figura 49: Promedio de los diámetros de mazorca por tratamiento

El valor más alto se obtuvo del T4 (130%) con 46,03 mm mientras que el más bajo fue del T1(49%) con 43,23 mm. El promedio general de las mazorcas fue de 44,91 mm. El análisis de varianza muestra que p-valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias significativas en los diámetros de mazorcas de los tratamientos (ver Anexo 4). Rojas (2018) encontró diferencias significativas entre los promedios de diámetro de mazorca entre el tratamiento Canteño con 37,9 mm y destacó estadísticamente a la variedad PMV-582 que solo obtuvo 36,0 mm.

Cabrera (2016) presentó resultados de diámetro de mazorca por efecto de la lámina de riego en cuatro variedades de maíz morado, mediante a la prueba de Duncan señala que las medias son similares estadísticamente para los dos factores L3 (260mm) y L1(420mm) con un valor de 52 mm mientras L2 (340mm) presenta un valor de 51,2 mm en la Unidad de Investigación en Riegos – UNALM.

- **Peso de granos**

En la Tabla 23 y Figura 50 se muestran el comportamiento de la variable peso de 100 granos.

Tabla 23: Promedio del peso de 100 granos

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Peso de 100 granos (g)	52,68	56,67	62,80	60,76

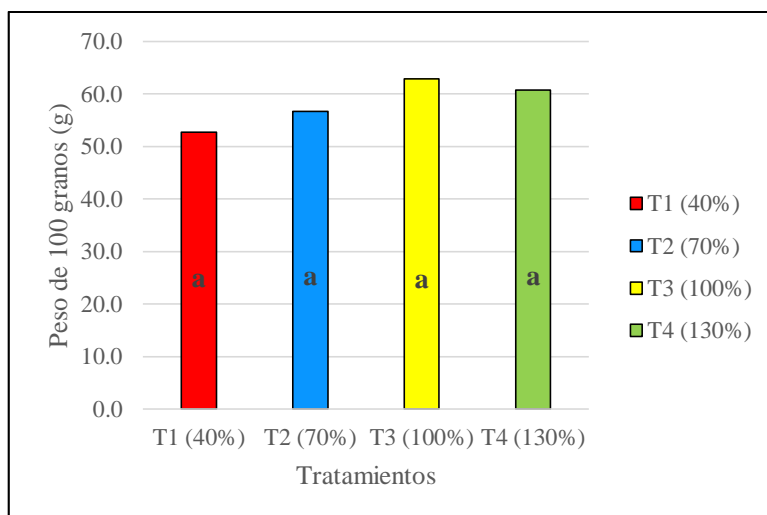


Figura 50: Promedio del peso de 100 granos

El valor más alto en peso de 100 granos fue del T3 (100%) con 62,80 g, mientras que el T1(40%) obtuvo 52,68 g. El promedio general de las mazorcas fue de 58,23 g. El análisis estadístico del peso de 100 granos, se muestra que p-valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias en peso de 100 granos en los tratamientos (ver Anexo 5).

Cabrera (2016) sostiene que el peso de 100 semillas, estadísticamente es similar para la aplicación de tres láminas de riego, el menor valor es de 40,75 g del tratamiento L1 (420 mm) mientras que el mayor valor lo obtuvo el L3 (260 mm) con 41,61 g. Duran (2019) al estudiar el efecto de abonos orgánicos en el rendimiento de maíz morado, alcanzó el mayor valor promedio del peso de 100 granos con el T4 (gallinazo + compost) con 65 g y el menor valor con el T1 (testigo) con 42 g.

- **Número de hileras**

En la Tabla 24 y Figura 51 se muestran los resultados de la variable número de hileras

Tabla 24: Promedio de número de hileras por mazorca

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Hileras/mazorca	10,60	10,67	10,20	10,93

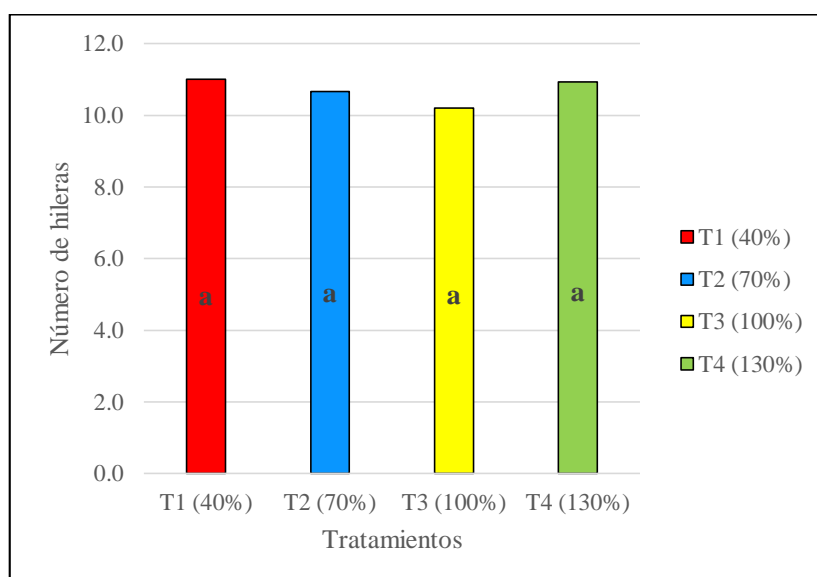


Figura 51: Promedio de número de hileras por mazorca

El valor más alto de longitud de mazorca fue del T4 con 10,93 hileras, mientras que el T3 obtuvo 10,20. El promedio general de las mazorcas fue de 10,60 hileras. Según el análisis de varianza, se muestra que p-valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias significativas en número de hileras (ver Anexo 6).

Rojas (2018) no detectó diferencias estadísticas entre los promedios de número de hileras, por ende, el tratamiento PMV-582 tuvo 11,59 hileras mientras que la variedad Canteño obtuvo un valor de 11,75 hileras.

- **Número de granos por hilera**

En la Tabla 25 y Figura 52 se muestran los resultados de la variable número de granos por hilera para cada tratamiento.

Tabla 25: Número de granos por hilera

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Grano/hilera	24,90	24,60	25,90	26,17

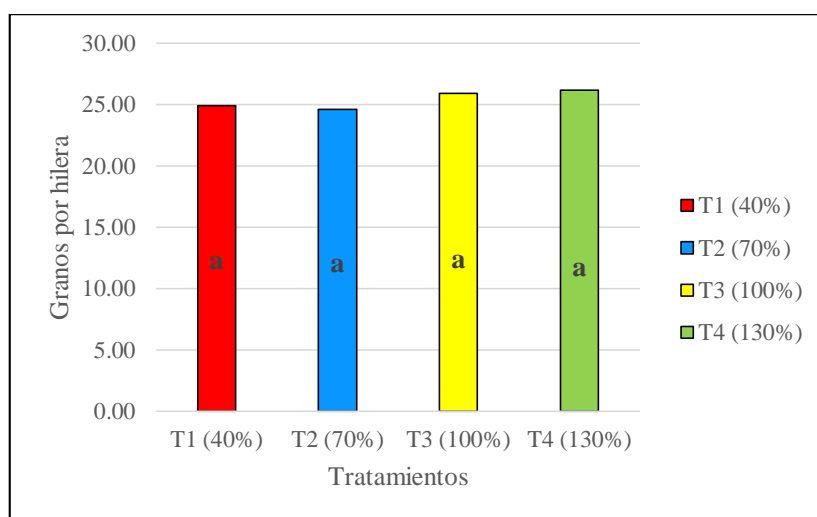


Figura 52: Promedio de granos por hilera

El valor más alto de número de grano por hilera fue del T4 (130%) con 26,17 granos por hilera, mientras que el T2 (70%) obtuvo 24,60. El promedio general de los granos por hilera fue de 25,39.

El análisis de varianza muestra que p-valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias significativas en granos por hilera (ver Anexo 7)

Pinedo *et al.* (2017), no encontró diferencias significativas entre bloques, fertilizantes, variedades y su interacción variedad en niveles de fertilización. El promedio de numero de grano por hilera fue de 21,49 con un coeficiente de variabilidad de 11,95 por ciento.

Cruzado (2008), al estudiar el efecto de la fertilización fosfo-potasica en el maíz morado, para la variedad PMV-581 no encontró diferencias estadísticas significativas entre sus tratamientos, por lo que reportó un promedio de 27,80 granos por hileras con un 5,9% de coeficiente de variabilidad.

4.2. RENDIMIENTO Y FUNCIÓN PRODUCCIÓN

4.2.1. Variables climáticas

En la Tabla 26 se presenta el resumen de los datos climáticos obtenidos de la estación Davis. La temperatura máxima 27,5°C para el mes de diciembre y una temperatura mínima de 11,9 °C para el mes de junio. La humedad relativa se mantuvo por encima del 79%. La velocidad de viento de 1,08 m s⁻¹. La radiación solar promedio fue de 107,02 W m⁻².

Tabla 26: Datos climáticos de junio-diciembre del 2022

Mes-Año	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)	Velocidad viento (m s ⁻¹)	Radiación solar (W m ⁻²)
	Prom	Mín	Máx			
Jun-22	16,2	11,9	22,3	81,7	0,98	87,14
Jul - 22	15,2	13,4	21,3	84,5	1,02	64,99
Ago - 22	15,0	13	20,7	85,2	1,11	82,26
Set - 22	15,3	13,1	20,6	83,6	1,15	102,40
Oct - 22	15,9	13,3	21,8	81,9	1,14	133,54
Nov - 22	18,5	14,6	25,5	79,3	1,07	133,01
Dic - 22	21,5	16,9	27,4	79,35	1,10	145,84

Los datos de evaporación obtenidos del tanque clase A, al ser comparados con la estación automática se puede observar cierto desfase, el cual responde a la sensibilidad del instrumento, en el caso de la estación. El error promedio ponderado (RMSE) entre la estación de Recursos Hídricos (RRHH) y tanque evaporimetro es de 1,05

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_P - X_V)^2} = \sqrt{\frac{85,5}{68}} = 1,05$$

En la Figura 53 se muestra las curvas de evapotranspiración obtenidas de la estación Davis y Tanque A.

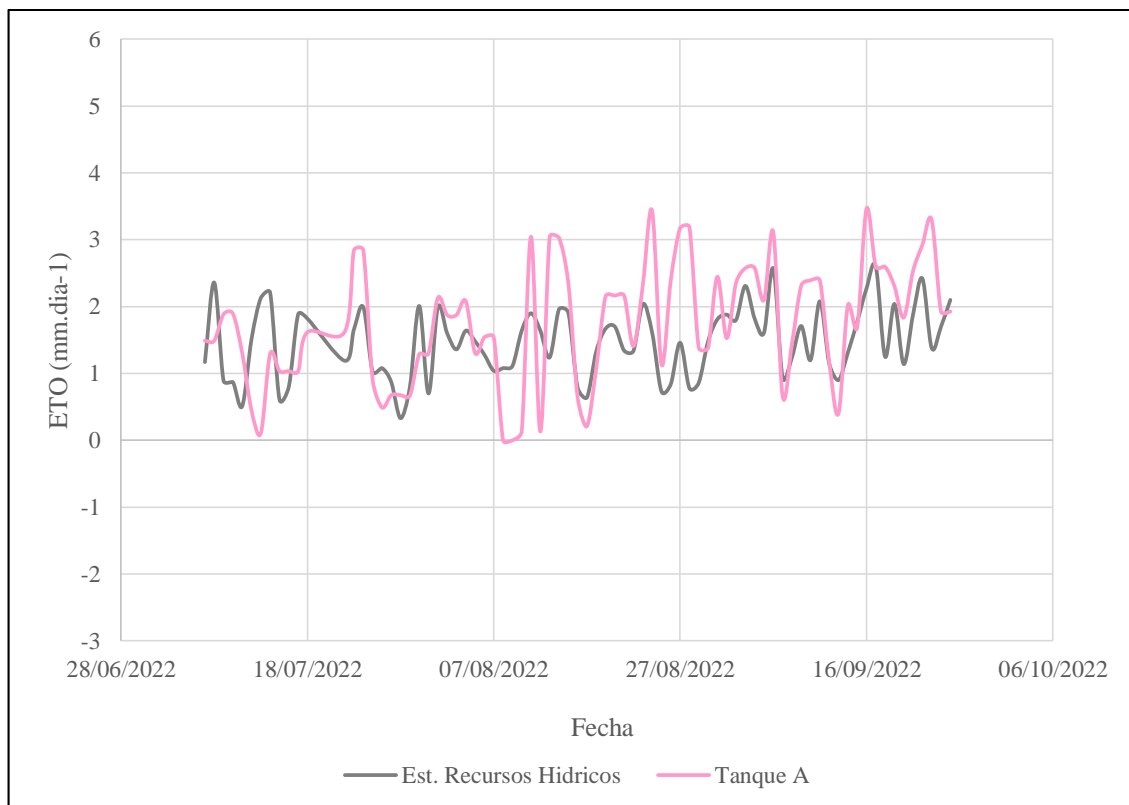


Figura 53: Evapotranspiración de la estación vs Tanque A

En la Tabla 27 se muestran los valores de evapotranspiración de referencia promedio y acumulado mensual.

Tabla 27: Promedio acumulado mensual de la evaporación

	Evapotranspiración de referencia						
	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
Eto promedio (mm)	1,64	1,22	1,38	1,77	2,28	2,47	2,89
Eto acumulado mensual (mm)	48,28	37,41	43,29	52,99	71,16	74,21	89,00

4.2.2. Láminas aplicadas de riego para los diferentes tratamientos por goteo

Las láminas de riego se determinaron en función a la estación Davis. La Eto que se obtuvo se multiplicó por los factores de riego de 0,4, 0,7, 1 y 1,3. Cada valor proporciona una lámina de riego, llamado tratamiento.

En la Tabla 28 y Figura 54, se presentan los valores de las láminas de riego aplicadas a cada tratamiento durante la investigación. Desde el 17 de junio hasta el 26 de agosto las láminas permanecieron iguales para los cuatro tratamientos debido a que aún no se aplicaba la diferenciación hídrica, acumulando una lámina de 126,73 mm cada tratamiento.

Durante los meses de agosto y setiembre las láminas de riego se acumularon con una frecuencia de 3 a 4 días debido a los bajos valores registrados (consecuencia del fenómeno de La Niña (SENAMHI)). En los meses de octubre los riegos fueron de 2 a 3 veces por semana hasta acumular una lámina de 5 mm. Finalmente en noviembre y diciembre se regó interdiario debido a que los valores de evapotranspiración fueron altos llegando a un promedio de 2,89 mm día⁻¹.

Al finalizar la campaña se determinó que el T1 (40%) recibió una lámina de riego de 2127,8 m³ ha⁻¹, el T2 (70%) 2805,4 m³ ha⁻¹, T3 (100%) 3483,01 m³ ha⁻¹ y T4 (130%) 4160,62 m³ ha⁻¹.

Tabla 28: Láminas acumuladas durante la campaña

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T43	T4
Lamina acumulada (m³ ha⁻¹)	2127,79	2805,40	3483,01	4160,62

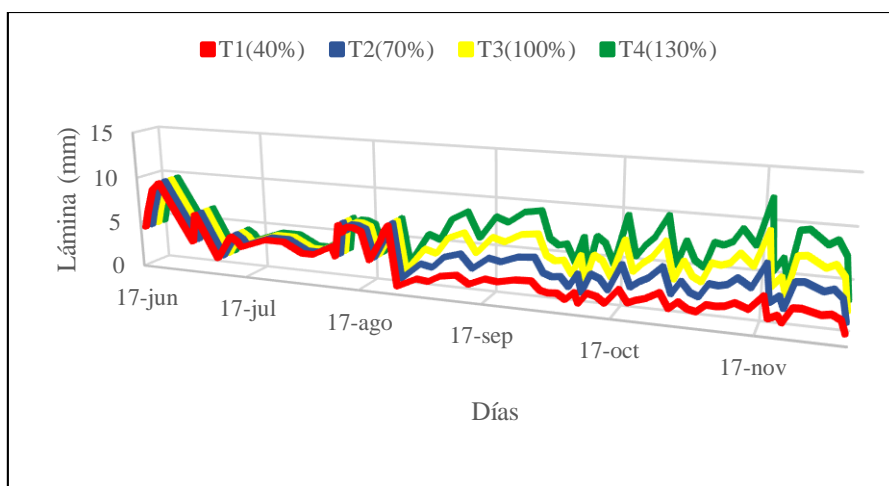


Figura 54: Lámina de riego para los tratamientos T1, T2, T3 y T4

4.2.3. Rendimiento total

En la Tabla 29 y Figura 55 se presentan los rendimientos obtenidos durante la investigación.

Tabla 29: Rendimiento por tratamiento

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Rendimiento total (kg ha ⁻¹)	8089,08	8279,09	9032,61	10054,81

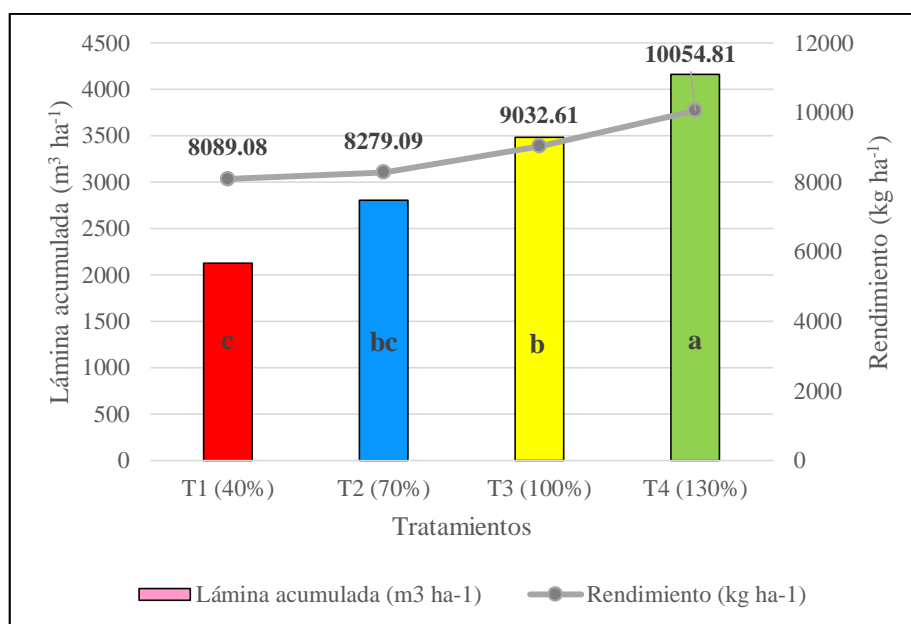


Figura 55: Rendimiento del maíz morado versus lámina acumulada de riego

El menor rendimiento, se obtuvo en el tratamiento T1 con 8089,08 kg ha⁻¹, seguido del T2 con 8279,09 kg. ha⁻¹ luego el T3 con 9032,61 kg ha⁻¹ y el mayor fue el T4 con 10054,81 kg ha⁻¹, con una lámina aplicada de 4160,62 m³ ha⁻¹ el cual es superior a los reportados por Marquina (2017) que obtuvo un rendimiento de 5800 kg ha⁻¹.

En el análisis de varianza se observa que el tratamiento T4 (130%) supera significativamente a los otros tres tratamientos. Mientras que el T3 (100%) y T2 (70%) son estadísticamente similares y superiores al T1 (40%), según la prueba de Tukey al 5% (ver Anexo 8).

Huanuqueño (2019) realizó un estudio en el campo experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina para determinar la capacidad productiva y estimar la heterosis en 15 genotipos de maíz morado en siembra de invierno del 2018, obteniendo un máximo rendimiento de 7660 kg ha⁻¹ para la variedad PMV-581.

Alvarado (2015) alcanzó el mejor rendimiento total de 9356,1 kg ha⁻¹ con el tratamiento L1 de 4121 m³ ha⁻¹ y con nivel nutricional NPK (160-80-180), dentro de las instalaciones de la UNALM.

Evaristo (2019) utilizó bioestimulantes Mixhor-Plus obteniendo su mayor rendimiento en el tratamiento T4 con 8300,78 kg ha⁻¹, la cual utilizó el 2 0/00 del Mixhor-Plus.

4.2.4. Rendimiento comercial

El rendimiento comercial se refiere al peso por hectárea de maíz morado en estado sanitario óptimo, es decir del peso total obtenido se seleccionó y pesó las mazorcas en buen estado y las que presentaban algún defecto (Figura 57) y así se obtuvo el porcentaje comercial. En la Tabla 30 y Figura 56 se muestran los resultados.

Tabla 30: Rendimiento comercial y porcentaje del maíz morado

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Rendimiento comercial (kg ha⁻¹)	6827,18	7062,06	7795,14	8687,35
Porcentaje de peso comercial (%)	0,844	0,853	0,863	0,864

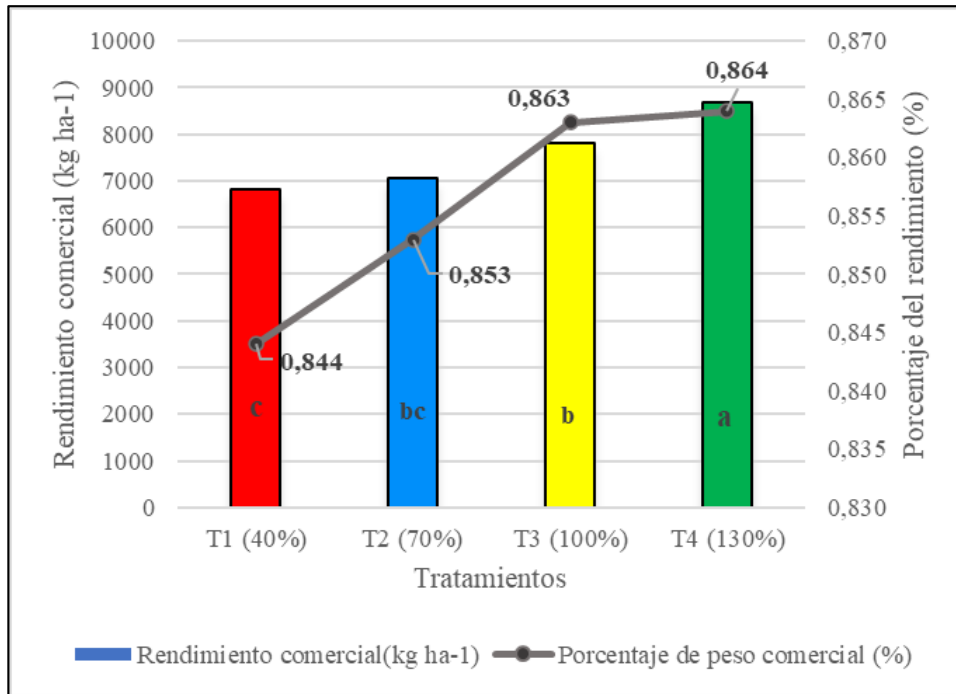


Figura 56: Rendimiento comercial y porcentaje del maíz morado



Figura 57: Daños causados en el maíz morado

Nota: A: Picadura de aves B: Hongo carbono común C: Gusano cogollero D: Déficit hídrico

El mayor porcentaje lo obtuvo el T4 con un rendimiento de 8567,40 kg ha⁻¹, lo que significó un 86,4% del total del rendimiento, mientras que el T1 obtuvieron 6875,72 kg ha⁻¹, lo que representó el 84,4%, la posible causa es que al estar en déficit hídrico las fases fenológicas

desarrollaron más rápido y el choclo maduro estuvo por más tiempo en la intemperie la cual fueron dañados por los loros, palomas y otras aves, además del gusano cogollero y hongos (carbón común).

Según la prueba de varianza se visualiza que el tratamiento T4 (130%) supera significativamente a los otros tres tratamientos. Mientras que el T3 (100%) y T2 (70%) son estadísticamente similares y superiores al T1 (40%), según la prueba de Tukey al 5% (ver Anexo 9).

Alvarado (2015) alcanzó el mejor rendimiento comercial de 8587,4 kg ha⁻¹ con el tratamiento L1 (4121 m³ ha⁻¹) y con nivel nutricional NPK+AH (160-80-180; ácido húmico), dentro de las instalaciones de la UNALM. Por su lado, Cabrera (2016) obtuvo máximos rendimientos comerciales de 9459,02 kg ha⁻¹ para el tratamiento L1 (420mm), para la variedad de PMV-581 en la unidad de investigación en riegos de la facultad de Agronomía- UNALM.

4.2.5. Función producción

Se puede apreciar que, a mayor lámina aplicada, mayores rendimientos. El tratamiento T4 que recibió una lámina acumulada de 4160,62 m³ ha⁻¹, obtuvo el mayor rendimiento de 10054,81 kg ha⁻¹; para el tratamiento T3, la lámina aplicada fue de 3483,01 m³ ha⁻¹ logrando un rendimiento de 9032,61 kg ha⁻¹, para el tratamiento T2, la lámina aplicada fue de 2805,4 m³ ha⁻¹ obteniendo un rendimiento de 8279,09 kg ha⁻¹, finalmente cuando se redujo la lámina de riego a 2127,79 m³ ha⁻¹ (T1), el rendimiento decreció a 8089,08 kg ha⁻¹, como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31: Lámina acumulada y rendimiento por tratamiento

Tratamiento	Lámina acumulada (m ³ ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
T1 (40%)	2127,79	8089,08
T2 (70%)	2805,4	8279,09
T3 (100%)	3483,01	9032,61
T4 (130%)	4160,62	10054,81

En la Figura 58 se presenta la función producción que relaciona el agua del riego aplicada, variable independiente, con el valor de rendimiento del maíz morado, variable dependiente.

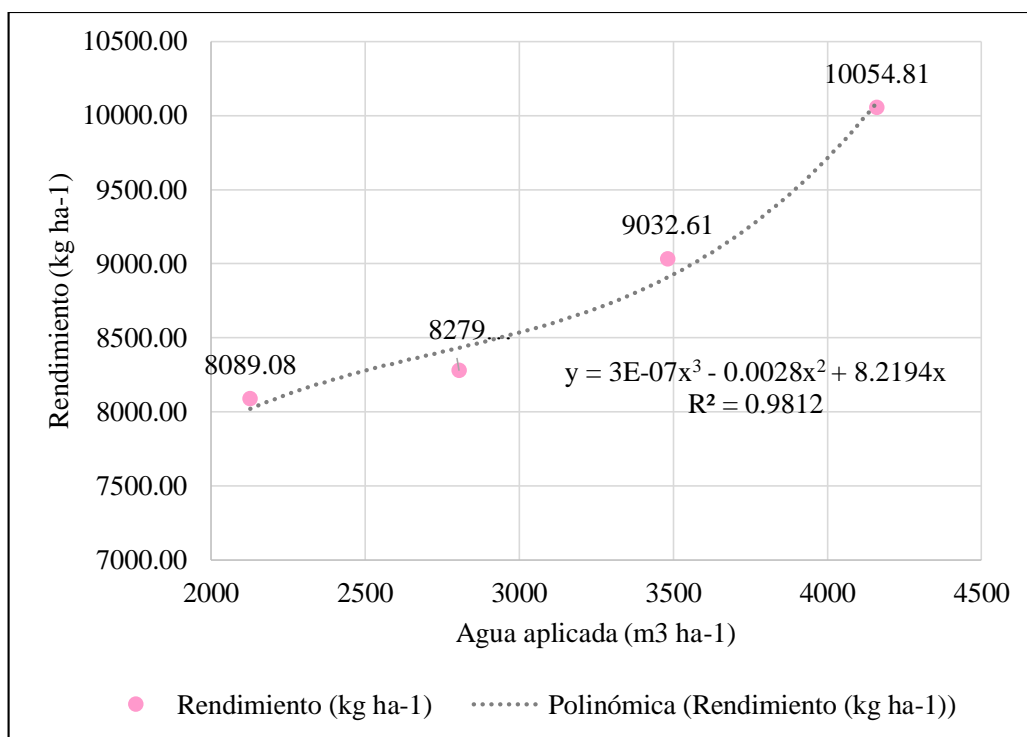


Figura 58: Función producción del maíz morado

La línea de tendencia que más se ajustó al rendimiento y láminas acumuladas fue una ecuación polinómica de tercer grado con un R^2 de 0,9814. La curva promedio es expresa con la siguiente fórmula:

$$Y = 3E-07x^3 - 0,0028x^2 + 8,2194x$$

Donde Y es la producción total y x es la lámina de agua aplicada en $m^3 ha^{-1}$. Al reemplazar el valor de x con distintos valores de volúmenes de agua se puede estimar la producción del maíz morado para una cierta cantidad de agua aplicada.

Musick y Dusek (1971), establecieron una relación sigmoideal entre el rendimiento de grano y la lámina aplicada para el maíz, en lugares áridos con alto consumo de agua. Según estos autores, que a medida se aumenta la aplicación de agua, disminuye el suplemento de cosecha por unidad de agua, hasta llegar a un punto que todo aumento de la aplicación no se traduce en suplemento de cosecha e incluso puede obtener reducciones de rendimiento que no puedan cubrir los costos adicionales de agua.

Portillo *et al.* (2015), afirman que la función cúbica permite definir si los valores de insumos variables empleados en la agricultura son excedentes, pertinentes o escasos para obtener rendimientos por hectárea. Esta función polinomial de tercer grado permite a los pequeños agricultores, de menor capacidad financiera, obtener mayores niveles de producción sin la necesidad de realizar inversiones adicionales para lograrlo (identificación de uso de insumos en su máxima eficiencia).

4.2.6. Uso eficiente del agua (UEA)

En el Tabla 32 y Figura 59 se presentan los resultados de UEA.

Tabla 32: Rendimiento y uso eficiente del agua (kg/m³)

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Lámina acumulada (m ³ ha ⁻¹)	2127,79	2805,40	3483,01	4160,62
Rendimiento total (kg ha ⁻¹)	8089,08	8279,09	9032,61	10054,81
UEA (kg m ⁻³)	3,80	2,95	2,59	2,42

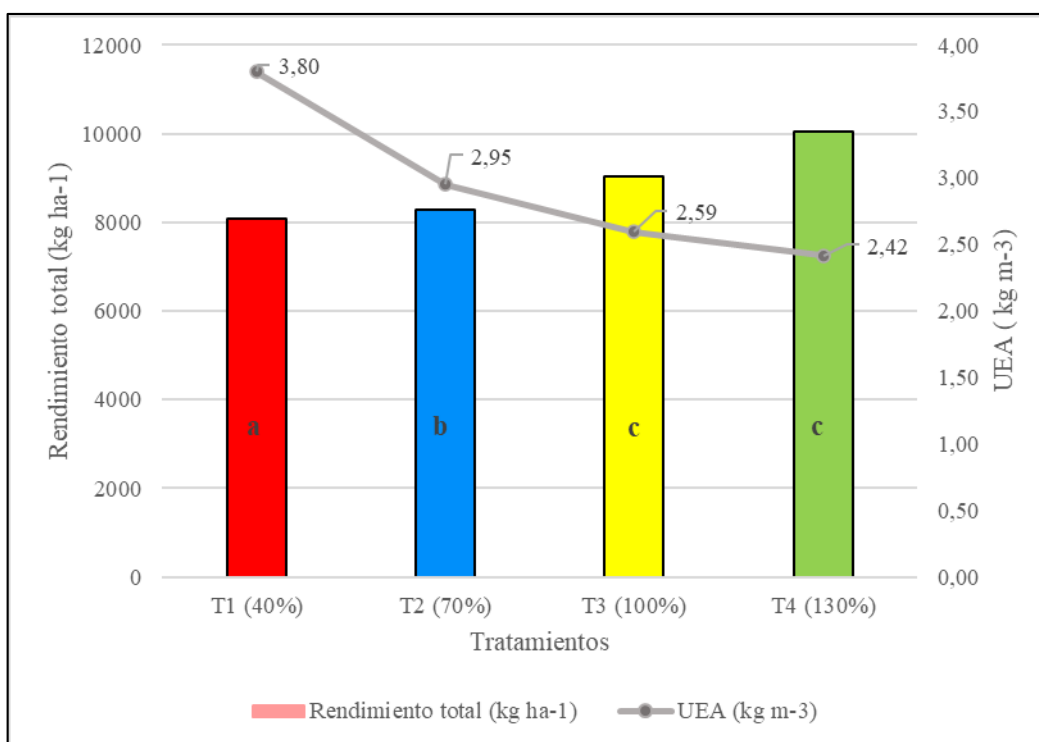


Figura 59: Uso eficiente del agua (kg m⁻³)

Se visualiza que el valor máximo de UEA es del tratamiento T1 con $3,8 \text{ kg m}^{-3}$, seguido del T2 con $2,95 \text{ kg.m}^{-3}$, luego el T3 kg.m^{-3} con $2,59 \text{ kg.m}^{-3}$, mientras que el mínimo valor lo obtienen el T4 con $2,42 \text{ kg m}^{-3}$.

En el análisis de varianza, se observa que el tratamiento T1 (40%) supera significativamente a los otros tres tratamientos, seguido del T2 (70%). Finalmente, T3 (100%) y T4 (130%) son estadísticamente similares, según la prueba de Tukey al 5% (ver Anexo 10).

Esta evaluación permite examinar y tomar decisiones respecto al uso eficiente del agua estableciendo la relación de los factores hidrológicos, económicos, climáticos y geográficos (Ortiz y Larios, 2020).

El cambio climático y las malas prácticas agrícolas han incrementado la escases del agua por lo que cada vez es más elevado el precio en la adquisición de este recurso natural, es por ello que la estrategia a seguir es maximizar la producción por unidad de agua aplicada por riego, en otras palabras, lograr el máximo uso eficiente del agua, sin tener que obtener el óptimo agronómico (rendimiento).

Alvarado (2015) alcanzó el máximo UEA para el tratamiento L1 ($4121 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) con $1,87 \text{ kg.m}^{-3}$. Por su parte, Espinoza (2003), quien estudio los efectos de la fertilización nitrogenada y la densidad de siembra en maíz morado PMV 581 bajo condiciones similares de suelo, agua y calidad ambiental, encontró un EUA promedio de $3,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Al respecto Solano (1999) investigó sobre el efecto de la fertirrigación NPK en el rendimiento de tres variedades de maíz morado, obteniendo valores de EUA de $1,17 \text{ kg m}^{-3}$ para la variedad PMV-581 de Cañete; $1,20 \text{ kg m}^{-3}$ para la variedad PMV-581 de Huánuco y $1,21 \text{ kg m}^{-3}$ para la variedad morado Canteño.

Cabrera (2016) estudió el efecto de tres láminas de riego en el rendimiento del cultivo de maíz morado, obtuvo el mejor UEA con el tratamiento L3 (260 mm) de $2,43 \text{ kg m}^{-3}$ que a la vez es 23,3% mayor que el tratamiento L1 (420 mm) la cual tuvo $1,97 \text{ kg m}^{-3}$.

4.3. RELACIÓN ENTRE EL NDVI, HUMEDAD DEL SUELO Y CALIDAD DEL PRODUCTO

4.3.1. Contenido de humedad del suelo

En la Figura 60 se presenta la curva de humedad de suelo de los tratamientos T1, T2, T3 y T4, obtenida en los meses de junio a diciembre. En los primeros meses la humedad es similar debido a que no se aplicaban los tratamientos. El 12 de agosto se hizo un riego pesado para llegar a capacidad de campo y poder iniciar con los tratamientos establecidos. La diferenciación de láminas comenzó el 26 de agosto.

Mediante la prueba de Olla de Richard se determina las humedades en base al suelo seco, obteniendo que la capacidad de campo (CC) fue de 17,06% y el punto de marchitez (PM) de 10,74%. La densidad aparente (D_a) obtenidas de las pruebas de campo a una altura de 15cm, se determinó su valor de $1,56 \text{ g cm}^{-3}$. Por lo tanto, se obtiene una humedad volumétrica a CC fue de 26,6% y el PM fue de 16,75 %. Estos valores se remplazaron en la fórmula obtenida de la calibración $Y=1,2906 x$ (Anexo 11), para obtener los valores de humedad según el sensor GS3.

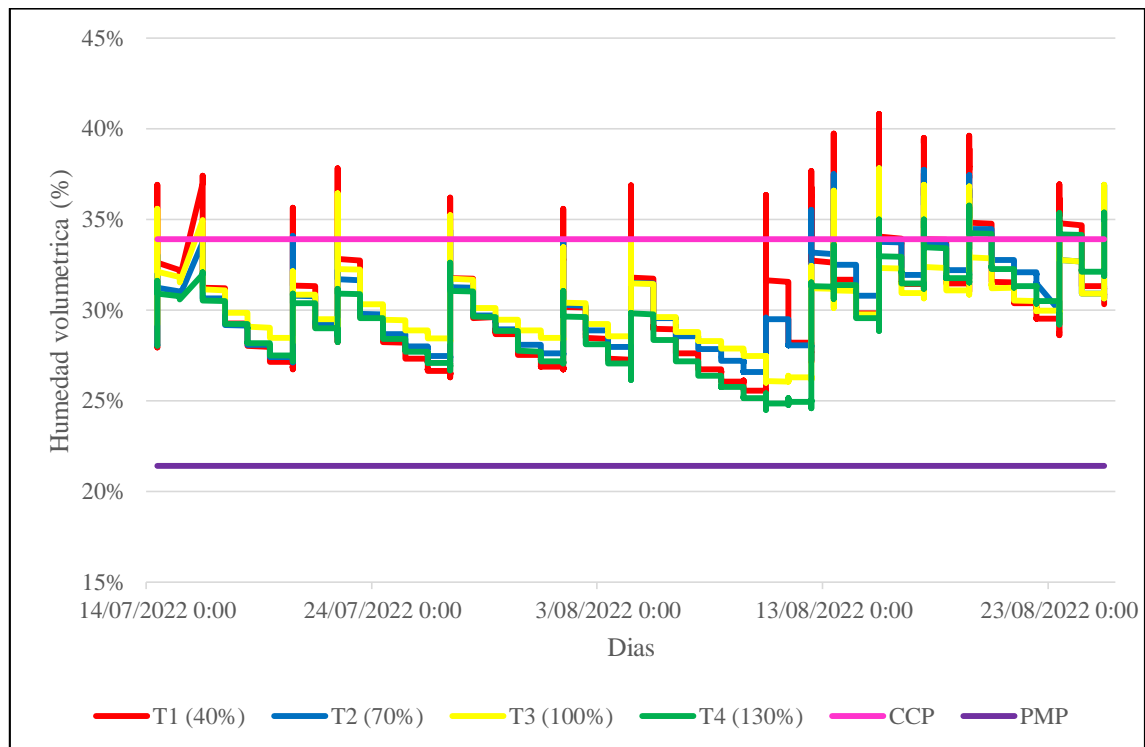


Figura 60: Curva de humedad antes de aplicar los tratamientos

En la Figura 61, se observa que el T1 disminuye el valor de humedad volumétrica y en un intervalo de tiempo incrementa, debido a que la lámina se acumuló por tres días y luego se aplicó el riego. Debido a que en el T1 era repuesto solo el 40% la humedad, estuvo alrededor de la línea del PM. Este tratamiento presentó el mayor descenso de contenido de humedad del suelo, llegando a un valor promedio de 22,1% de contenido de humedad volumétrica, es decir utilizó el 94,3% de la capacidad de agua disponible.

Por otro lado, los T2 y T3 consumieron el 70,9% y 46,5% de la capacidad de agua disponible. Finalmente, el T4 se mantuvo a capacidad de campo debido a que la lámina de Eto era repuesto al 130%. Por lo tanto, se consumió el 16,2% de la capacidad agua disponible.

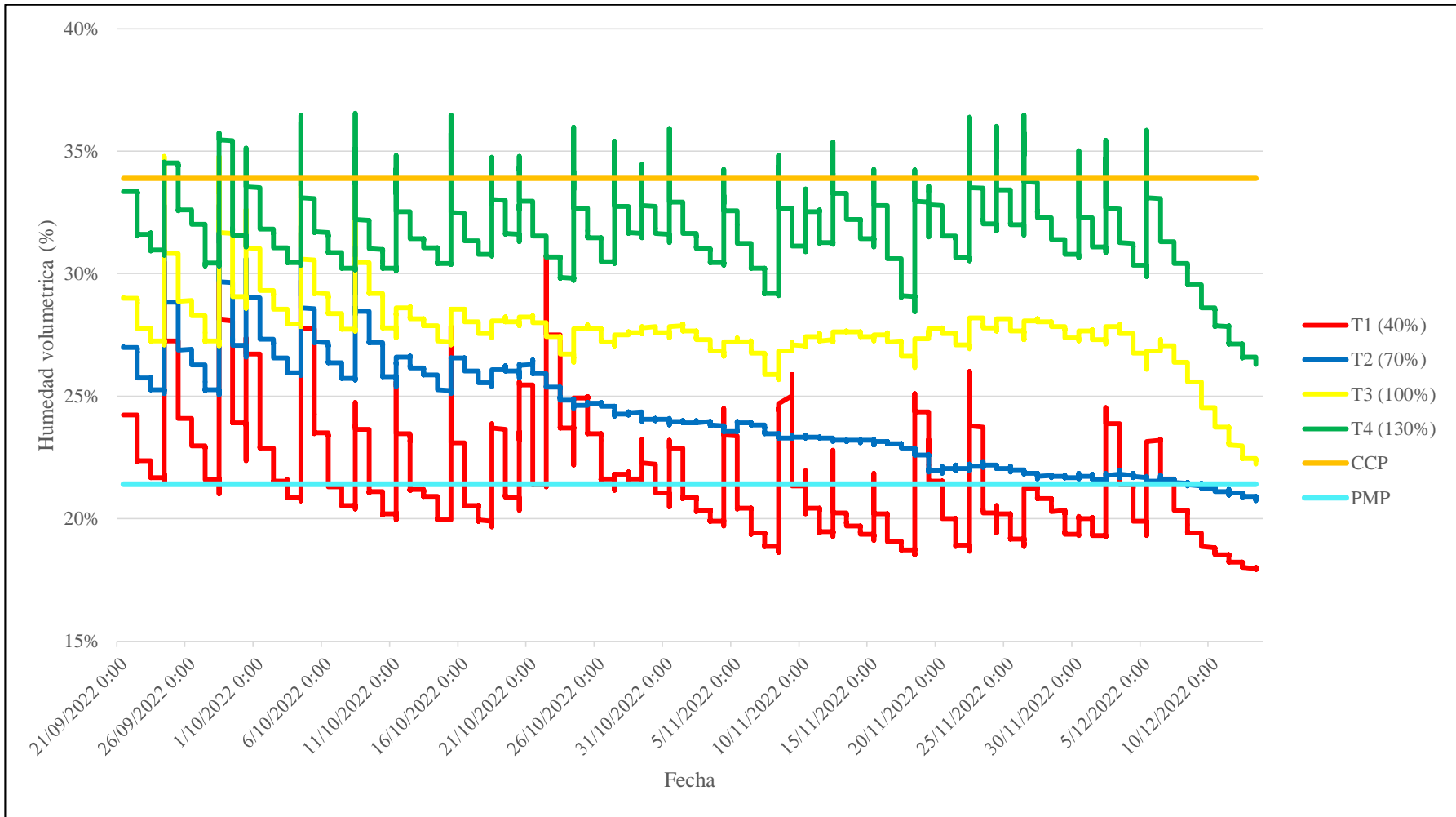


Figura 61: Curva de humedad de los tratamientos T1, T2, T3 y T4

4.3.2. Valores de NDVI en los tratamientos

Según Caballero (2017) el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) indica el estado de salud del cultivo, debido a una enfermedad o por estrés hídrico, temperatura o sales. Es por ello que es una herramienta de decisión necesaria en la agricultura. La agricultura de precisión con la herramienta NDVI, se logra aumentar la rentabilidad y mitigar peligros para cualquier cultivo.

En la Tabla 33 y Figura 62 se muestra que en los vuelos 1 y 2 toma valores de NDVI en un rango de 0,1-0,3, lo que significa que, las plantas al ser muy pequeñas, predominaba el suelo desnudo (Anexo 18). En el vuelo 3 los valores de NDVI estuvieron entre 0,5-0,6, lo que significa una leve deficiencia de nutrientes, pero se debe a que las plantas tenían una cobertura vegetal del 50%, quiere decir que aún había suelo desnudo que era captado por la cámara multiespectral. Del vuelo 4 al 8 los valores estuvieron por encima del 0,6, esto quiere decir que se encontraba en excelentes condiciones de producción (Anexo 19). Finalmente, el vuelo 9 emitió valores de 0,4-0,5, lo que significa una deficiencia de nutrientes, esto debido a que se realizó el vuelo días próximo a la cosecha y la planta tenía el 80-90% de las hojas secas (ver Anexo 20).

El análisis de varianza muestra que p-valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias significativas en los valores de NDVI entre los tratamientos.

Tabla 33: Valores de NDVI por tratamiento

DDS	Vuelo	NDVI			
		T1 (40%)	T2 (70%)	T3 (100%)	T4 (130%)
27	1	0,196	0,203	0,207	0,202
40	2	0,306	0,297	0,304	0,299
54	3	0,534	0,514	0,55	0,543
82	4	0,814	0,806	0,821	0,819
95	5	0,762	0,766	0,778	0,774
111	6	0,735	0,738	0,748	0,745
125	7	0,681	0,692	0,717	0,71
144	8	0,872	0,871	0,886	0,885
176	9	0,466	0,494	0,522	0,52

Nota: Días después de la siembra (DDS)

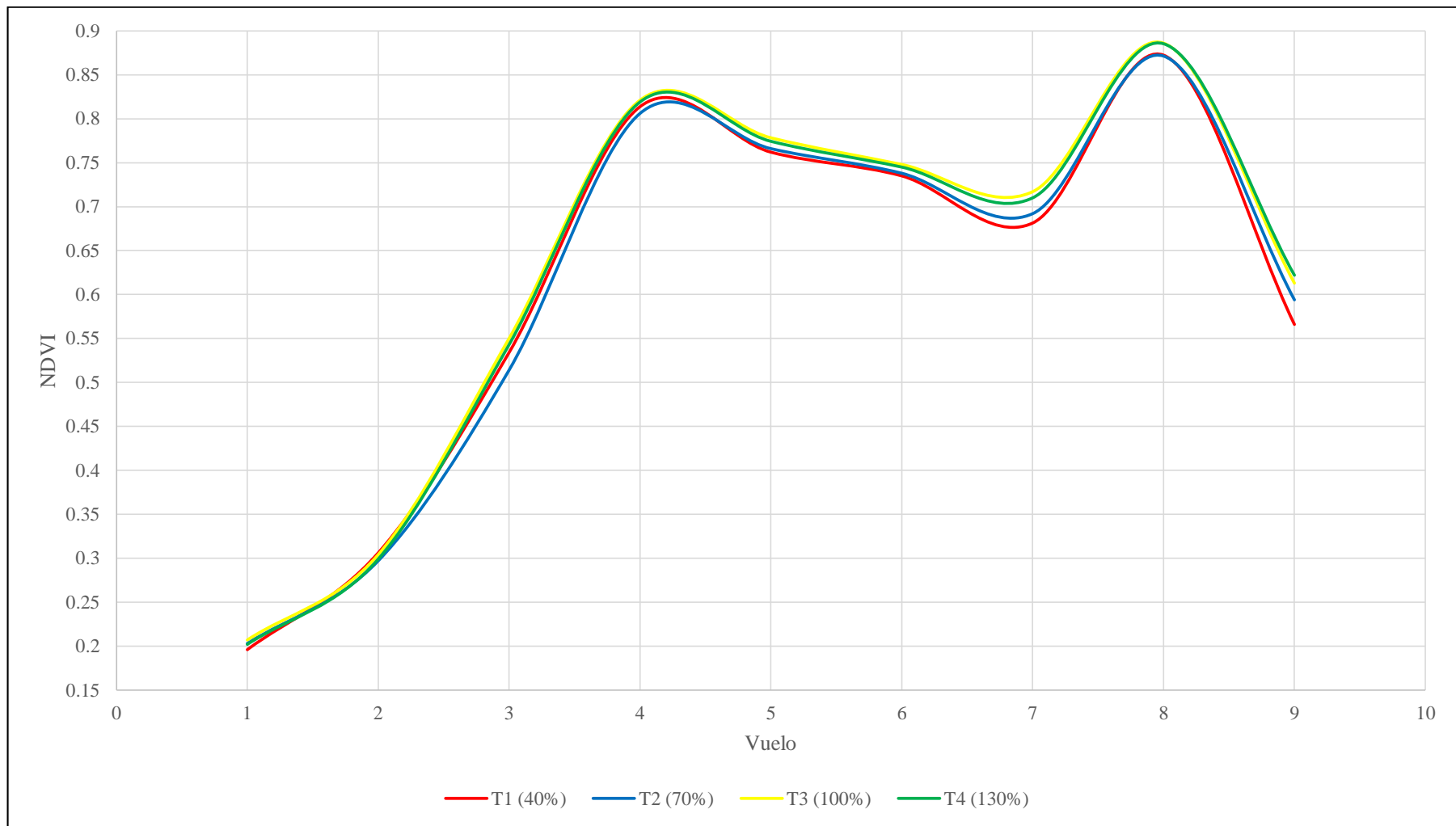


Figura 62: Curva del NDVI según tratamiento

4.3.3. Calidad del maíz morado

Al efectuar la extracción de antocianinas mediante el método RANGANA realizado en La Molina Calidad Total Laboratorios Universidad Nacional Agraria La Molina, se determinó que a nivel de grano el tratamiento con mayor concentración de antocianinas es el T4 con 324,32 mg (100g)⁻¹, mientras que el de menor concentración lo tiene el T1 con 101,01 mg (100g)⁻¹.

El máximo valor de antocianinas a nivel de coronta, fue del T3 con 3552,02 mg (100gr)⁻¹ y el mínimo valor fue del T1 con 1049,35 mg (100gr)⁻¹, como se puede apreciar en la Tabla 34 y Figura 63.

Al respecto, Briceño et al. (2020), al estudiar el efecto del riego por goteo en el rendimiento y contenido de antocianinas en cultivares de maíz morado, analizó mazorca en estado de madurez fisiológica, en donde el mayor contenido de antocianinas fue del tratamiento C1(1,6 l h⁻¹) *V1(PMV) con un promedio de 88,71 mg l⁻¹.

Por su parte, Simón (2014), al estudiar el efecto de niveles de magnesio, potasio y azufre en el contenido de antocianinas y rendimiento en el maíz morado en Huánuco, reportó al T3 (dosis 140 N-100P-102K -36 Mg-44S) con más alta concentración de antocianinas en grano y coronta con 92,40 y 1122,17 mg l⁻¹ respectivamente.

Meza (2010), al evaluar la extracción del contenido de antocianinas en cuatro variedades del maíz morado cultivados en pisos ecológicos en Abancay, logró obtener altas concentraciones de antocianinas en la variedad PVM-581 del sector Cira con 1856,08 mg (100g)⁻¹, seguidamente de la variedad PVM-581 del sector Quitasol con 1743,37 mg (100g)⁻¹ y por último, la variedad PVM-581 en Huanipaca reportó un contenido de 1246,54 mg (100g)⁻¹.

Cerro y Espillico (2021), identificaron y cuantificaron por cromatografía UPCL antocianinas en corontas de maíz morado INIA 615 y sus extractos conservados en anaquel, se encontró 1298 mg (100g)⁻¹ de antocianinas totales en las corontas.

Los resultados de antocianinas obtenidos tanto en coronta según la Norma Técnica Peruana para las mazorcas de maíz morado- NTP 011.601:2016, al pasar el 0,8% (800 mg (100g)⁻¹) se determinan que cumplen con lo mínimo requerido para la exportación.

Tabla 34: Contenido de antocianinas en los tratamientos

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Antocianinas grano (mg (100g) ⁻¹)	101,01	96,62	240,72	324,32
Antocianinas coronta (mg (100g) ⁻¹)	1049,35	1267,10	3553,02	2849,51

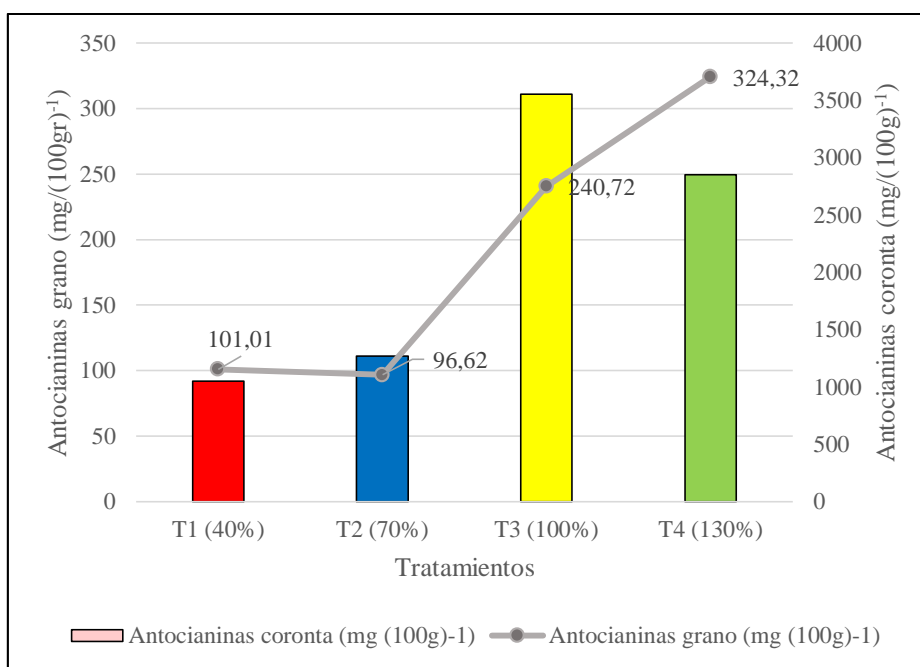


Figura 63: Antocianinas en grano versus coronta

Otra forma de determinar la cantidad de antocianinas es mediante la escala de color (Figura 64),



Figura 64: Escala de color utilizado para evaluar color de coronta en maíz morado

FUENTE: Hugo Huanuqueño (2019).

En la Tabla 35 y Figura 65, se muestran los resultados obtenidos según la escala de color.

Tabla 35: Promedio del color de mazorca por tratamiento

Eto	40%	70%	100%	130%
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Color de mazorca	4,30	4,50	4,70	4,70



Figura 65: Color de mazorca según tratamientos

Se obtuvo que el tratamiento T3 y T4 obtuvieron un color de 4,7 según escala, mientras que el T2 alcanzó un color de 4,5 y el T1 obtuvo 4,3, valores que superan los resultados obtenidos por Huanuqueño (2019), al evaluar 15 genotipos de maíz morado, obtuvo CMZ según la escala de colores para la variedad PMV-581 de 3,96.

4.4. ESTRATEGIAS PARA IMPLEMENTAR UNA MEJOR PLANIFICACIÓN

En la Tabla 36 se muestra el resumen de los costos de producción, los cuales se han dividido en costos fijos (CF) y los costos variables (CV). Los costos fijos son gastos realizados por concepto de mano de obra, aplicaciones foliares, fertilización, aporque, abonamiento, cosecha y sistema de riego.

Se muestra que los mayores costos corresponden a los generados por la aplicación de fertilización con S/ 3 391,25 costo que depende directamente al tipo de cambio del dólar. El sistema riego tendría un costo de S/100 092,00 (Anexo 13) la cual un reservorio de 480 m³ abastecería un campo de 4 hectáreas aplicando un riego inter diario (acumulación de lámina

2-3 días) y con una vida útil de 10 años. Suponiendo que un agricultor obtiene un préstamo al banco con una tasa de interés del 2% mensual, se obtienen 120 cuotas de S/2 06,84 este monto al dividir entre 4 se obtiene un pago de S/551,71 mensual por hectárea. Los costos variables son del agua y energía consumida por cada tratamiento.

Tabla 36: Costos fijos en la campaña 2022

Item	Costo fijos campaña 2022	Costo total (S/ha/campaña)
1	Labores culturales	S/ 6,100.00
2	Fertilizantes	S/ 3,391.25
3	Control químico	S/ 1,040.00
4	Sistema riego	S/ 551,71
5	Gastos extras	S/ 500.00
	Sub total	S/ 11,582.96

La bomba utilizada fue de la marca Pedrollo, modelo trifásica 2CP 32/200 C de 4 Hp (3 kW). El costo de la energía es de 0,349 S/kWh, según el informe final de auditoría energética UNALM 2022. Para obtener el costo energético para cada tratamiento se multiplicó la potencia de la bomba (kW) por las horas trabajados durante la campaña y el precio de energía (S/kWh) como se detalla en la Tabla 37.

Tabla 37: Costos variable de energía para la campaña 2022

Item	Horas trabajadas/campaña (H)	Potencia bomba (kW)	Potencia total (kWH)	P.U (S/kWH)	Costo de energía
T1	33,3	4	133,2	0,349	S/46,49
T2	43,9	4	175,6	0,349	S/61,28
T3	54,9	4	219,6	0,349	S/76,64
T4	65,2	4	260,8	0,349	S/91,02

El costo por m³ de agua de riego en la campaña 2022 es de S/ 0,06 por m³ (Anexo 25). Para obtener el costo de agua por campaña se multiplicó la lámina acumulada que se obtuvo en la campaña por el precio unitarios (S/. m⁻³), como se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38: Costo variable de agua para la campaña 2022

Item	Consumo/campaña (m ⁻³)	P.U (S/ m ⁻³)	Costo de agua
T1	2127,79	0,06	S/127,67
T2	2805,4	0,06	S/168,32
T3	3483,01	0,06	S/208,98
T4	4160,62	0,06	S/249,64

El costo de producción para la campaña 2022 para el cultivo de maíz morado utilizando riego por goteo para el T1 fue de S/ 11 582,96 (CF) + S/46.49 (CV energía) + S/ 127,67 (CV agua), dando un costo total de S/11 757,11 para el T2 el costo total fue de S/11 812.57, el T3 fue S/11868,58 y el T4 fue de fue de S/11 923,62. En la Tabla 39 se resumen los gastos totales por cada tratamiento.

Tabla 39: Costo total por tratamiento

Item	Costo fijo (producción)	Costo variable Energía	Costo variable Agua	Costo Total campaña 2022
T1	S/11 582,96	S/46,49	S/127,67	S/11 757,11
T2	S/11 582,96	S/61,28	S/168,32	S/11 812,57
T3	S/11 582,96	S/76,64	S/208,98	S/11 868,58
T4	S/11 582,96	S/91,02	S/249,64	S/11 923,62

Como se observa en la Figura 66, bajo las condiciones de déficit hídrico para La Molina, la mejor estrategia a utilizar es la de uso eficiente del agua (T1) en la que se puede obtener reducciones de agua en un 51,2% (2032.72 m³) y si bien la opción conlleva a una reducción del rendimiento del 19,5% (1965,73 kg), la productividad del agua se incrementa en un 57% con una relación beneficio/costo estimado de 1,95 con respecto al T4 (máximo rendimiento). El precio de venta en diciembre del 2022 en el mercado “La parada” fue de S/3,00 siendo uno de los precios más bajos porque en otros mercado y supermercados (Plaza Veá, Tottus, Vivanda) los precios se elevan hasta S/5,00 y S/8,50 respectivamente. El costo/beneficio sería dependiente del precio de venta y el costo de la adquisición de agua.

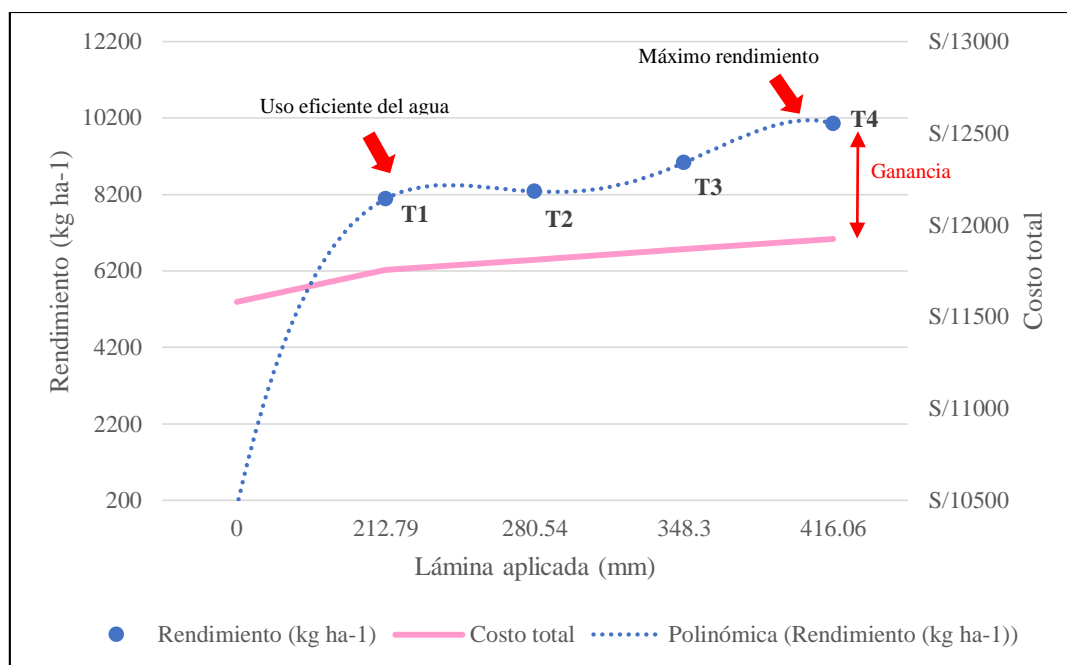


Figura 66: Costo de producción del maíz morado para la campaña 2022

El Tabla 40 se muestra el costo total por cada tratamiento para la producción de maíz morado para 1ha, considerando el precio de venta más bajo en esas fechas (S/3,00 x kg) se obtiene una utilidad de S/12 510,13 para el T1, seguido de S/13 024,69 (T2), luego S/15 229,25 (T3) y finalmente el T4 tiene mayor ganancia con S/18 240,81.

Tabla 40: Costo y beneficio del maíz morado

Nº	Rend. (Kg ha ⁻¹)	P.U (S/.)	V. Bruto producción (S/ ha ⁻¹)	Costo total (S/.)	Utilidad (S/ ha ⁻¹)	B/C
T1	8089,08	3,0	S/24 267,24	S/ 11 757,11	S/12 510,13	2,06
T2	8279,09	3,0	S/24 837,26	S/ 11 812,57	S/13 024,69	2,10
T3	9032,61	3,0	S/27 097,83	S/ 11 868,58	S/15 229,25	2,28
T4	10054,81	3,0	S/30 164,43	S/ 11 923,62	S/18 240,81	2,53

Con estos datos se realizó dos análisis de sensibilidad y punto de equilibrio, el primero cuando el precio se mantiene, pero el rendimiento varío (afectado por el cambio climático o algún fenómeno) y el segundo cuando los rendimientos se mantienen constantes pero el precio unitario varia.

- a. El punto de equilibrio se da cuando el rendimiento de maíz morado es de 3919 kg y es vendido a S/3.00, en este punto no hay ganancia ni pérdidas (ver Figura 67).

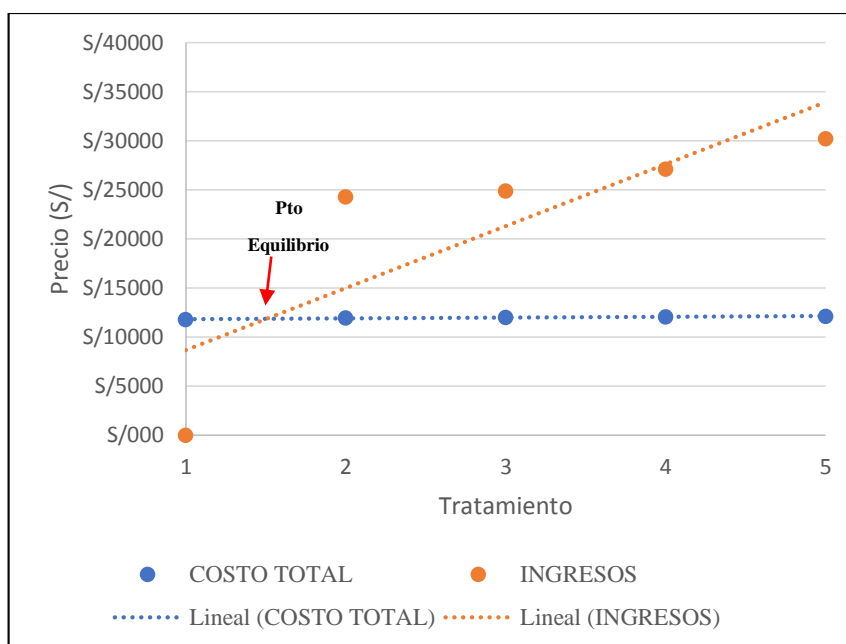


Figura 67: Análisis de sensibilidad y punto de equilibrio cuando varía el rendimiento

- b. El punto de equilibrio se da cuando la venta de maíz morado es de S/1,20 como mínimo para el T4, mientras que para el T1 tiene que tener un valor de S/1,47, en este punto no hay ganancia ni pérdidas, como se visualiza en la Tabla 41 y Figura 68.

Tabla 41: Análisis y punto de equilibrio cuando varía el precio de venta

Trat.	Rendimiento	Costo total	Beneficio	Precio unitario
T1	8089,08	11 931,27	0	S/ 1,47
T2	8279,09	11 986,72	0	S/ 1,45
T3	9032,61	12 042,74	0	S/ 1,33
T4	10054,81	12 097,77	0	S/ 1,20

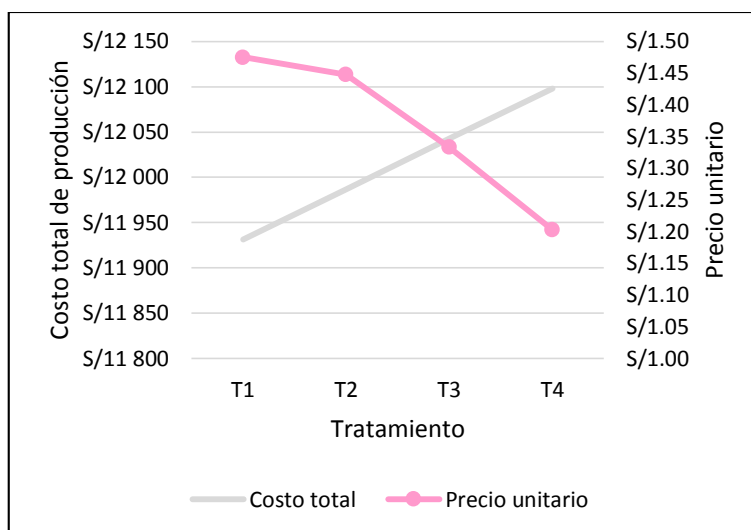


Figura 68: Costo total vs Precio unitario

Esto demuestra la trascendencia económica que puede alcanzar el uso de esta estrategia en situaciones de escasas de agua. El conocimiento de las funciones agua aplicada por riego-rendimiento y el uso eficiente de agua, son parámetros útiles para ser introducido como un indicador de eficiencia en la planificación del uso del agua en la agricultura, con lo cual es posible disminuir los volúmenes de agua aumentando la relación beneficio-costos actual. (González *et al.*, 2015).

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de las diferentes láminas agua en el maíz morado desarrollaron una función producción cubica con un $R^2= 0,98$, lo cual permite identificar los máximos rendimientos y el uso eficiente del agua, mejorando de esta manera, la rentabilidad del cultivo y como consecuencia los ingresos para el agricultor.
2. Bajo las condiciones del presente ensayo en el maíz morado PMV-581 no presentó diferencias significativas por efecto de las láminas de riego en la altura de planta, tamaño de mazorca, diámetros de mazorca, peso de 100 granos, número de hileras y número de grano por hilera son similares.
3. Los resultados en el rendimiento presentan diferencias significativas por efecto de las láminas de riego. El tratamiento T4 (130%Eto) permitió el máximo rendimiento y calidad reportando un promedio de $10054,81 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido del T3 (100%Eto) con $9032,61 \text{ kg ha}^{-1}$, en tercer lugar, el T2 (70%Eto) con $8279,09 \text{ kg ha}^{-1}$ y el menor rendimiento se determinó con el tratamiento T1 (40%Eto) con $8089,08 \text{ kg ha}^{-1}$.
4. Los valores de NDVI obtenidos de los vuelos realizados durante los seis meses de la etapa fenológica del maíz morado no muestran diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se concluye que el NDVI no está reflejando el porcentaje de humedad que tenía cada unidad experimental.
5. La estrategia a seguir en las condiciones de La Molina, que presenta escases del recurso hídrico, es la de uso eficiente del agua que se obtiene con el T1 (40%). Sin embargo, para otras zonas que cuentan con disponibilidad de agua (reservorio) pueden utilizar máximos rendimientos, económicamente será viable. En otras palabras, el costo-beneficio dependerá de la disponibilidad de agua, precio de venta y rendimiento.

VI. RECOMENDACIONES

1. Cada tratamiento al recibir una lámina diferente tiene procesos fenológicos diferente, es por ello que se recomienda hacer un seguimiento en la etapa de madurez fisiológica del maíz para saber cuándo es el momento adecuado para la cosecha de cada tratamiento y así evitar que la luz degrade las antocianinas por estar expuestas más tiempo de lo debido.
2. Para futuras investigaciones en el maíz morado se recomienda que la separación de un tratamiento a otro tenga un distanciamiento prudente para poder distinguir cada zonificación
3. Al momento de realizar los vuelos con el dron, se debería utilizar mayor aproximación de los pixeles, además de otros índices para tener más precisión en los resultados.
4. Replicar el experimento empleando otras láminas de riego, con una mejor dosis de fertilización y buen manejo agronómico para obtener el mejor resultado de máximos rendimiento y/o uso eficiente de agua del maíz morado.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, F. (2004). *Análisis económicos de experimentos de campo*. Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua. p. 143-156.
- Allen, G., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO (Vol. 56). <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.05.042>.
- Almeida, V. (2008). *Modelo para realizar el inventario de vías en la provincia de Tungurahua, aplicando el programa ArcGIS 8.3* (Tesis de maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Altamirano, F. (2019). *Efecto de fertilización química en la concentración de antocianinas en tres variedades de maíz morado en el distrito Baños del Inca región Cajamarca, 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Alvarado, V. (2015). *Efecto de la lámina de riego y del nivel nutricional en el crecimiento y rendimiento de maíz morado (Zea mays L.) cv PMV-581* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Arango, A.A. (2019). *Riego por goteo subterráneo intermitente controlado vía internet, para el césped-UNALM* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Arroyo, J., Ruez, E., Rodríguez, M., Chumpitaz, V., Burga, J., De la Cruz, W., y Valencia, J. (2007). Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (*Zea mays L*) en ratas hipercolesterolémicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 24(2), 157-162. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342007000200010&lng=es&tlng=es.
- Ascencios, D., Montalvo, N., Meza, K., y Cifuentes, A. (2019). Coeficientes de riego del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) en condiciones de estrés hídrico utilizando riego por goteo subterráneo. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 207-216.

- Briceño, H., Álvarez, L.M., y Valverde, A. (2020). Efecto del riego por goteo en el rendimiento y contenido de antocianinas en cultivares de maíz morado (*Zea mays L.*). *Manglar*, 17(3), 221-226. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.032>.
- Buesa, I. (2013). *Determinación del estado hídrico del suelo mediante sensores FDR en vid cv. Moscatel de Alejandría regada por goteo* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Caballero, D.A. (2017). Aplicación de imágenes NDVI para el control de riego y enfermedad en cultivos agrícolas mediante el uso de aeronaves no tripuladas (UAV) y el software AgVault. *Aporte Santiaguino*, 10(2): 305-314. <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n2.172>
- Cabrera, C.R. (2016). *Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (Zea mays L.) bajo riego por goteo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Cabrera, S., Concepción, N., Batista, O.J., y Palmero, I. (2018). Calibration of TDR probe for the estimation of moisture in typical red ferrallitic soils. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3).
- Cerro, S. y Espillico, L. (2021). Antocianinas en corontas y extractos de maíz morado (*Zea mays L.*) INIA 615 conservados en anaquel. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), 217-227. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.349>.
- Chuchón, R. (2019). *Láminas de riego en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) variedad única mediante riego por goteo en La Molina* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cifuentes, A.T. (2016). *Requerimiento de agua para el césped americano (Stenotaphrum secundatum) empleando riego por goteo subterráneo, durante el otoño en la UNALM* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cima, M.I. (2021). *Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): Análisis y mapeo de la deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo* (Tesis de pregrado). Universidad de Quintana Roo, México.
- Cruzado, L. (2008). *Efecto de la fertilización fosfo – potásica en el cultivo de maíz morado PMV 581 (Zea mays L.)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cuadra, F., y Garcia, D.U. (2016). *Evaluación de tres láminas de riego por goteo y dosis de biofertilización EM-5 (sutocho) sobre el crecimiento, desarrollo y producción de*

- tomate (Solanum lycopersicum Mill) cv. Shanty, UNA, 2016* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Lima, Perú.
- Del Rosario, C., y Zuñiga, D.R. (2022). *Estimación de islas de calor urbano aplicando el algoritmo de split window, para establecer una propuesta de manejo ambiental en la ciudad de Tacna* (Tesis de pregrado). Universidad Privada de Tacna, Lima, Perú.
- Diaz, J.J. (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión* (Tesis de maestría). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/>.
- Duran Espiritu, R. (2019). *Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de maíz morado (Zea mays L.) en condiciones agroecológicas en el distrito de Panao, 2019* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.
- Espinoza, F. (2003). *Efecto de la fertiirrigación nitrogenada y de la densidad espacial de plantas en el cultivo de maíz morado PMV – 581 (Zea maíz L.) bajo RLAf goteo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Evaristo, C.S. (2019). *Efecto del bioestimulante Mixhor-Plus en el rendimiento de maíz morado (Zea Mays L) PMV 581 en condiciones de Panao–Pachitea–Huánuco, 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.
- Evora, E. (2016). *Sistema de procesamiento de imágenes NIR e IR aéreas para agricultura de precisión* (Tesis de pregrado). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.
- Fernández, J., Romero, R., Pérez, A., Cuevas, M. (2015). *Estrategias y programación del riego*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España. 75 p.
- Fondo de Agua para Lima y Callao (AQUAFONDO). (2018). *Huella Hídrica de los usuarios de agua en Lima Metropolitana*. Skateholders. Recuperado de <https://stakeholders.com.pe/noticias-sh/consumo-agua-creceria-mas-40-limametropolitana-203>
- Gestión. (2021). *Las crueles paradojas del agua en la desértica capital del Perú*. *Diario Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/peru/las-crueles-paradojasdel-agua-en-la-desertica-capital-del-peru-noticia>
- González-Robaina, F., Herrera, J., López S, T., Cid, G., Dios, R., Hernández, M. y Romero, A. (2015). *Uso de las funciones agua-rendimiento y la productividad agronómica del*

- agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1): 95-114. doi: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2144>
- González, F., Herrera, J., López, T. y Cid, L.G. (2011). Productividad agronómica del agua. *Revista Ingeniería Agrícola*. 1(1), 40-44. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2144>
- González, R., Herrera, P., López, S., Cid, L., Dios-Palomares, R., Hernández, R., Salazar, A. Romero, S. (2015). *Uso de las funciones gua – Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático*. 1(1), 95-114.
- Guirola, C.L. (2018). *Detección de estrés nutricional con cámaras multiespectrales* (Tesis de pregrado). Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Cuba
- Huanuqueño, E., Tobaru, J., Ramos, H., y Gutiérrez, G. (2019). Capacidad productiva y heterosis útil en híbridos no convencionales de maíz morado bajo condiciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Anales Científicos*, 80(1): 181-189. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i1.1383>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2020). *Curso virtual: Diseño agronómico e hidráulico en el sistema de riego tecnificado*. INIA, Lima, Perú.
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura (INTAGRI). (2017). *Importancia de la Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Riego por Goteo* (foto). Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-de-la-evaluacion-de-laeficiencia-de-los-sistemas-de-riego>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2007). *Enfermedades del maíz y su manejo*. Grupo transferencia de tecnología.
- Justiniano, E. (2010). *Fenología e intensidad de color en corontas del maíz morado (Zea mays L) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de La Molina* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Kumar, S., Imtiyaz, M., Kumar, A., y Singh, R. (2007). Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water. *Agricultural water management*, 89(1-2), 161-166.
- Lozano, S.E., & Torres, C.A. (2019). *Implementación de técnicas de agricultura de precisión en el cultivo de café Castillo "Coffea arabica L." presente en la finca La Portada, vereda San Miguel, Pandi- Cundimarca* (Tesis de pregrado). Universidad

de Cundimarca, Colombia.


- Manrique, A. (2000). *Maíz Morado Peruano*. INIA, Perú. Recuperado de http://200.123.25.5/bitstream/20.500.12955/996/1/Manrique-Maiz_Morado_Peruano.pdf
- Manual de instalación de DAVIS Vantage Pro2. (2012).
- Manual Phantom 4 PRO. (2017).
- Marquina, R. (2017). *Efecto de tres dosis de biol en el rendimiento de Zea mays L. var. Morado Caraz en Santiago de Chuco - La Libertad* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Martin, E.C., y Muñoz, C. (2017). Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego. Recuperado de <https://docplayer.es/68662979-Metodos-para-medir-la-humedad-del-suelo-para-la-programacion-del-riego-cuando.html>
- Mayorga Arias, D., Pazos Roldan, M., y Uvidia Vélez, M. (2019). Uso del índice normalizado de vegetación para la elaboración de planos de cultivo. *Opuntia Brava*, 11(2), 261-265. <https://doi.org/10.35195/ob.v11i2.760>
- Medina, A.E. (2022). *Guía de manejo del cultivo de maíz morado (Zea mays L.)*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1692>
- Mendoza, A.E. (2013). *Riego por goteo*. Recuperado de <https://www.udocz.com/apuntes/13427/riego-por-goteo-2013>
- Meza, T.A. (2010). *Determinación y extracción del contenido de antocianinas de cuatro variedades de maíz morado (Zea Mays L.) cultivados en tres pisos ecológicos en la provincia de Abancay* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MIDAGRI). (2016). NTP 011.601 Mazorcas de maíz morado. Requisitos. *El Peruano*.
- Musick, J.T., y Dusek, D.A. (1971). Grain sorghum response to number, timing, and size of irrigations in the southern high plains. *Transactions of the ASAE*, 14(3), 401-404.
- Netafim. (2014). Operación y mantenimiento del sistema de goteo. USA. 16 p.
- Ortiz, A.N., y Larios, R.C. (2020). Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión. *La Calera*, 20(35), 81–87. <https://doi.org/10.5377/calera.v20i35.10302>
- Ortiz, E.D. (2019). *Efecto de cuatro láminas de riego por goteo superficial y sub superficial*

- en el rendimiento del cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) en el centro de investigación y experimentación-UNASAM, Cañasbamba-Yungay, 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Padilla, J.G. (2016). *Coefficiente de cultivo para el césped americano (Stenotaphrum secundatum) utilizando lisímetros de drenaje, durante la estación de otoño-UNALM* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Pérez, F. (2017). *Fisiología vegetal IV*. Universidad Nacional de Ucayali.
- Peters, T., Desta, K., Nelson, L. (2013). *Practical use of soil moisture sensors for irrigation scheduling*. Washington State University Extension Fact Sheet
- Pinedo, R., Rodríguez, G., & Valverde, N. (2017). Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) en la localidad de Canaán-Ayacucho. *Aporte Santiaguino*, 10(1): 39-50. <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n1.181>
- Pinedo, E.R. (2015). *Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán-Ayacucho* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.
- Piña, C.P. (2018). *Comparativo de rendimiento y contenido de antocianinas en 6 variedades de maíz morado (Zea mays L.) en el distrito de Ichocán, provincia de San Marcos, región Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Portillo, M., Pérez, F., Figueroa, E., Godínez, L., Pérez, M. T., y Barrios, G. (2015). La función de producción cúbica, su aplicación en la agricultura. *Revista mexicana de agronegocios*, 37(1345-2016-104471): 11-24.
- Rabanal-Atalaya, M., y Medina-Hoyos, A. (2021). Analysis of anthocyanins in the purple corn (*Zea mays L.*) from Perú and its antioxidant properties. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.808>
- Rojas, Y. (2018). *Influencia del índice de cosecha en las variedades de maíz morado (Zea Mays Amilacea CV morado) PMV 582 y cantaño en el distrito de Motupe* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Romero, C.A. (2021). *El maíz morado peruano: un producto con alto contenido de antocianina, poderoso antioxidante natural*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI.
- Romero, R. (2022). *Cambio del sistema de riego por gravedad a goteo y función de producción en el cultivo de Tara (Caesalpinia spinosa)* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.


- Sevilla, R. y Valdez, A (1985). *Estudio de Factibilidad del cultivo de maíz morado*. Fondo de Promoción y Exportación (Fopex). Lima, Perú.
- Sierra y selva exportadora. (2021). *Análisis de mercado maíz morado 2015-2021*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Recuperado de <https://repositorio.sierraexportadora.gob.pe/handle/SSE/384>
- Simón, J. (2014). *Contenido de antocianina y rendimiento en maíz morado (Zea mays L.) Variedad PMV - 581 bajo el efecto de niveles de potasio, azufre y magnesio en Canchan – Huánuco* (Tesis de grado). Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Perú.
- Solano, R. (1999). *Efecto de la fertirrigación NPK en el rendimiento y el contenido de antocianina de tres variedades de maíz morado (Zea mays L.) bajo RLAF: goteo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Takhtajan, A. (1980). Outline of classification of flowering plants (Magnoliophyta). *The Botanical Review*. New York, Estados Unidos. 46: 225-226, 316-318.
- Trueba, S. (2017). *Análisis de imágenes multiespectrales aéreas de vegetación* (Tesis de pregrado). Universidad de Cantabria, España.
- Valdivieso, V.A. (2013). *Efecto de cuatro láminas de riego por goteo sobre la producción del cultivo de maíz duro (Zea mays), según la evaporación del tanque evaporímetro clase A* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Loja, Ecuador
- Valladares, A. (2018, 7 de septiembre). *La importancia del punto de equilibrio*. Álvaro Valladares. Recuperado de <https://alvarovalladares.com/punto-de-equilibrio/>
- Vasquez, A., Vasquez, I., Vasquez, C., y Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de Ingeniería de Riegos*. Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).
- Zotarelli, L., Dukes, M; Morgan, K. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. DOI: 10.32473/edis-ae496-2013

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



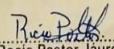
Nº 018924

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN


SOLICITANTE : GIANNELLA LILIBETH ORTIZ YATTA
 PROYECTO : TESIS
 UBICACIÓN : CIER - UNALM - LA MOLINA
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de Diciembre del 2022

Número de muestra		CE dS m ⁻¹ Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
												Cmol (+) Kg ⁻¹					
18924	Suelo	3.46	63.12	25.28	11.60	Franco arenoso	7.74	1.03	22.39	266.00	3.01	12.00	10.02	1.37	0.15	0.46	-

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO



Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO



Anexo 2: Análisis de varianza para altura de planta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA PLANTA	12	0.65	0.36	6.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2996.11	5	599.22	2.22	0.1798
TRATAMIENTO	2790.32	3	930.11	3.45	0.0921
REPETICION	205.79	2	102.90	0.38	0.6984
Error	1618.96	6	269.83		
Total	4615.07	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=46.42883

Error: 269.8268 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T3	263.63	3	9.48 A
T4	260.73	3	9.48 A
T2	237.90	3	9.48 A
T1	227.43	3	9.48 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3: Análisis de varianza de la longitud de mazorca

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud	12	0.81	0.65	3.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.89	5	1.98	5.06	0.0366
Repeticion	0.07	2	0.03	0.09	0.9178
Tratamiento	9.82	3	3.27	8.38	0.0145
Error	2.34	6	0.39		
Total	12.23	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.76592

Error: 0.3903 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	17.37	3	0.36 A
T3	16.95	3	0.36 A
T2	15.62	3	0.36 A B
T1	15.18	3	0.36 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 4: Análisis de varianza de diámetro de mazorca

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIAMETRO (mm)	12	0.68	0.42	2.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.72	5	2.74	2.59	0.1387
TRATAMIENTO	12.92	3	4.31	4.07	0.0679
REPETICION	0.81	2	0.40	0.38	0.6986
Error	6.35	6	1.06		
Total	20.07	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.90787

Error: 1.0584 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	46.03	3	0.59 A
T3	45.39	3	0.59 A
T2	44.98	3	0.59 A
T1	43.23	3	0.59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5 Análisis de varianza del peso de 100 granos

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO 100gr	12	0.78	0.60	6.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	284.25	5	56.85	4.34	0.0511
REPETICIONES	102.40	2	51.20	3.91	0.0818
TRATAMIENTOS	181.85	3	60.62	4.63	0.0528
Error	78.57	6	13.09		
Total	362.82	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=10.22802

Error: 13.0946 gl: 6

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T3	62.80	3	2.09 A
T4	60.76	3	2.09 A
T2	56.67	3	2.09 A
T1	52.68	3	2.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6: Análisis de varianza de numero de hileras

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
#HILERAS	12	0.57	0.21	4.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.55	5	0.31	1.58	0.2947
TRATAMIENTO	0.83	3	0.28	1.41	0.3289
REPETICION	0.72	2	0.36	1.84	0.2380
Error	1.17	6	0.20		
Total	2.72	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.24991

Error: 0.1956 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	10.93	3	0.26 A
T2	10.67	3	0.26 A
T1	10.60	3	0.26 A
T3	10.20	3	0.26 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7: Análisis de varianza de granos por hilera

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
GRANOS/HILERAS	12	0.39	0.00	4.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.59	5	1.12	0.77	0.6015
TRATAMIENTO	5.18	3	1.73	1.20	0.3878
REPETICION	0.41	2	0.20	0.14	0.8714
Error	8.66	6	1.44		
Total	14.25	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.39569

Error: 1.4433 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	26.17	3	0.69 A
T3	25.90	3	0.69 A
T1	24.90	3	0.69 A
T2	24.60	3	0.69 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8: Análisis de varianza del rendimiento total

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RENDIMIENTO (kg/ha)	12	0.94	0.90	3.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10220039.58	5	2044007.92	20.22	0.0011
TRATAMIENTO	7167238.46	3	2389079.49	23.63	0.0010
REPETICION	3052801.12	2	1526400.56	15.10	0.0046
Error	606650.72	6	101108.45		
Total	10826690.30	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=898.75011

Error: 101108.4527 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	10054.81	3	183.58	A
T3	9032.61	3	183.58	B
T2	8279.09	3	183.58	B C
T1	8089.08	3	183.58	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 9: Análisis de varianza del rendimiento comercial

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RENDIMIENTO COMERCIAL	12	0.95	0.91	3.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8915951.57	5	1783190.31	23.02	0.0008
REPETICION	6656347.40	3	2218782.47	28.64	0.0006
TRATAMIENTO	2259604.16	2	1129802.08	14.58	0.0050
Error	464849.74	6	77474.96		
Total	9380801.31	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=786.73034

Error: 77474.9566 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	8737.63	3	160.70	A
T3	7795.14	3	160.70	B
T2	7062.06	3	160.70	B C
T1	6827.18	3	160.70	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10: Análisis de varianza del UEA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
UEA (kg/m ³)	12	0.99	0.99	2.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.70	5	0.74	169.12	<0.0001
TRATAMIENTO	3.41	3	1.14	259.60	<0.0001
REPETICION	0.29	2	0.15	33.41	0.0006
Error	0.03	6	4.4E-03		
Total	3.73	11			

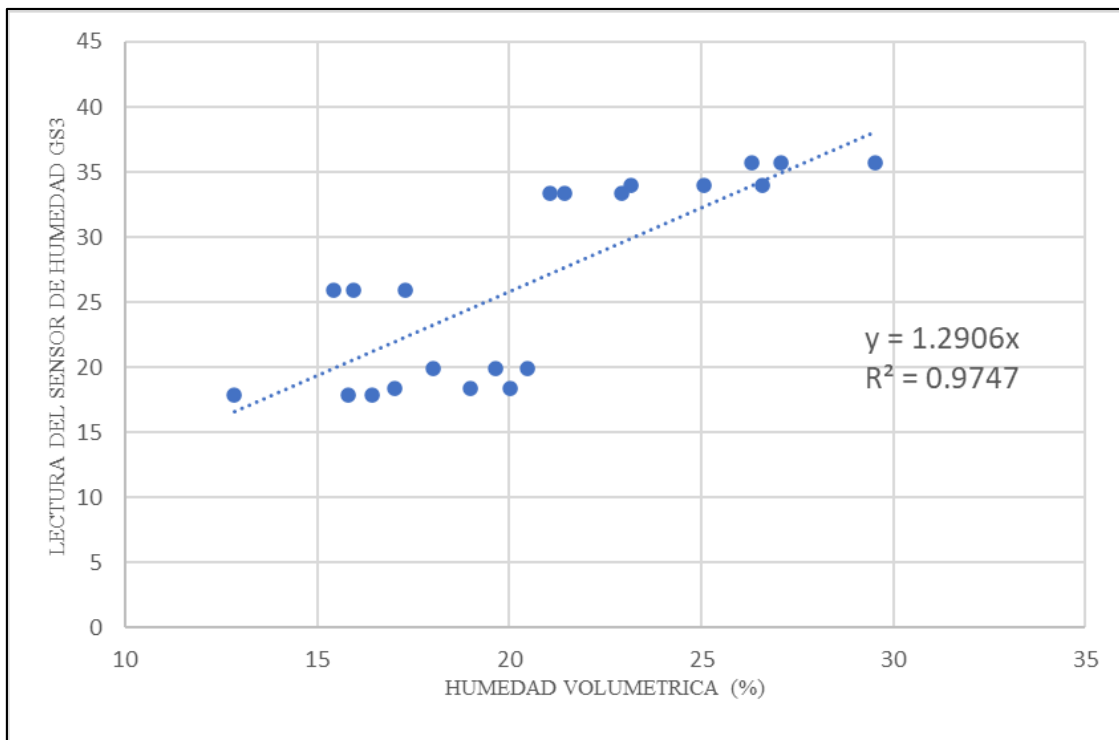
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.18707

Error: 0.0044 gl: 6

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T1	3.80	3	0.04	A
T2	2.95	3	0.04	B
T3	2.60	3	0.04	C
T4	2.42	3	0.04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 11: Calibración de sensores de humedad de suelo



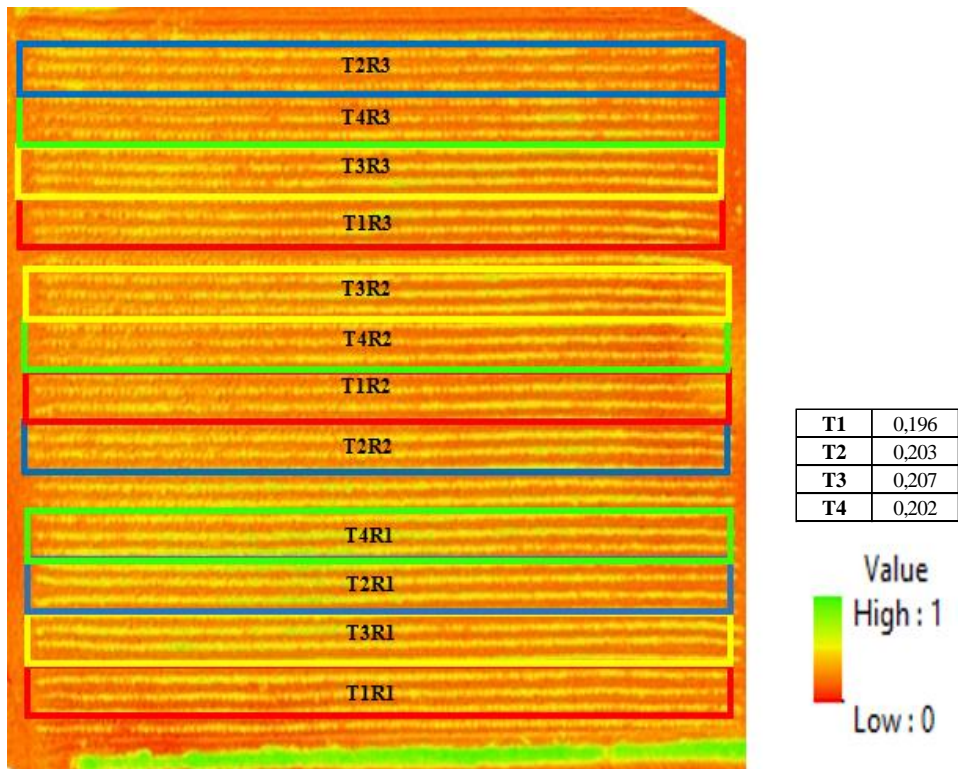
Anexo 12: Láminas acumuladas totales por tratamiento

	FECHA	T1(40%)	T2(70%)	T3(100%)	T4(130%)	
S I N T R A T A M I E N T O	17-Jun	4.30	4.30	4.30	4.30	
	18-Jun	6.01	6.01	6.01	6.01	
	20-Jun	8.70	8.70	8.70	8.70	
	22-Jun	9.50	9.50	9.50	9.50	
	1-Jul	3.17	3.17	3.17	3.17	
	2-Jul	6.34	6.34	6.34	6.34	
	8-Jul	1.58	1.58	1.58	1.58	
	12-Jul	4.22	4.22	4.22	4.22	
	14-Jul	3.70	3.70	3.70	3.70	
	15-Jul	3.17	3.17	3.17	3.17	
	22-Jul	4.22	4.22	4.22	4.22	
	27-Jul	4.22	4.22	4.22	4.22	
	1-Ago	3.17	3.17	3.17	3.17	
	4-Ago	3.17	3.17	3.17	3.17	
	9-Ago	4.22	4.22	4.22	4.22	
	10-Ago	3.17	3.17	3.17	3.17	
	11-Ago	6.70	6.70	6.70	6.70	
	12-Ago	5.80	5.80	5.80	5.80	
	13-Ago	6.51	6.51	6.51	6.51	
	15-Ago	6.50	6.50	6.50	6.50	
	17-Ago	6.17	6.17	6.17	6.17	
	19-Ago	3.17	3.17	3.17	3.17	
	22-Ago	5.40	5.40	5.40	5.40	
	23-Ago	6.50	6.50	6.50	6.50	
24-Ago	7.11	7.11	7.11	7.11		
26-Ago	0.70	1.23	1.76	2.29		
31-Ago	1.73	3.03	4.33	5.63		
3-Set	1.59	2.79	3.98	5.17		
6-Set	2.30	4.02	5.74	7.46		
10-Set	2.58	4.52	6.46	8.40		
13-Set	1.77	3.10	4.43	5.76		
17-Set	2.50	4.38	6.25	8.13		
20-Set	2.36	4.12	5.89	7.66		
24-Set	2.73	4.77	6.82	8.87		
28-Set	2.82	4.93	7.04	9.15		
30-Set	1.96	3.42	4.89	6.36		
2-Oct	1.78	3.11	4.44	5.77		
4-Oct	1.84	3.22	4.60	5.98		
6-Oct	1.28	2.24	3.20	4.16		
8-Oct	2.11	3.70	5.28	6.86		
9-Oct	1.02	1.79	2.56	3.33		
11-Oct	2.16	3.79	5.41	7.03		
13-Oct	1.97	3.44	4.92	6.40		
15-Oct	1.34	2.34	3.34	4.34		
16-Oct	1.44	2.52	3.60	4.68		
18-Oct	1.47	2.57	3.67	4.77		
20-Oct	1.65	2.88	4.12	5.36		
22-Oct	2.02	3.54	5.05	6.57		
24-Oct	2.28	4.00	5.71	7.42		
27-Oct	1.72	3.01	4.30	5.59		
28-Oct	1.28	2.24	3.20	4.16		
29-Oct	1.50	2.63	3.75	4.88		
31-Oct	2.28	3.98	5.69	7.40		
2-Nov	1.70	2.97	4.24	5.51		
4-Nov	1.52	2.65	3.79	4.93		
6-Nov	2.30	4.02	5.74	7.46		
8-Nov	2.24	3.93	5.61	7.29		
10-Nov	1.74	3.05	4.35	5.66		
11-Nov	1.47	2.57	3.67	4.77		
12-Nov	1.94	3.40	4.85	6.31		
15-Nov	2.32	4.05	5.79	7.53		
17-Nov	1.92	3.36	4.80	6.24		
18-Nov	1.84	3.22	4.60	5.98		
19-Nov	1.61	2.82	4.03	5.24		
21-Nov	2.02	3.54	5.06	6.58		
22-Nov	1.35	2.37	3.38	4.39		
24-Nov	1.84	3.22	4.60	5.98		
25-Nov	2.04	3.57	5.10	6.63		
26-Nov	1.92	3.36	4.80	6.24		
30-Nov	2.52	4.41	6.30	8.19		
2-Dic	2.69	4.70	6.72	8.74		
4-Dic	2.24	3.92	5.60	7.28		
5-Dic	0.96	1.69	2.41	3.13		
	TOTAL	212.78	280.54	348.30	416.06	mm
		2127.79	2805.4	3483.01	4160.62	m3/ha

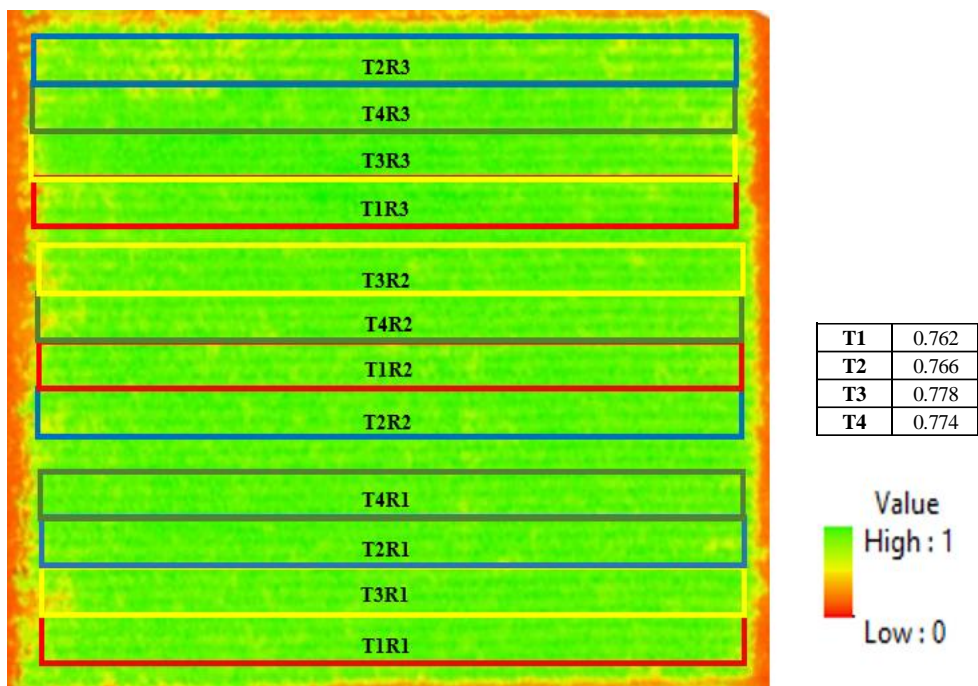
Anexo 13: Costo total de la instalación de riego tecnificado para 4 Ha

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO	TOTAL
01.01.00	RESERVORIO DE 480M3				
	RESERVORIO CONSTRUIDO EN SUELO DE 20MTS DE LARGO X 10MTS DE ANCHO X 3 METROS DE ALTO, CAPACIDAD 480M3, REVESTIDO CON GEOMEMBRANA DE IMPERMEABLES SOLDADO POR ELECTROFUSION, DES CARGA CENTRAL CON BRIDA DE PVC DE 4" E INGRESO AL RESERVORIO CON CAPTACION EN VESTRUCTURA DE CONCRETO, POLIGONALES DE HDPE.	Und	1.00	S/35,000.00	S/35,000.00
01.02.00	SISTEMA DE BOMBEO, SUCCION Y FILTRADO				
	AZUD	Und	1.00	S/18,799.00	S/18,799.00
01.03.00	SISTEMA DE CONTROL DE ELECTROBOMBAS DE SISTEMA DE RIEGO Y FERTILIZACION				
	TERMICA, BORNERA PARA ELECTROBOLLA DE NIVEL, RELE DE 24V PARA ENCENDIDO AUTOMATICO POR CONTROLADOR DE RIEGO, LAMPARA DE ENCENDIDO Y FALLA, SELECTOR PARA ARRANQUE AUTOMATICO Y MANUAL, 220 TRIFASICA, STECK TRIFASICA, CONTACTOR TRIFASICA 220, GUARDAMOTOR, RELE DE 24V PARA ENCENDIDO AUTOMATICO POR PLC, LAMPARA DE ENCENDIDO Y FALLA, SELECTOR PARA ARRANQUE AUTOMATICO Y MANUAL, 220 TRIFASICA, STECK	Und	1.00	S/8,000.00	S/8,000.00
01.04.00	SISTEMA DE FERTILIZACION				
	PEDROLLO	Und	1.00	S/5,705.00	S/5,705.00
01.05.00	SISTEMA DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION				
	PRIMA PURA 20% RECYCLADO, PLASTICR	Und	1.00	S/6,225.00	S/6,225.00
01.06.00	SISTEMA DE ELECTROVALVULAS DE CONTROL PARA RIEGO AUTOMATICO Y PORTARREGANTES				
	PRESION, RAIN INYECTADO, ERA PRIMA PURA 20% RECYCLADO, PLASTICR	Und	1.00	S/5,548.00	S/5,548.00
01.07.00	SISTEMA DE DISTRIBUCION LATERALES DE RIEGO POR GOTEO				
	TEE, P"º, AZUD AZUD PREMIER	Und	1.00	S/11,300.00	S/11,300.00
01.08.00	MANO DE OBRA E INSTALACION Y ACCESORIOS DEMAS				
	DE RIEGO Y FERTILIZACION AUTOMATICO Y PORTARREGANTES GOTEO DE ANCHO PARA ENTERRADO DE TUBERIA MATRIZ Y PORTALATERALES	Global	1.00	S/12,740.00	S/12,740.00
01.06.00	TRANSPORTE	Global	1.00	S/3,000.00	S/3,000.00
	TOTAL				S/100,092.00

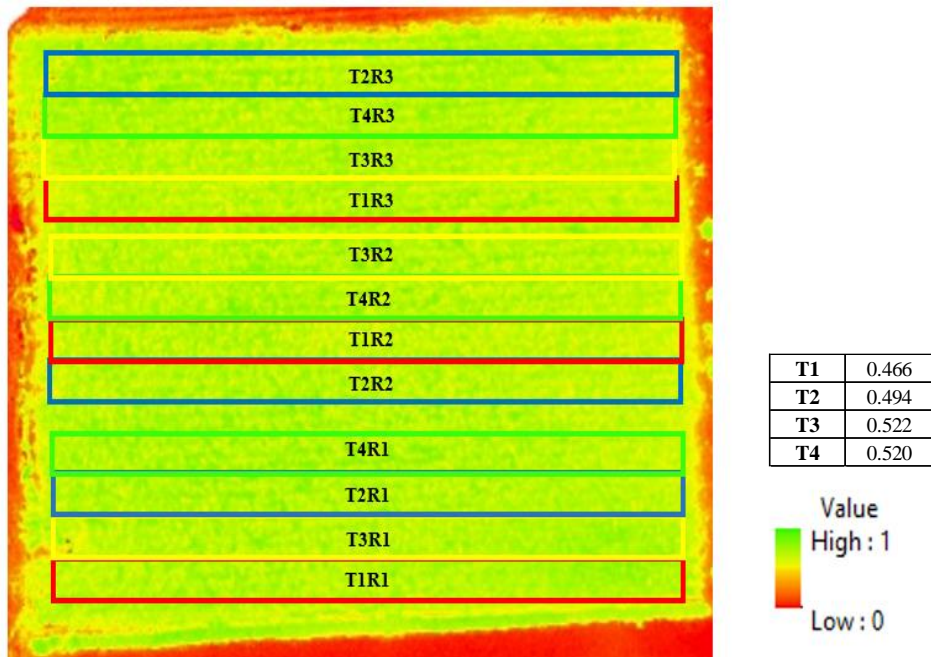
Anexo 14: Valor de NDVI del primer vuelo



Anexo 15: Valor de NDVI del quinto vuelo





Anexo 16: Valor del NDVI del noveno vuelo



Anexo 17: Cosecha del tratamiento 2



Anexo 18: Recibo de agua de la Unalm

		<p align="center">JUNTA DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRÁULICO RÍMAC AV. LAS TORRES LOTE 15 HUACHIPA, DISTRITO DE LURIGANCHO, CHOSICA PROVINCIA DE LIMA, DEPARTAMENTO DE LIMA</p> <p align="center">TARIFA DE AGUA CON FINES AGRARIOS SEGUN LEY DE RECURSOS HIDRICOS - LEY N°29338</p> <p align="center">Tel: 01-3562734</p>	
<p align="center">R.U.C 20211325276</p>		<p align="center">Fracc. 01/01 RECIBO 001 - N° 159186</p>	
<p>COMISIÓN DE USUARIOS ATE</p>	<p>COMITÉ DE USUARIOS</p>	<p>PERIODO 2022</p>	
<p>DATOS DEL USUARIO NOMBRE DEL USUARIO: <u>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</u></p>		<p>REGISTRO JUSHR N° 010090</p>	
<p>NOMBRE DEL PREDIO: <u>Av. Universidad sin - La Molina</u></p>		<p>NOMBRE DEL CANAL DE ABASTECIMIENTO LI UNIVERSIDAD</p>	
<p>Hás: <u>39.0000</u></p>			
<p>CONSUMO VOLUMEN M³: <u>526,500</u></p>		<p>FECHA DE EMISIÓN TARIFA S/. x M³: <u>0.12500074</u> <u>23/02/2022</u></p>	
<p>RETRIBUCIÓN ECONÓMICA S/. x M³: <u>0.0030</u></p>		<p>TARIFA DE AGUA S/: <u>68,050.71</u></p>	
<p align="center">AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA</p>		<p align="center">ADMINISTRACIÓN LOCAL DEL AGUA</p>	
<p align="center">TARIFA DE AGUA</p>		<p align="center">DETALLE DEL IMPORTE</p>	
<p>RETRIBUCIÓN ECONÓMICA: <u>1,579.50</u></p>		<p>COMISIÓN DE USUARIOS: <u>24,838.32</u></p>	
<p>JUNTA DE USUARIOS: <u>39,000.00</u></p>		<p>FISCALIZACIÓN JUSHR: <u>1,974.57</u></p>	
<p>JUNTA NACIONAL DE USUARIOS: <u>658.32</u></p>		<p>APORTES VOLUNTARIOS: <u>0.00</u></p>	
<p>TOTAL A PAGAR: <u>68,050.71</u></p>		<p>FECHA DE VENCIMIENTO <u>30/04/2022</u></p>	
<p align="center">MENSAJE AL USUARIO</p>			
<p>DEUDA ANTERIOR: Vencida la fecha de pago, se cobrará un 1% mensual, y la cobranza se hará por vía coactiva y/o corte de la dotación de agua de riego, según consta en la ley N°29338 y el D.S 001-2010-AG, Ley de Recursos Hídricos y su reglamento respectivamente. NOTA: - La cancelación de este recibo solo reconoce el cumplimiento de la utilización del agua, más no la propiedad del terreno. - Pasado los 15 días de recepcionado el presente documento, no hay lugar a reclamos.</p>			
<p>CARGO Fracc. 01/01</p>		<p align="center">1ª NOTIFICACIÓN DE PAGO TARIFA DE AGUA CON FINES AGRARIOS JUNTA DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRÁULICO RÍMAC</p>	
<p>RECIBO N° 159186</p>		<p align="right">,001-159186</p>	
<p>PERIODO: <u>2022</u></p>		<p>RECIBIDO POR: _____</p>	
<p>NOMBRE DEL USUARIO: <u>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</u></p>		<p>D.N.I.: _____</p>	
<p>NOMBRE DEL PREDIO: <u>Av. Universidad sin - La M</u></p>		<p>FECHA: _____</p>	
<p>REGISTRO N° <u>010090</u></p>		<p>TOTAL S/., <u>68,050.71</u></p>	
<p align="center">FIRMA _____</p>			
<p align="center">PREVIA VERIFICACIÓN DE LOS DATOS CON EL ORIGINAL</p>			
<p align="center">INFORMACIÓN SOBRE PAGOS, ESCRIBIR A COBRANZA@JURIMAC.COM</p>			
<p align="center">  Junta de usuarios rimac  Junta de usuarios rimac  www.jurimac.com </p>			

Anexo 19: Ficha técnica de la cinta de gotero

Streamline™ X
 Gotero integral no auto compensado, de alta resistencia a la obstrucción, para aplicaciones de una sola temporada

→ 12060 - 12080 - 16050 - 16060 - 16070 - 16080 - 16100 - 22050 - 22060 - 22070 - 22080 - 22100

Resistente Alta resistencia a la obstrucción Laberinto autolimpiante

/Beneficios & Características

- **Resistente** Streamline™ X es la manguera de pared delgada más resistente jamás fabricada, incorpora una superficie acanalada única que actúa como una barrera entre el suelo y la manguera, lo que hace que el tendido y la recuperación sean más suaves que nunca.
- **Durable** Streamline X tiene incorporado costillas internas y externas que le da mayor resistencia a los daños mecánicos.
- **Alta resistencia a la obstrucción** Con laberinto autolimpiante que elimina los residuos durante la operación.
- **Ampia área de filtración** Garantiza un rendimiento óptimo incluso en condiciones de agua duras, evitando la entrada de sedimentos en los goteros.
- **Turbojet™** El laberinto asegura amplios pasajes de agua, gran sección transversal profunda y amplia que mejora la resistencia a la obstrucción.

→ DATOS TÉCNICOS DE LOS GOTEROS

12060, 16050, 16060, 16070, 22050, 22060, 22070 - Espesor de pared de las mangueras de 0,13, 0,15, 0,18 mm

FLUJO* (L/H)	PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA** (BAR)	DIMENSIONES DE PASAJES DE AGUA ANCHO-PROFUNDIDAD-LARGO (MM)	ÁREA DE FILTRACIÓN (MM ²)	CONSTANTE K	EXPONENTE X	FILTRACIÓN RECOMENDADA (MICRÓN)/(MESH)
0.35	0.8 hasta 1.9	0.35 x 0.34 x 23	12	0.116	0.48	130/120
0.80		0.59 x 0.33 x 25	12	0.265	0.48	130/120
1.10		0.51 x 0.44 x 13	14	0.392	0.45	130/120
1.60		0.65 x 0.55 x 13	15	0.568	0.45	130/120
2.20		0.72 x 0.65 x 13	15	0.780	0.45	130/120
2.80		0.84 x 0.73 x 13	15	0.993	0.45	200/80

*Caudal a 1,0 bar de presión ** Según el espesor de pared de la manguera y el diámetro interno

→ DATOS TÉCNICOS DE LOS GOTEROS

12080, 16080, 16100, 22080, 22100 - Espesor de pared de las mangueras de 0.20, 0.25 mm

FLUJO* (L/H)	PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA** (BAR)	DIMENSIONES DE PASAJES DE AGUA ANCHO-PROFUNDIDAD-LARGO (MM)	ÁREA DE FILTRACIÓN (MM ²)	CONSTANTE K	EXPONENTE X	FILTRACIÓN RECOMENDADA (MICRÓN)/(MESH)
0.35	1.0/1.1/1.2/1.4	0.35 x 0.34 x 23	12	0.116	0.48	130/120
0.72		0.59 x 0.33 x 25	12	0.238	0.48	130/120
1.05		0.51 x 0.44 x 13	14	0.373	0.45	130/120
1.60		0.65 x 0.55 x 13	15	0.568	0.45	130/120
2.20		0.72 x 0.65 x 13	15	0.780	0.45	130/120
2.80		0.84 x 0.73 x 13	15	0.993	0.45	200/80

*Caudal a 1,0 bar **Según el espesor de pared de manguera y el diámetro interno

→ DATOS TÉCNICOS DE LAS MANGUERAS

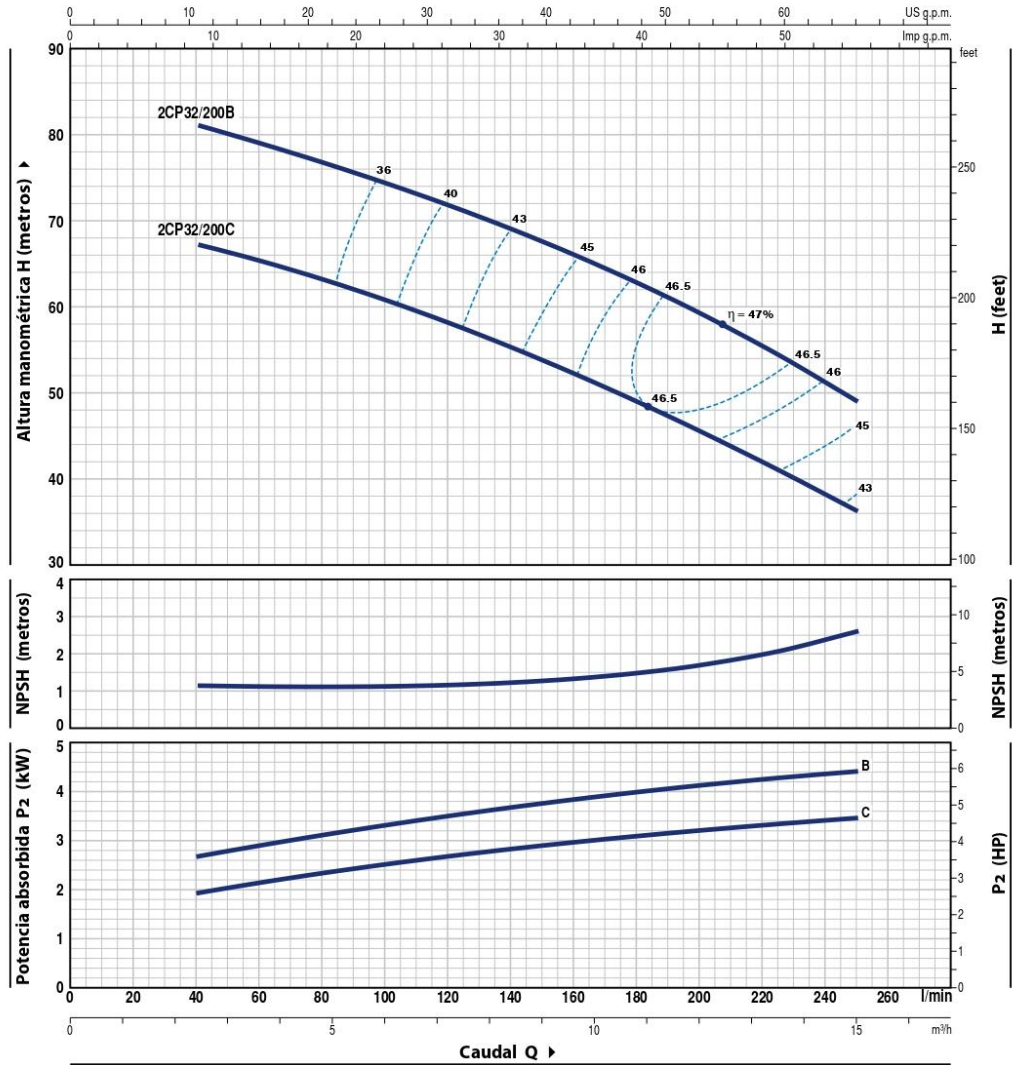
MODELO	DIÁMETRO INTERIOR (MM)	ESPESOR DE PARED (MM)	DIÁMETRO EXTERIOR (MM)	PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA (BAR)	PRESIÓN MÁXIMA DE LAVADO (BAR)	KD
12060	16.20	0.15	16.50	1.60	1.8	0.15
12080	16.20	0.20	16.60	1.90	2.2	0.15
16050	16.20	0.13	16.46	0.80	0.9	0.10
16060	16.20	0.15	16.50	1.00	1.2	0.10
16070	16.20	0.18	16.56	1.10	1.3	0.10
16080	16.20	0.20	16.60	1.20	1.4	0.10
16100	16.20	0.25	16.70	1.40	1.6	0.10
22050	22.20	0.13	22.56	0.75	0.9	0.01
22060	22.20	0.15	22.50	0.80	0.9	0.01
22070	22.20	0.18	22.56	0.90	1.0	0.01
22080	22.20	0.20	22.60	1.00	1.2	0.01
22100	22.20	0.25	22.70	1.10	1.3	0.01

Anexo 20: Ficha técnica de la bomba 2CP 32/200C

2CP 32/200

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



MODELO	POTENCIA (P ₂)		▲	Q	m ³ /h														
	kW	HP			0	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	12	13.5	15			
Trifásica				l/min	0	40	60	80	100	120	140	160	180	200	225	250			
2CP 32/200C	3	4	IE3	H metros	70	67	65	63	60.5	58	55	52	48.5	45.5	41	36			
2CP 32/200B	4	5.5		85	81	79	77	74.5	71.5	69	66	62.5	59	54.5	49				

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)