

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA**



**APLICACIÓN DE TRES PERIODOS DE INTERMITENCIA DE
RIEGO POR GRAVEDAD EN EL CULTIVO DE MAÍZ MORADO
(Zea mayz L.) VARIEDAD CARAZ PMV 581, Y SU INCIDENCIA EN
EL RENDIMIENTO Y REQUERIMIENTO HÍDRICO - C.I.E. ALLPA
RUMI – MARCARA**

PRESENTADO POR

Bach. VALVERDE ÑIVIN, Adel Gilver

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

ASESOR:

Dr. MEJIA ANAYA, Teofanes

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

2022





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería Agrícola **ADEL GILVER VALVERDE ÑIVIN**, denominado: "**APLICACIÓN DE TRES PERIODOS DE INTERMITENCIA DE RIEGO POR GRAVEDAD EN EL CULTIVO DE MAÍZ MORADO (Zea mayz L.) VARIEDAD CARAZ PMV 581, Y SU INCIDENCIA EN EL RENDIMIENTO Y REQUERIMIENTO HÍDRICO - C.I.E. ALLPA RUMI - MARCARA**", Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (*)

QUINCE (15)

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO AGRICOLA** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 11 de Julio del 2022


Dr. GUILLERMO CASTILLO ROMERO
PRESIDENTE


Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY
SECRETARIO


Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE
VOCAL


Dr. TEOFANES MEJIA
ANAYA
Patrocinador

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA** (19 – 20), **APROBADO CON DISTINCIÓN** (17 – 18), **APROBADO** (14 -16), **DESAPROBADO** (00 – 13).



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada **"APLICACIÓN DE TRES PERIODOS DE INTERMITENCIA DE RIEGO POR GRAVEDAD EN EL CULTIVO DE MAÍZ MORADO (Zea mays L.) VARIEDAD CARAZ PMV 581, Y SU INCIDENCIA EN EL RENDIMIENTO Y REQUERIMIENTO HÍDRICO - C.I.E. ALLPA RUMI -MARCARA"**, presentada por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **ADEL GILVER VALVERDE ÑIVIN**, y sustentada el día 11 de JULIO del 2022, con Resolución Decanatural N° 274-2022-UNASAM-FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 11 de julio de 2022.



Dr. GUILLERMO CASTILLO ROMERO
PRESIDENTE



Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY
SECRETARIO



Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE
VOCAL



Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA
ASESOR



Dedicatoria

A la patrona de mi pueblo Santa Ana de Coyllur quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para perseverar y no desmayar frente a las dificultades que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder la dignidad.

A mi Padre David Valverde Huánuco quien con sus palabras de aliento no me dejó caer y me motivo a seguir adelante, ser perseverante para cumplir mis metas.

A mi Madre Dionisia Nivin Lliuya por su atención desmedida durante la vida universitaria, brindándome las fuerzas necesarias para alcanzar mis sueños.

A mis hermanos Miguel, Mery y Russbel por su apoyo incondicional y por estar siempre animándome con sus consejos.

A Lisbeth Cochachin Robles por apoyarme moralmente a cumplir con mis objetivos y metas

Agradecimiento

Agradezco a todos los catedráticos de la Facultad de Ciencias Agrarias y la Carrera Profesional de Ingeniería Agrícola por haber contribuido en mi formación profesional.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el doctor Teófanos Mejía Anaya por su orientación acertada y apoyo en la culminación de la presente investigación.

Agradezco a todas las personas que me brindaron su apoyo en las distintas fases de la investigación, familiares y amigos.



Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice	iv
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras	viii
Índice de Anexos	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
I. Introducción	1
1.1. Objetivo General	3
1.2. Objetivos Específicos.....	3
II. Marco Teórico	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases Teóricas.....	7
2.2.1. <i>Maíz Morado</i>	7
2.2.2. <i>Riego</i>	14
2.2.3. <i>Requerimiento de Agua en los Cultivos</i>	14
2.2.4. <i>Necesidades Hidricas del Maíz Morado</i>	15
2.2.5. <i>Calculos de las Necesidades Hidricas</i>	15
2.2.6. <i>Mejoras Tecnológicas del Riego</i>	17
2.2.7. <i>Riego Intermitente</i>	17
2.2.8. <i>Principios del Riego Intermitente</i>	18
2.2.9. <i>Consideraciones en Riego Intermitente</i>	18
2.2.10. <i>Medición de humedad con tensiometros</i>	20
2.2.11. <i>Factores que Afectan el Rendimiento de los Cultivos</i>	22

2.3.	Definición de Terminos.....	24
2.4.	Hipótesis.....	27
III.	Materiales y Métodos	28
3.1.	Materiales	28
3.1.1.	<i>Material Biológico</i>	28
3.1.2.	<i>Herramientas de Campo</i>	28
3.1.3.	<i>Insumos</i>	28
3.1.4.	<i>Equipos</i>	29
3.2.	Métodos.....	29
3.2.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	29
3.2.2.	<i>Diseño de la Investigación</i>	29
	Ubicación Espacial Geográfica	32
3.3.	Población y Universo.	38
3.4.	Unidad de Analisis y Muestra.	38
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	39
3.6.	Recopilación de Datos de Campo	39
3.7.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	39
3.8.	Parámetros a evaluados	40
3.8.1.	<i>Límites Hídricos del Suelo</i>	40
3.8.2.	<i>Humedad en el Perfil del Suelo</i>	41
3.8.3.	<i>Evaluación de la Humedad de Suelo</i>	44
3.8.4.	<i>Rendimiento del cultivo</i>	44
3.9.	Procedimiento de la investigación	46
3.9.1.	<i>Ubicación del Área Del Proyecto</i>	46
3.9.2.	<i>Muestra de Suelo</i>	46
3.9.3.	<i>Levantamiento Topográfico</i>	46
3.9.4.	<i>Preparación del Terreno</i>	47

3.9.5. <i>Habilitado de Sistema de Riego</i>	47
3.9.6. <i>Instalación del Experimento</i>	48
3.9.7. <i>Siembra</i>	49
3.9.8. <i>Control Fitosanitario y Abonamiento</i>	49
3.9.9. <i>Riego</i>	50
3.9.10. <i>Determinación de Caudal Máximo no Erosivo</i>	51
3.9.11. <i>Caudal Aplicado (Qa)</i>	51
3.9.12. <i>Cálculo de Láminas de Riego</i>	52
3.9.13. <i>Pendiente de los Surcos</i>	52
IV. <i>Resultados y Discusión</i>	53
4.1. <i>Caudal Aplicado</i>	53
4.2. <i>Profundidad de Humedecimiento</i>	55
4.3. <i>Rendimiento del Cultivo</i>	61
V. <i>Conclusiones</i>	65
VI. <i>Recomendaciones</i>	66
VII. <i>Bibliografía</i>	67
VIII. <i>Anexos</i>	74

Índice de Tablas

Tabla 01: Factores que afectan el rendimiento de los cultivos (Fundación Venezuela, 2011).	22
Tabla 02: Valores de análisis de suelo del campo experimental.	33
Tabla 03: Interpretación análisis de agua de riego.	34
Tabla 04: Registro de temperatura media (°C) del lugar de ejecución.	37
Tabla 05: Análisis de varianza generalizado para un diseño de bloque completo al azar (Vasquez A. , 2000).	40
Tabla 06: Registros de lectura de los tensiómetros.	41
Tabla 07: Disponibilidad de agua en los suelos según textura Adaptado de Best Management practices for corn production in South Dakota. South Dakota State University.	44
Tabla 08: Programa de aplicaciones sanitarias del cultivo de maíz morado en condiciones experimentales.	50
Tabla 09: Valores de constantes según la textura de suelo (Huachos, 2009).....	51
Tabla 10: Valores y análisis de varianza para el caudal aplicado (l/s) según bloques y tratamientos.....	53
Tabla 11: Valores y análisis de varianza para profundidad de humedecimiento (cm) a inicio de surco según bloques y tratamientos.	55
Tabla 12: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para profundidad de humedecimiento a inicio de surco según lo periodos de intermitencia	57
Tabla 13: Valores y análisis de varianza para profundidad de humedecimiento (cm) a medio surco según bloques y tratamientos.	58
Tabla 14: Valores y análisis de varianza para profundidad de humedecimiento (cm) a final del surco según bloques y tratamientos.	59
Tabla 15: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para profundidad de humedecimiento a inicio de surco según lo periodos de intermitencia.	60
Tabla 16: Valores y análisis de varianza para rendimiento del cultivo (Ton/ha) según bloques y tratamientos.	61
Tabla 17: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para rendimiento del cultivo (Ton/Ha) según bloques.....	62
Tabla 18: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para rendimiento del cultivo (Ton/Ha) según tratamientos.	63

Índice de Figuras

Figura 1: Lectura común del tensiómetro de 100 a 0 cbars o kPa (Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Monterey, 2015).....	21
Figura 2: Unidad experimental conformada por 150 plantas de maíz morado.	30
Figura 3: Distribución de la parcela experimental.	31
Figura 4: Recta de interpolación lineal.	36
Figura 5: Unidad de muestreo.	38
Figura 6: Levantamiento topográfico del campo experimental.	46
Figura 7: Desterronado de los surcos formados.....	47
Figura 8: Instalación de cintas de riego y compuertas de polietileno de 2” 48	48
Figura 9: Método de Pitágoras para formar los cuadrados en el terreno.....	48
Figura 10: Siembra de maíz morado.	49
Figura 11: Medias para profundidad de humedecimiento a inicio de surco.	57
Figura 12: Medias para profundidad de humedecimiento a medio surco.	59
Figura 13: Profundidad de humedecimiento a inicio de surco según lo periodos de intermitencia.	60
Figura 14: Medias de rendimiento del cultivo (Ton/Ha) según bloques y tratamientos. ..	63
Figura 15: Instalación de mangas para riego intermitente.	80
Figura 16: Instalación de compuerta de 2”.	80
Figura 17: Muestreo de suelo para análisis de laboratorio.....	81
Figura 18: Instalación de cámara de carga para sistema de riego intermitente.....	81
Figura 19: Vista general de manga e riego con compuertas.	82
Figura 20: Recepción de muestra de suelo para análisis de laboratorio.....	82
Figura 21: Vista de la parcela experimental.....	83
Figura 22: Evaluación de profundidad de humedecimiento del suelo.	83
Figura 23: Evaluación de profundidad de humedecimiento a inicio del surco 84	84
Figura 24: Evaluación de caudal aplicado a los surcos.....	84

Figura 25: Vista de la cámara de carga.	85
Figura 26: Evaluación de caudal aplicado.....	85
Figura 27: Proceso de cosecha del cultivo.	86
Figura 28: Vista de la producción lograda en cada unidad experimental	86
Figura 29: Proceso de despancado para evaluación de producción	87
Figura 30: Pesado de la producción según tratamientos	87
Figura 31: Vista de las producciones logradas según bloques y tratamientos.	88
Figura 32: Vista de las mazorcas cosechadas en el experimento.....	88

Índice de Anexos

Anexo 1: Análisis de suelos del campo experimental.	74
Anexo 2: Resultados de análisis de agua.	75
Anexo 3: Matriz de datos de Rendimiento.....	76
Anexo 4: Matriz de datos de profundidad de humedecimiento	77
Anexo 5: Matriz de datos de caudal aplicado.	78
Anexo 6: Panel fotográfico	80

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo aplicar tres periodos de intermitencia del riego por gravedad en el cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad Caraz PMV 581 en Centro de Investigación y Experimentación. Allpa Rumi – Marcará, y sus efectos en el rendimiento y requerimiento hídrico en el Centro de Investigación y Experimentación Allpa Rumi de Marcará. Así mismo, los objetivos específicos fueron: evaluar el caudal del agua, la profundidad de humedecimiento en el suelo y el rendimiento del cultivo (t/Ha). Los periodos de intermitencia correspondieron de 5 (0.1972 l/s), 10 (0.1892 l/s) y 15 minutos (0.2071 l/s), aplicados a través de mangas de polietileno de 4” asociados a las válvulas de compuerta de 2”. El suelo del campo experimental fue de tipo franco arenoso con reacción ligeramente neutra. El tipo de investigación fue aplicada, se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos, cuatro bloques y 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo representada por 5 surcos de 15 m. El aforo del agua en promedio del riego en el surco fue de 0,1954 l/s, el cual no presentó diferencia estadística significativa en todos los puntos de salida. Los resultados demuestran que, en un suelo franco arenoso, con el riego intermitente de 10 minutos se puede lograr el humedecimiento uniforme a lo largo del surco a comparación del riego de flujo continuo. Los rendimientos más altos se obtuvieron mediante el periodo de intermitencia de 10 y 15 minutos con un beneficio de 5.799 t/Ha y 5.382 t/Ha. Los rendimientos más bajos se obtuvieron con un periodo de intermitencia de 5 minutos y el riego continuo (testigo) con 5.174 t/Ha y 4.132 t/Ha, respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda emplear y difundir la tecnología de riego intermitente de 10 minutos para la producción de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad Caraz PMV 581 en los suelos francos arenosos.

Palabras clave: maíz morado, riego intermitente, comportamiento hidrico.

Abstract

This research studied the application of three periods of intermittent irrigation by gravity in the cultivation of purple corn (*Zea mays* L.) variety caraz pmv 581, and its impact on yield and water requirement at the Allpa Rumi Research and Experimentation Center – Marcara, with the main objective of demonstrating the effect of intermittent periods on the hydric behavior of water in the soil and the yield of the purple corn crop. Also, as specific objectives, it was proposed to evaluate the flow, depth of wetting in the soil and crop yield (t/Ha). The intermittence periods corresponded to 5 minutes (0.1972 l/s), 10 minutes (0.1892 l/s) and 15 minutes (0.2071 l/s), applied through 4” polyethylene sleeves associated with 2” gate valves. The soil of the experimental field was sandy loam type with slightly neutral reaction. A randomized complete block experimental design was used, with four treatments, four blocks and 16 experimental units. Each experimental unit was represented by 5 furrows of 15 m. The average capacity of the irrigation water in the furrow was 0.1954 l/s, which did not present a significant statistical difference in all the outlet points. The results show that, in a sandy loam soil, intermittent 10-minute irrigation can achieve more uniform wetting along the furrow than continuous-flow irrigation. On the other hand, the highest yields were obtained with the use of an intermittent period of 10 and 15 minutes with a yield of 5,799 t/Ha and 5,382 t/Ha. The lowest yields were obtained with an intermittency of 5 minutes and continuous irrigation (control) with 5,174 t/Ha and 4,132 t/Ha, respectively.

Based on the results obtained, in sandy loam soils, it is recommended to use and spread the 10-minute intermittent irrigation technology for the production of purple corn (*Zea mays* L.) variety Caraz PMV 581.

Keywords: corn purple, irrigation intermittent minutes.

I. Introducción

El Perú es un país agrícola, si bien se viene produciendo una variedad de productos en sus suelos, es importante añadir el conocimiento y aplicación de tecnologías de riego que puedan convivir con la idiosincrasia de los agricultores. Además, la tecnificación del riego por gravedad, así como su variante intermitente deben ser la apertura para el uso del agua en el regadío bajo esta modalidad, con el objetivo de que estos trabajos mejoren la eficiencia de riego e influyan en obtener mejores productos y mayores rendimientos de los cultivos.

Pasar del riego por gravedad al tecnificado significa un enorme cambio tecnológico; debido a que el primero es complicado en el manejo para los agricultores, principalmente en su programación de acuerdo al ciclo del cultivo, la correcta determinación del tiempo de riego y la adecuada manipulación de los equipos para lograr un buen manejo del agua (Calvache, 2012). Así, las opciones de tecnologías modernas de riego por elegir para los agricultores son limitadas en muchas zonas agrícolas del mundo, inclusive en Estados Unidos, donde el riego por inundación sigue siendo una práctica habitual. El alcance limitado de la adopción se debe en parte a una serie de problemas de resistencia a la escalabilidad, operación y mantenimiento de las mismas (Massey, Walker, Anders, Cade, & Avila, 2014).

Los métodos de riego por gravedad tienen claras ventajas en cuanto a los costos de inversión y operativos se refieren. Pero, la información disponible relativa al riego por superficie indica que es poco uniforme y muy ineficiente, por lo tanto, desperdicia abundante agua y es muy complicado de instrumentar (García, 2011). Bajo el enfoque de una compleja situación de adopción de tecnologías de riego y la notable ineficiencia del mismo por gravedad, los investigadores estadounidenses idearon el riego intermitente, como una alternativa a este problema. En el riego intermitente, también denominada por pulsos o discontinuo, el agua es aplicada a los surcos durante un periodo breve de tiempo, luego se corta, se espera y se inicia nuevamente el ciclo (Miranda & García, 2015). Esta técnica consiste en aplicar agua a los surcos en intervalos de tiempo cortos pero frecuentes, en un mismo periodo de riego (Perat, 2016).

El riego por pulsos fue originalmente concebido como un medio para alcanzar más rápido el avance del frente de agua en unidades largas, para luego lograr que su aplicación minimice el

escurrimiento y el aumento de eficiencia (Romay, Génova, Salgado, & Zabala, 2011). Lo anterior se debe a que la cantidad de agua percolada en la cabecera de los surcos se reduce considerablemente (Miranda & García, 2015).

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se realizó un estudio en la aplicación de tres periodos de intermitencia de riego por gravedad en el cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad Caraz PMV 581, y su incidencia en el rendimiento y requerimiento hídrico en el Centro de Investigación y Experimentación Allpa Rumi – Marcará, además de estudiar los tres periodos de intermitencia en el riego por gravedad adaptadas a las condiciones de Marcará. Para los datos meteorológicos se regionalizo datos de las estaciones Saucepamapa, Recuay y Chavín de Huantar, realizando un proceso de interpolación de puntos para hallar los valores de referencia de la localidad en el cultivo de maíz morado. Además, se comparó con el riego por gravedad continuo.

Este cultivo ha adquirido gran importancia en el Perú, tanto para consumo nacional como para exportación; ya que el rendimiento ha variado de 35 a 60 t/Ha. Al ser un cultivo altamente rentable y de mucho potencial; surge la idea de mejorar el rendimiento con la aplicación de nuevas tecnologías en un ensayo, determinando las diferencias en el rendimiento basado en las frecuencias de riego. Por ello, se desea conocer si a una mayor frecuencia de riego y al estar sometida a nuevas condiciones del regadío, se obtendrá un mayor rendimiento; para lo cual se determinó la cantidad de agua a aplicar, en cada frecuencia de riego y cobertura, basada en parámetros climáticos.

La localidad de Marcará se caracteriza por presentar una agricultura de subsistencia, donde el pequeño productor cultiva el maíz morado usando el riego por gravedad y con notables deficiencias tecnológicas en su aplicación, la investigación se justifica ya que el maíz, es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional, tanto por su elevada incidencia social, ya que las tres cuartas partes de la producción total proviene de unidades familiares campesinas, la mayoría de ellas de economías de subsistencia.

El presente trabajo de investigación se realizó, al observar la inexistencia de estudios locales orientados a mejorar la eficiencia de la aplicación del agua de riego por gravedad, especialmente con el riego intermitente. A nivel de la Facultad de Ciencias Agrarias, estos trabajos representan una de las primeras experiencias para mejorar la eficiencia del riego por gravedad, especialmente

la de aplicación. Es necesario seguir esta línea de investigación en el cultivo de maíz morado y otros cultivos para analizar su incidencia en el rendimiento y requerimiento hídrico. Se entiende que este método es una alternativa tecnológica no utilizada por agricultores a nivel del Callejón de Huaylas. La investigación contribuirá con sus resultados a ampliar el conocimiento de la aplicación de los tres periodos de intermitencia en el rendimiento del cultivo de maíz morado y analizar su rendimiento.

1.1. Objetivo General

- Aplicar tres periodos de intermitencia del riego por gravedad en el cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad Caraz PMV 581 en Centro de Investigación y Experimentación. Allpa Rumi – Marcará.

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas y químicas del suelo y agua a usar en el experimento.
- Designar tres periodos de riego intermitente (T1: 5 minutos, T2: 10 minutos y T3: 15 minutos) frente al tratamiento control (T0: riego continuo), y evaluar su comportamiento en el suelo.
- Determinar los rendimientos del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) cultivar PMV 581 según los tratamientos.

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Cabrera (2016), en su investigación *La respuesta de tres láminas de riego por campaña, en el crecimiento y rendimiento de cuatro variedades de maíz morado; variedad PMV-581, variedad Cajamarca-Inia 601, var. Inia 615 – Negro Canaan y var Morado Canteño, bajo condiciones de riego localizado por goteo*. Concluye que el mayor rendimiento comercial por efecto de la lámina de riego aplicada se presenta en L1: ETc = 420 mm con 9.182 t/Ha de mazorcas.

Vuelvas (2018), en una investigación menciona que en el tema del manejo del agua en la agricultura intervienen un gran número de factores que son una parte del sistema de agua-suelo-planta-clima, el cual determina el éxito o fracaso de un cultivo. Este mismo autor comenta que las pérdidas por infiltración en canales y regaderas durante la conducción del agua ocurren por la falta de revestimiento de los canales, lo que ocasiona pérdidas del 40% aproximadamente, que significa tener menor volumen de agua disponible en la parcela. Lo anterior ocasiona mayor tiempo de operación de los equipos para aplicar la lámina de riego necesaria. Las pérdidas por percolación y escurrimiento ocurren porque generalmente se carece de un diseño del riego y los terrenos están desnivelados. Este tipo de pérdidas se pueden disminuir haciendo un buen diseño del riego. En 1979 los Drs. Glen Stringham, Jack Keller y Alvin Bishop introdujeron la técnica de regar por pulsos, concebido como un medio para lograr el avance del frente de agua con mayor eficacia en unidades largas, para luego establecer un tiempo promedio de aplicación de agua que minimice el escurrimiento al pie “aumento de la eficiencia” (Romay, Génova, Salgado y Zabala, 2016).

Herrera y Vázquez, (2019) en su investigación conciben que el tema del agua es prioritario y urgente, la variación de las condiciones climáticas, la recurrencia de las sequías, aunado a la necesidad de incrementar la producción de alimentos y el aumento de la demanda de agua para uso urbano e industrial, son factores que determinan la atención y solución de manera integral de las limitantes y de los problemas como: El agua no se percibe como un elemento estratégico y los bajos precios dan la falsa sensación de abundancia. Se sigue ampliando la brecha entre necesidades y disponibilidad de agua. La insuficiencia de recursos ha limitado la inversión en infraestructura hídrica necesarias para garantizar la sustentabilidad de las actividades productivas. En la actualidad

la importancia del recurso del agua es cada vez más relevante en el mundo, tal situación obliga a definir estrategias para realizar el uso sostenible del recurso en los diferentes sectores, tales como el agrícola, pecuario, industrial y doméstico, la mayor demanda se concentra en el uso agrícola con el 75% del volumen disponible.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, s.f.), hace mención que la agricultura es, con diferencia, el mayor consumidor de agua, representa el 70% de las extracciones, llegando incluso al 90% en algunas regiones. Aproximadamente el 20% del agua utilizada en el mundo procede de fuentes de agua subterráneas (renovables o no) y esta proporción está aumentando con rapidez, especialmente en regiones secas.

En México el uso del agua para la agricultura representa el 77%, se distribuye en las áreas de los Distritos de Riego y las Unidades de Riego, resultando una superficie total de riego de 6.46 millones de hectáreas (Herrera y Vázquez, 2017).

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (INTA, 2018) señala que de los 6.46 millones de hectáreas de la superficie de riego en México el 90% utiliza el sistema de riego por gravedad. El riego por gravedad es el método más conocido y utilizado en México, la aplicación del mismo está asociado a bajas eficiencias en el uso del agua (del 40 a 60%), debido a que se presentan grandes consumos de agua tanto en surcos o melgas de grandes longitudes y pérdidas por escurrimientos al final. Para lograr eficiencias aceptables se desarrollaron conceptos como “pendiente cero”, manejo de surcos cortos y el riego intermitente, utilizando tuberías con compuertas o aplicaciones de agua con sifones (Vuelvas, 2018).

La agricultura en Sonora es la actividad de mayor importancia en el estado, el Valle del Yaqui es una de las principales regiones agrícolas en el sur del estado, el cual es reconocido por su gran modernidad en materia de agricultura. A pesar de ello, se presentan grandes desperdicios de agua a la hora de efectuar los riegos, a causa de las condiciones de la infraestructura y el tipo de suelo, pero principalmente al factor humano, siendo este último quien hace uso erróneo del manejo al momento de efectuar los riegos (Caje.me, s.f.).

Rodríguez y otros (2013), en su investigación *La efectividad del riego intermitente y la comparación con el flujo continuo asociado al cultivo de la cebolla*. Tuvo como objetivo evaluar

la efectividad del riego intermitente. Determinaron la lámina de escurrimiento, las pérdidas de suelo y la eficiencia de aplicación en el área efectiva de cada tratamiento. Los resultados indican que la mayor lámina escurrida como promedio la alcanzó el tratamiento de flujo continuo con pérdidas de $2,87 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ que supera 2,7 veces al tratamiento de riego intermitente $1,01 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ regados. La mayor pérdida de suelo por escorrentía la alcanzó el tratamiento “testigo”, el cual supera a 4,9 los procedimientos. Finalmente concluyen que el riego intermitente permite aumentar la eficiencia del riego de aplicación en un 23 % con un 77,2 % del volumen de agua aplicado por el tratamiento testigo. Con la técnica de riego intermitente se puede mejorar los indicadores técnicos y productivos del riego superficial.

Flores y otros (2014), indican que la superficie cultivada de maíz en el mundo es aproximadamente de 1 527 millones de hectáreas, de las cuales 19.71 % corresponde a la agricultura de riego y gran parte de dicha superficie presenta problemas por incertidumbre en los volúmenes de agua disponibles en sus fuentes de abastecimiento.

Chiaradia, y otros (2013), presentan los resultados obtenidos después del primer año de una actividad de monitoreo llevada a cabo en la Estación Experimental Ente Nazionale Risi de Castello d'Agogna-Mortara (PV, Italia), donde los principales términos del balance hídrico han sido medidos o estimados durante la temporada de cultivo completo. Los resultados aquí presentados muestran que el método de inundación con retraso en la siembra en seco requiere una cantidad de agua bastante similar con respecto al método de inundación tradicional, 2200 mm y 2491 mm, respectivamente; mientras que la técnica aeróbica requiere un orden de magnitud menor de agua (298 mm), la evapotranspiración fue casi la misma para los tres métodos (578 mm, 555 mm y 464 mm, respectivamente, para los métodos tradicionales de inundación, inundación seca retardada y métodos aeróbicos), la percolación fue muy alta en el caso de los dos métodos inundados y muy limitado en el caso del cultivo aeróbico con riegos intermitentes. Estos resultados sugieren que, si el cultivo aeróbico del arroz representa una técnica de ahorro de agua altamente efectiva a escala de campo.

McIvor & Ladefoged (2018), en el contacto preeuropeo Hawaii, desarrollaron sistemas agrícolas de regadío inundados en zonas húmedas de barlovento con sistemas de secano que dominaban las zonas de sotavento. En áreas selectas que carecen de lluvia para la producción de

tierras secas, el riego de corrientes intermitentes habría sido una alternativa viable. Usaron modelos computacionales de dinámica de fluidos dentro de un modelo de elevación digital basado en datos de escaneo láser terrestre de alta resolución para investigar el riego intermitente dentro de un área de estudio de 2.4 ha del Sistema de Campo Waimea. Los documentos de análisis-variación identificaron que las zonas con riegos intermitentes mostraban mejores resultados frente a las zonas de riego por inundación.

Actualmente, se está llevando a cabo el proyecto Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT) el cual tiene como uno de los objetivos principales el hacer uso racional del agua de riego en las parcelas e incrementar la eficiencia a nivel parcelario (Hernández et.al, 2018). Por tal motivo, el presente estudio tiene como finalidad buscar una nueva alternativa para optimizar el uso racional del agua y mejorar la eficiencia de su aplicación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Maíz Morado

El maíz morado es valorado por la presencia de antocianinas, por los colores atractivos naranja, rojo, morado y azul que presentan, tienen un alto potencial para su uso como colorantes naturales. El color y estabilidad de estos pigmentos antociánicos depende de varios factores, entre los que se encuentran: estructura y concentración del pigmento, pH, temperatura, calidad e intensidad de la luz a los que son sometidos, presencia de copigmentos, iones metálicos, enzimas, oxígeno, ácidos orgánicos con propiedades oxidantes y reductoras, azúcares, productos de degradación, y dióxido de azufre, entre otros (Quispe, Arroyo, & Gorriti, 2011).

Importancia económica del maíz morado

En la actualidad, el maíz es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo cultivo del mundo en producción, después del trigo. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano o para el ganado, materia prima de un gran número de productos industriales y en producción de semillas. Los principales productores a nivel mundial de maíz son los Estados Unidos y China, seguidos en importancia por Brasil y Argentina (FAO, 2001).

La superficie cultivada en el mundo es aproximadamente de 1 527 millones de hectáreas, de las cuales 19.71 % corresponde a la agricultura de riego y gran parte de dicha superficie presenta problemas por incertidumbre en los volúmenes disponibles en sus fuentes de abastecimiento (Flores, Sifuentes, Flores, Ojeda, & Ramos, 2014).

Importancia Nutricional del maíz morado

El maíz morado aporta cantidades importantes de almidón, cerca del 80 %; un 10 % de azúcares los cuales le confieren un sabor dulce, un 11 % de proteínas, 2 % de minerales y vitaminas (complejo B y ácido ascórbico) concentrados en el endospermo. Además del valor nutricional, el maíz morado tiene una composición rica en fitoquímicos, que tienen efectos benéficos en nuestro cuerpo, tales como neutralizar los radicales libres y actuar como antimutagénico (Guillén, Mori, & Paucar, 2014).

El maíz morado (*Zea mays* L.), también contiene un número importante de grupos fenólicos y flavonoides llamados antocianinas. De este modo, las antocianinas son usadas como colorantes naturales que son atóxicos, no teratogénicos y no mutagénicos (21,22). Los compuestos fenólicos y las antocianinas son antioxidantes que protegen las membranas celulares y el ADN de los efectos de los radicales libres (Ronceros, y otros, 2012).

Origen y Distribución del maíz morado

El maíz es originario de América Central, pues en México se han encontrado tipos silvestres de mazorcas muy pequeñas y cuya antigüedad se estima de unos 5 000 años (Arbaiza, 2002). El origen del maíz (*Zea mays* L.) ha sido objeto de numerosos trabajos, con base en los cuales se han sugerido varios sitios de origen que van desde el Sur de México, Centro América, valles altos del Perú, Ecuador y Bolivia (Aquino, 2010). En la domesticación del maíz, una de las especies que quedó incluida en dicho proceso fue el teocintle (*Zea mexicana*), especie que a través de un proceso de domesticación y mejoramiento que se remonta al menos a 8,050 años a. C. y en el cual han estado involucrados desde los primeros pobladores de Mesoamérica, los diferentes grupos indígenas, hasta los agricultores de hoy en día (Chavéz, Tuxill, & Jarvis, 2004).

Las diversas variedades de maíz morado provienen de la raza ancestral “kulli” (que en quechua significa negro). Las formas típicas están casi extinguidas, la raza kulli es una de las cinco razas ancestrales de las que se han originado todas las demás, se encuentra actualmente en extinción. Existen muy pocas razas que presentan pigmentos antocianínicos tanto en el grano como en la tusa. En el Perú la raza kulli se cruzó con otras razas, transfiriendo sus colores característicos a las razas derivadas, como el San Jerónimo, Huancavelicano, Piscoruto, Cuzco, Huayleño, Arequipeño e Iqueño (Neyra, 2011).

Taxonomía del maíz morado

El maíz morado es una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia de las Gramíneas Acosta (2009), propone la siguiente clasificación:

División: Embriofitas.

Sub-división: Angiospermas.

Clase: Liliópside.

Orden: Glumiflorales.

Familia: Graminaceae.

Género: *Zea*.

Especie: *Zea mays* L.

Morfología.

Raíz. las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas secundarias o adventicias (Justiniano, 2010).

El sistema radicular del maíz se desarrolla a partir de la radícula de la semilla, que ha sido sembrada a una profundidad adecuada, para lograr su buen desarrollo. El crecimiento de las raíces disminuye después que la plúmula emerge, y virtualmente, detiene su crecimiento en la etapa de tres hojas de la plántula. (Deras, 2012)

Tallo. Cumple la función de soporte de las hojas, flores, frutos y semillas, transporta sales minerales y agua desde la raíz hasta la parte aérea de la planta, así como alimentos elaborados; está compuesto por una epidermis exterior protectora, impermeable y transparente, una pared de haces vasculares por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares (Ospina, 2015).

El tallo principal, siempre es erecto, leñoso y cilíndrico. Está compuesto por tres capas (del exterior al interior), la epidermis es impermeable y transparente, es la pared por donde circulan las sustancias alimenticias, la medula y el tejido central esponjoso, donde almacenan reservas alimenticias (Pazmiño, 2011).

Hoja. Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afiladas y cortantes (Justiniano, 2010).

El maíz posee entre 15 y 30 hojas que crecen en la parte superior de los nudos, abrazando el tallo mediante estructuras llamadas vainas. La cara superior de la hoja es pilosa, adaptada para la absorción de energía solar, mientras que la cara inferior, glabra, tiene numerosas estomas que permiten el proceso respiratorio. En la superficie foliar, justo en la unión del limbo con la vaina, existe una proyección delgada y semitransparente que envuelve el tallo llamada lígula, su función es restringir la entrada de agua y reducir las pérdidas por evaporación (Ospina, 2015).

Flores. La inflorescencia masculina es una panícula formada por numerosas flores pequeñas llamadas espículas. La inflorescencia femenina es una estructura única llamada mazorca (Risco, 2012).

La inflorescencia femenina corresponde a una espiga. La espiga se presenta cubierta por brácteas u hojas envolventes y esta conjuntamente con las brácteas conforman la mazorca (Noroña, 2008).

Fruto y semilla. El grano o fruto del maíz es un cariopse. La pared del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para conformar la pared del fruto. El fruto maduro consiste de tres partes principales: la pared, el

embrión diploide y el endosperma triploide. La parte más externa del endosperma en contacto con la pared del fruto es la capa de aleurona (Justiniano, 2010).

Fenología del Cultivo del maíz morado.

El establecimiento de la plántula en el campo involucra los procesos de germinación y emergencia; donde el primero comprende la imbibición, reactivación metabólica y la emisión de la radícula, procesos que pueden comprometer el establecimiento si ocurren en condiciones adversas (Albuquerque & Carvalho, 2003).

El peso promedio del grano del maíz morado por planta es 52.7 gramos; porcentaje de emergencia 36,7% ; 141 y 147 días a floración masculino y femenina, 5,9 de número de días de intervalo de dehiscencia ASI (Anthesis Silking interval), 711 y 734 unidades acumuladas de grados de temperatura sobre la mínima de crecimiento GDU (Growing Degree Units) a floración masculino y femenina; 12,6 hojas, 0,26 de índice de nervadura, hojas erectas, 696,2 mm de longitud de hoja, resistencia media a enfermedades de hoja, aspecto de planta media, 39 mm de longitud de panoja, 155 y 77,9 cm de altura de planta y mazorca, 11,9% acame de plantas y una mazorca por planta (Sevilla & Oscanoa, 2010).

El crecimiento del maíz se divide en dos etapas: Vegetativa (V) y Reproductiva (R). La etapa vegetativa va desde la germinación hasta que aparece la hoja bandera y termine el crecimiento del tallo. La etapa vegetativa se subdivide en V1, V2, V3 y Vn, que representa la última hoja desplegada. Del primer al último V, se designa con VE de emergencia y VT de panojamiento, que es el último estado vegetativo. La etapa reproductiva de R1 a R6, comprende las fases de floración desde que aparece la flor masculina (Espiga) hasta la aparición de las barbas (Estigma) que es la floración femenina. Esta fase termina con la maduración del polen, que al unirse con las barbas produce la polinización (cambio de color de las barbas o estigmas) y termina con la maduración del grano (Oscanoa, 2004).

Requerimientos Edafoclimaticos.

La emergencia y establecimiento del cultivo de maíz están influenciados por la temperatura y humedad del suelo (Perez, y otros, 2007). Las condiciones ambientales a considerar para el cultivo se describen a continuación:

Temperatura. Las bajas temperaturas promueven la formación de antocianinas, por el 10 contrario a las altas temperaturas que la suprimen. Siendo así, para obtener una alta concentración de antocianina en el maíz morado, debe de haber una gran diferencia de temperatura entre el día y la noche; las condiciones de temperatura en la sierra son muy favorables para el cultivo del maíz y para la formación de Antocianina (Medina, Yoshino, Morita, & Maruyama, 2016).

La estabilidad de las antocianinas en los alimentos se ve notablemente afectadas por la temperatura. El grado de degradación de las antocianinas aumenta durante el procesamiento y almacenamiento conforme a la temperatura aumenta (Pinedo, 2015).

Suelo. El cultivo de maíz en general se desarrolla bajo diferentes condiciones de suelo, sin embargo, no se desarrolla bien en suelos excesivamente pesados (arcillosos) y muy sueltos (arenosos). Las mejores condiciones se pueden encontrar en suelos con textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención del agua, que presenten pH de 5.5 a 8, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (pH entre 6 y 7), un pH fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia (Fuentes, 2002).

El Maíz Morado prefiere suelos de estructura granular, blandos con buen drenaje, aireación y buena retención de humedad. El pH adecuado para el desarrollo del cultivo es entre 6.0 a 6.5 (neutro a ligeramente alcalino) (Medina, Yoshino, Morita, & Maruyama, 2016).

Clima. El maíz en general exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas. Para la germinación, la temperatura media diurna mínima debe estar no menos de 10°C, siendo la óptima 18 y 20 °C (Bonilla, 2009).

Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20 °C, el maíz puede tolerar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30 °C puede

aparecer problemas serios debido a la mala absorción de nutrientes, minerales y agua (BID ADEX, 2013)

Labores Culturales del Maíz Morado.

Preparación del terreno: la preparación de los suelos es muy importante, y debe iniciarse al finalizar el invierno e inicios de verano (de agosto a octubre), se debe partir con la limpieza del terreno, mullendo bien los primeros 20 cm del suelo, con la humedad de las primeras lluvias que se presentan en estos meses e incorporando la vegetación natural en el suelo (Mendieta, 2015). Los terrenos para el cultivo de maíz deben ser fértiles con alto contenido de materia orgánica (2.5 a 4 %), pH alrededor de 7, de buen drenaje y suficiente aireación (Vasquez A. , 2000).

Siembra: es conveniente tener una adecuada población de plantas para cosechar mayor número de mazorcas; en la alta densidad el distanciamiento de siembra entre surcos es de 0,80 m y entre golpes de 0,50 m con 3 semillas por golpe para tener una población hasta de 75 000 plantas/ha. La cantidad de semilla requerida es de 35 kg/ha a 40 kg/ha (Requis, 2012).

Se debe efectuar con el inicio de las lluvias, teniendo en cuenta que las siembras tardías retrasan la floración femenina y reducen el periodo de llenado de grano. Dependiendo del tamaño de la semilla, del genotipo a sembrar y de la densidad de siembra, se necesitan entre 18 - 20 kg/ha de semilla para siembra manual y hasta 25 kg/ha de semilla para siembra mecánica. (Ospina, 2015).

Aporque: el aporque es una labor que tiene por objetivo dar mayor base de sustentación a las plantas, la cual permite la formación de raíces adventicias que protegen del tumbado o acame de las plantas además de aumenta la capacidad de absorción de nutrientes (Suni, 2010).

Se hacen dos aporques, la primera se efectúa a los 45 días después de la siembra y la segunda 20 a 25 días después del primer aporque, durante los cuales también se eliminan las malezas (Risco, 2012).

Cosecha: después de la floración aproximadamente 40 días, se presenta la madurez fisiológica, es decir la conversión de los azúcares en almidones, por lo tanto, los granos pasan de estado lechoso a pastoso. En ese periodo se concentran y estabilizan los pigmentos antocianínicos

del maíz morado. Por lo tanto, las mazorcas están listas para ser cosechadas, cuando los granos presenten aproximadamente 30% de humedad (Chipana, 2010).

Para la recolección de las mazorcas de maíz, generalmente se realiza de manera manual, se recomienda que no exista humedad en la misma, es práctica común que el maíz en el campo este adherido a las plantas, durante el cual el grano se seca de manera gradual después de la maduración fisiológica, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y el control de plagas (BID ADEX, 2013).

Secado: antes de llevar las mazorcas al tendal o secadero, se deben separar las mazorcas con pudrición para evitar mayores daños por infección de hongos. El secado debe ser rápido, no se recomienda mantener las mazorcas en el tendal a pleno sol por mucho tiempo porque se produce pérdida de pigmentación de la tusa que contiene mayor cantidad de antocianina, principal materia prima del maíz morado (Requis, 2012).

2.2.2. Riego

Los métodos de riego por gravedad son los más comunes para aplicar el agua en los terrenos agrícolas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas a nivel mundial (González, Muñoz, Acosta, & Mailhol, 2006).

El riego en el cultivo del maíz morado se realiza cada 10 a 12 días según el clima y tipo de suelo. Es necesario priorizar los riegos durante la floración y panojamiento. Se recomienda usar un volumen de agua de 8 a 10 m³/ha (Inia, 2007). En la zona andina el cultivo del maíz se desarrolla con lluvias temporales, el riego por gravedad es complementario, además de ser importante para la preparación del suelo, la siembra y las primeras etapas del desarrollo de las plantas (Catalán, 2012).

2.2.3. Requerimiento de Agua en los Cultivos

Los requerimientos hídricos de los cultivos representan la cantidad de agua en términos de volumen o lamina que se debe retribuir para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo y eficiencia del sistema de riego (Allen R. , Pereira, Raes, & Smith, 2006).

El manejo eficiente del agua de riego requiere una programación precisa, para lograr esto se requiere el cálculo del requerimiento de agua del cultivo. El riego es la aplicación del agua al suelo en la zona de la raíz de un cultivo hasta la capacidad del campo (Aguirre, 2015).

2.2.4. Necesidades Hidricas del Maiz Morado

El maíz morado, necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo, el maíz es muy sensible también al anegamiento o encharcamiento, es decir, a los suelos saturados y sobresaturados (Hurtado, 2004).

Desde la siembra, hasta aproximadamente los 15 a 20 días, el aniego por más de 24 horas puede dañar el cultivo (especialmente si las temperaturas son altas) porque el meristemo está debajo de la superficie del suelo en esos momentos. Más tarde, en el ciclo de cultivo, el aniego puede ser tolerado durante períodos de hasta una semana, pero se reduce considerablemente el rendimiento (Deras, 2012).

2.2.5. Calculos de las Necesidades Hidricas

Para hacer uso eficiente del agua de riego es necesario tener en consideración lo propuesto por (Faci, 2012):

- Que el sistema de riego este bien diseñado (alta eficiencia potencial del riego).
- Que el sistema de riego sea bien manejado.
- Que los riegos se apliquen en las condiciones meteorológicas más adecuadas (en aspersión: riego sin viento, riego nocturno, con la presión suficiente, etc.).
- Que las cantidades de riego aplicadas vayan cubriendo las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de su ciclo.

Evapotranspiración del Cultivo.

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985) es el método más práctico para evaluar la Evapotranspiración Potencial y luego la evapotranspiración del cultivo, se necesita solamente datos de temperaturas y de radiación solar.

La expresión general es la siguiente:

$$E_{To} = 0,0135 (T_{med} + 17,78) R_s$$

Donde:

E_{To} = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

T_{med} = temperatura media, °C

R_s = radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, **R_s**, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); conocida como **R₀** o **R_a**, y la leemos en tablas en función de la latitud del lugar y del mes.

Samani (2000), para la obtención de la Radiación Solar Incidente (**R_s**) propone la siguiente fórmula:

$$R_s = R_0 * KT * (T_{max} - T_{min})^{0,5}$$

Donde:

R_s = Radiación solar incidente

R₀ = Radiación solar extraterrestre

KT = coeficiente

T_{max} = temperatura diaria máxima

T_{min} = temperatura diaria mínima

Puesto que los valores de **R₀** están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, la dificultad para aplicar esta sencilla expresión la encontramos en el coeficiente **KT**.

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_0) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes. Al final de este documento se incluye la tabla de R_0 de (Allen R. , Pereira, Raes, & Smith, 1998) La tabla original está en MJ/m² /día, aquí la presentamos en mm./día (de agua evaporada).

El coeficiente K_T de la expresión es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves recomienda $K_T = 0,162$ para regiones del interior y $K_T = 0,19$ para regiones costeras.

2.2.6. Mejoras Tecnológicas del Riego

A través de todo el mundo, se busca aplicar sistemas de riego en el que se mejore la eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución, ya que son muy bajas (Santana, 2007).

Se ha demostrado que una vía para el mejoramiento de este método de regadío es la técnica de riego intermitente (Surge Flow). Técnica que fue desarrollada en los Estados Unidos para el control del agua de riego (Rodríguez, Santana, Alonso, & Delgado, 2011).

Bravo, Reynoso, & Ramirez (2015), consideran que el riego mejorado se puede dar a través de:

- Sistemas de riego por mangas.
- Sistemas de riego multicompuerta.
- Sistemas de riego intermitente.

2.2.7. Riego Intermitente

El riego por pulsos o intermitente es una técnica de aplicación de agua al surco o melga (con o sin pendiente), de manera intermitente. Esta sucesión de entregas y cortes de agua, se llaman ciclos. Los tiempos de los ciclos varían desde pocos minutos a varias horas. Esta técnica fue originalmente concebida como un medio para lograr el avance del frente de agua más rápido en unidades largas, para luego establecer un tiempo promedio de aplicación del agua que minimice el escurrimiento al pie (aumento de la eficiencia) (Romay, Génova, Salgado, & Zabala, 2011).

El sistema de riego por pulsos llamado también discontinuo o intermitente, consiste en aplicar agua a los surcos en intervalos de tiempo cortos pero frecuentes, en un mismo periodo de riego (Perat, 2016).

Este sistema de riego consigue aumentar la eficiencia de la aplicación y lograr mejores condiciones de uniformidad en los riegos. La cantidad de agua percolada en la cabecera de los surcos se reduce considerablemente (Miranda & García, 2015).

2.2.8. Principios del Riego Intermitente

La práctica de riego intermitente o por pulsos parece relativamente simple, es por el contrario una tecnología de riego avanzada más compleja. El diseño y evaluación requiere de un nivel de conocimiento de hidráulica de riego por escurrimiento superficial, comprende dos etapas: avance y remojo. Durante el avance el agua es impulsada a través del suelo del surco hasta mojar su longitud total. Los remojos son los pulsos adicionales a fin de incrementar la profundidad de agua en el perfil, reponiendo la lámina de riego (Romay, Génova, Salgado, & Zabala, 2011).

La discontinuidad se logra cambiando la orientación del agua hacia la izquierda y la derecha de esta válvula entre dos conjuntos (sets) de surcos, por medio de esta intermitencia se consigue que el caudal empleado llegue al final de la parcela más rápido, proporcionando un riego más uniforme y usando menos agua que la forma convencional (Perat, 2016).

2.2.9. Consideraciones en Riego Intermitente

El riego intermitente tiene algunas consideraciones que se debe tener en cuenta, tales como:

Topografía.

Las restricciones impuestas por la topografía comprenden: la ubicación de la fuente de agua, la pendiente de la parcela, el relieve y microrrelieve del terreno en general. El riego por superficie puede adaptarse a terrenos con relieve que va de plano a ondulado, así, una topografía plana con pendiente de 0.2 % es ideal para el riego por surcos y melgas rectas; contrariamente a la topografía irregular con fuerte pendiente (8-10 %), la alternativa sería el riego en contorno (FAO, 2011).

Disponibilidad de Agua.

La cantidad de agua disponible, en términos de caudal, tiempo e intervalo de entregas, puede ser un factor determinante en el método de riego a utilizar. La disponibilidad de un caudal elevado, en un tiempo reducido y con grandes intervalos de entrega, permite el empleo del riego por inundación (melgas, pozas, desbordamiento) (FAO, 2011).

La fuente de agua debe estar ubicada en un lugar favorable, que permita proveer de la carga necesaria (energía) para el funcionamiento del sistema. En la mayoría de casos se recomienda que exista al menos 1 mca (metro de columna de agua). El sistema de riego intermitente puede ser instalado directamente con una toma de agua, desde represas o con el canal de conducción cercano (acequia) (Bravo, Reynoso, & Ramirez, 2015).

Suelo.

Es uno de los factores más importantes y predominantes para determinar el grado de aplicabilidad del sistema de riego intermitente. Siendo su principal característica la textura, el mismo que representa un rango muy amplio, por lo que es posible regar con este sistema diferentes tipos de suelos, que van desde el franco arenoso hasta el arcilloso; deben excluirse aquellos que son arenosos, de la misma manera, serán difíciles de tratar los suelos arcillosos (Bravo, Reynoso, & Ramirez, 2015).

Agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva (Dosis de riego).

Según Helfgott (2017), el agua aprovechable es “la parte del agua del suelo que la planta puede aprovechar realmente, a nivel del sistema radicular, sin causar estrés hídrico” (p. 37).

Baca (2016), menciona la siguiente fórmula para determinar el agua aprovechable.

$$Ln = \frac{(CC - PMP)}{10} * Da * z * f$$

Donde:

CC = Capacidad de campo - % de peso.

PMP = Punto de marchites permanente - % de peso.

Da = Densidad aparente – g/cm³.

z = profundidad de las raíces – cm.

f = factor de secamiento – adimensional, siempre <1.

Tiempo de riego.

Según helfgott (2017), el tiempo de riego es “el tiempo en horas que toma reponer las necesidades de riego totales o brutas”. El autor, Chucya (s.f.), presenta la siguiente ecuación para determinar el tiempo de riego.

$$Tr = Fr * Nt / Ph$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h).

Fr = Intervalo de riego (días)

Nt = Necesidades de riego totales (mm/día)

Phr = Precipitación horaria del sistema (mm/h)

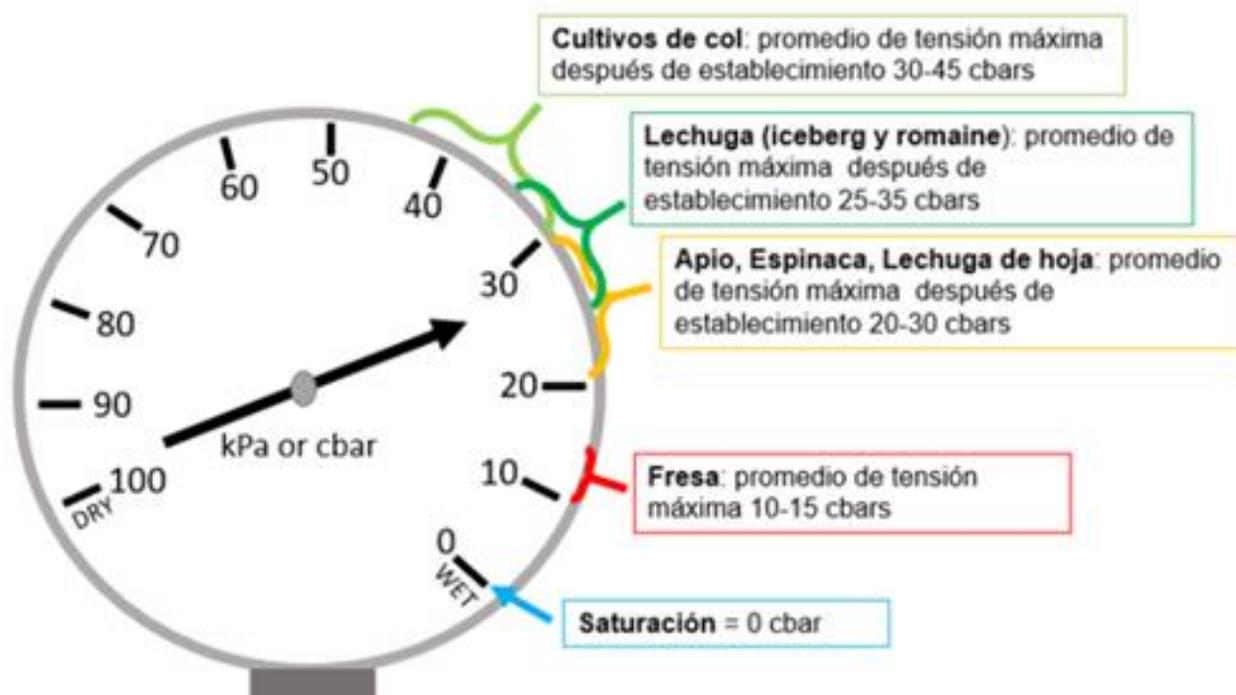
2.2.10. Medición de humedad con tensiometros

A medida que el suelo se seca las partículas del suelo retienen el agua con mayor fuerza. Los tensiómetros miden la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. La mayoría de los tensiómetros tienen una punta de cerámica o porosa conectada a una columna de agua, son instalados a la profundidad deseada. A medida que el suelo se seca, comienza a jalar agua de la columna a través del bulbo de cerámica, provocando succión en la misma. Esta fuerza se mide con un indicador de succión. Algunos modelos nuevos han reemplazado el indicador de succión con un sensor electrónico. Estos dispositivos electrónicos usualmente son más sensibles que los indicadores de aguja. Los tensiómetros funcionan bien en los suelos con alto contenido de agua, pero tienden a perder buen contacto con el suelo cuando la tierra se pone muy seca. Al igual que los bloques de resistencia eléctrica, los tensiómetros generalmente son difíciles de recuperar en suelos arcillosos. El costo varía entre \$30 por un tensiómetro pequeño con medidores de aguja,

hasta \$2000 por los medidores electrónicos con capacidad de toma de lecturas en múltiples sitios (Martin, 2017).

Los indicadores de vacío de los tensiómetros comúnmente oscilan entre 0 y 100 cbar (o kPa) donde 0 cbar indica saturación del suelo. Los tensiómetros se pueden leer a diario y algunos tienen la opción de conectarse a registradores de datos. Las mediciones tomadas a lo largo tiempo se pueden utilizar para indicar tendencias. Los tensiómetros poco profundos muchas veces alcanzan 0 cbar inmediatamente después de un evento de riego, mientras que los tensiómetros más profundos indicarán una tensión reducida más adelante, a medida que la zona húmeda avanza a través del perfil del suelo. Dependiendo de la estrategia de manejo del riego, es posible que los tensiómetros más profundos nunca caigan a 0 cbar después de la instalación (Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Monterey, 2015).

Figura 1: Lectura común del tensiómetro de 100 a 0 cbars o kPa (Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Monterey, 2015).



2.2.11. Factores que Afectan el Rendimiento de los Cultivos

La planificación de cultivos permite revelar y categorizar los factores que afectan a los cultivos para que se puedan tomar las acciones necesarias de manera oportuna.

Tabla 01: Factores que afectan el rendimiento de los cultivos (Fundación Venezuela, 2011).

Factores climáticos o geográficos	Factores del suelo	Factores del cultivo y de su manejo
<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación -Cantidad -Distribución • Temperatura • Humedad relativa • Radiación solar -Cantidad -Intensidad -Duración • Altitud/Latitud • Viento -Velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> Características del suelo • Físicas -Textura -Estructura -Pendiente y topografía -Profundidad (zona de enraizamiento) • Químicas -Materia orgánica -Capacidad de intercambio catiónico CIC -pH -Saturación de bases -Contenido de nutrientes • Manejo del suelo -Preparación -Nivelación -Drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Especie, variedad calidad de la semilla • Fecha de siembra • Profundidad de siembra • Población de plantas • Distribución espacial: distancia entre y sobre las hileras • Malezas • Nutrición y fertilización • Riego • Plagas (insectos) • Enfermedades (hongos, bacterias) • Cosecha

Los factores que pueden influir en la cultura son muchos y de diferente naturaleza. Solo no se pueden controlar los factores climáticos y algunos específicos del suelo, como la presencia del suelo áspero y rocoso.

La mayoría de los factores del suelo y del cultivo son ajustables y, siempre que se manejen adecuadamente, es posible maximizar los rendimientos. Es muy importante entender que los factores de producción deben manejarse como un todo, porque muchos de ellos están interrelacionados.

El desafío para cada productor es identificar sus propios 'factores limitantes' y eliminar o reducir su impacto. El factor más limitante debe abordarse primero, luego pasar al siguiente factor para acercarse al logro de un rendimiento óptimo. El factor definitivo determinará el límite de producción, ya sea que todos los demás factores estén bien gestionados o no.

- Seleccione el campo apropiado, determine la cantidad de hectáreas que se plantarán y realice el arado en el momento adecuado.

- Realizar el análisis de suelo de aguas arriba para obtener resultados oportunos y así poder decidir qué fertilizantes usar, además de establecer la dosificación de diferentes productos.
- Crea tu propia hoja de gastos.
- Haga una lista de sus suministros y elija la mejor opción.
- Ordene los suministros primero.
- Utilice variedades bien adaptadas que sean adecuadas para su área.
- Revise y realice el mantenimiento previo de sus máquinas y equipos que utilizará en la: “Prevención de problemas”.
- Planifica bien todas las actividades y el tiempo necesario para realizarlas: arado, siembra, deshierbe, fertilización poscosecha y riego, entre otros. Se requiere además ser proactivo, ello implica utilizar la información y establecer un horario de actividades. Además, considerar la disponibilidad de mano de obra y maquinaria, ya sea suya o de sus proveedores de servicios. Tenga en cuenta su capacidad de trabajo real y dedíquele el tiempo necesario.

Las inspecciones deben realizarse inmediatamente después de la cosecha y antes de que comience el arado para identificar los problemas de compactación que surgen en la formación del suelo.

El arado debe realizarse al mismo tiempo de inicio de la cosecha anterior, de esta manera, es posible realizarlo antes de la temporada de lluvias para mejorar los resultados del trabajo. Es importante asegurarse de que el suelo permita el máximo crecimiento de las raíces para tener las reservas de agua adecuadas y que las plantas utilicen los nutrientes de manera más eficiente.

El objetivo principal del arado es crear una superficie no comprimible lo más profunda posible (se crean capas sólidas de 30-40 cm de profundidad al soportar discos o moldes). la compactación ocurre, independientemente de la presencia de las patas del arado, dependiendo de la cantidad de trabajo y la humedad del suelo; Además de otros factores que tienen una influencia importante como las lluvias y la entrada de animales a los pastizales.

Calicata.

La calicata es una herramienta imprescindible para conocer el entorno en el que sembraremos nuestros cultivos y así tomar la mejor decisión para un mayor rendimiento. La construcción de la excavación permite inspeccionar el suelo directamente y obtener información importante sobre los siguientes aspectos:

- Profundidad de escaneo original.
- Grado de presión.
- Presencia de pie de arado y profundidad a la que se ubica.
- Problemas de excesos de humedad.
- Definir el tipo de subsolador a usar y la profundidad de la labor.

Tipo de arado y nivel de profundidad de la labor según el problema a resolver.

Según los resultados obtenidos en el laboratorio de suelo de la UNASAM, nos indica que es un suelo con textura Franco Arenoso que se caracteriza por ser pobre en nitrógeno, potasio y material orgánico; además de ser medianamente rico en fósforo y no tener problemas en salinidad de acuerdo al anexo 2 que se incluye el dictamen del Laboratorio.

2.3. Definición de Terminos

- **Maíz morado:** es la variedad morada del *Zea mays* L., es una planta subtropical nativa del Perú que se cultiva en los valles bajos de los Andes, en donde se le llama Kulli en voz quechua y se usa como alimento desde hace milenios.
- **Almidón:** es la sustancia blanca, inodora, insípida, granulada o en polvo, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales; se emplea en la industria alimentaria, textil y papelera.
- **Antocianinas:** son pigmentos vegetales de color azulados, rojos oscuro o morado, que contienen las plantas. Se clasifican dentro de los flavonoides y su función en las plantas es la de atraer a

los depredadores para que consuman sus frutos y ayuden a dispensar su semilla, además de en la reproducción de la especie.

- **ANVA:** La técnica del Análisis de la Varianza (ANOVA o AVAR) es una de las técnicas más utilizadas en los análisis de los datos de los diseños experimentales. Se utiliza cuando queremos contrastar más de dos medias, por lo que puede verse como una extensión de la prueba t para diferencias de dos medias.
- **Cariopse:** es un tipo de fruto simple, similar al aquenio, formado a partir de un único carpelo, seco e indehisciente. En ella el integumento y el pericarpio se han fusionado, formando una piel protectora.
- **Coefficiente del cultivo:** se denomina así a las diferencias en evaporación y transpiración del cultivo de referencia con respecto a uno en particular, al ser integradas en un factor se le conoce como coeficiente de cultivo (Kc).
- **DBCA:** considera el efecto de un factor por bloques que a su vez están constituidos por tratamientos. Diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA). DBCA completo: Un diseño experimental de bloques al azar está completo cuando cada bloque tiene el mismo número de tratamientos.
- **Eficacia:** se le denomina así a la capacidad para producir el efecto deseado o para determinada una cosa.
- **Endospermo:** se le denomina así al tejido del embrión de las plantas fanerógamas que le sirve de alimento.
- **Escalabilidad:** se entiende como un proceso, que indica su habilidad para reaccionar y adaptarse sin perder calidad.

- **Evapotranspiración:** es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.
- **Fenólico:** son compuestos orgánicos en cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido a lo menos a un grupo hidroxilo.
- **Fotoquímicos:** son sustancias que se encuentran en los alimentos de origen vegetal, biológicamente activas, que no son nutrientes esenciales para la vida (por lo menos a corto plazo), pero tienen efectos positivos en la salud.
- **Intermitente:** es una técnica de aplicación de agua al surco o melga (con o sin pendiente). Esta sucesión de entregas y cortes de agua se llaman ciclos.
- **Mazorca:** se le denomina así a la espiga grande, formada por granos gruesos y apretados, en que se crían los frutos de algunas plantas, especialmente el maíz.
- **Meristemo:** tejido joven o embrionario de los vegetales superiores que se halla en los lugares de crecimiento de la planta y está formado por células que se dividen continuamente para originar otros tejidos.
- **Monocotiledónea:** son una clase de plantas fanerógamas angiospermas, con los embriones de las semillas presentando un solo cotiledón u hoja inicial. Las raíces son fasciculadas, nacen todas del mismo lugar y adoptan una forma de cabellera, sustituyendo pronto a la raíz primaria con numerosas raíceles advertidas en haz.
- **Panoja:** inflorescencia compuesta formada por un racimo cuyos ejes laterales se ramifican de nuevo en forma de conjunto o a veces de espiga.

- **Rendimiento:** se refiere a la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue. El beneficio o el provecho que brinda algo o alguien también se conoce como rendimiento.
- **Intermitente:** hace referencia a la aplicación del agua en los surcos durante un periodo breve de tiempo, luego se corta, se espera un periodo y se inicia nuevamente el ciclo.
- **Presurizado:** se considera que el riego está presurizado porque en las tuberías o mangueras donde es conducido se encuentra a una presión por encima de la atmosférica, esto permite que el agua salga a cierta velocidad por los aspersores accionando el movimiento de los mismos.

2.4. Hipótesis

Para el presente trabajo de investigación se planteó las siguientes hipótesis:

$H_0: \alpha_i = 0 (i = 1, \dots, a)$ □ Los periodos de intermitencia frente al riego continuo, no generan efectos significativos en el comportamiento de agua en el suelo y rendimiento del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad PVM 518 Caráz, conducido bajo condiciones agroclimáticas del fundo “Allpa Rumi” en la localidad de Marcará.

$H_a: \alpha_i \neq 0$ □ Por lo menos un periodo de intermitencia frente al riego continuo, tendrá algún efecto significativo en el comportamiento del agua en el suelo y rendimiento del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad PVM 518 Caráz, conducido bajo condiciones agroclimáticas del fundo “Allpa Rumi” en la localidad de Marcará.

III. Materiales y Métodos

3.1. Materiales

3.1.1. *Material Biológico*

En el experimento se utilizó 10 Kg de semillas de maíz morado PMV 581, procedente de la variedad Morado de Caráz (primero por selección fenotípica de mazorca y color de grano y posteriormente por selección masal y selección mazorca-hilera). Esta variedad es recomendable para las siembras en la sierra media y la costa.

Características de la Planta

Las plantas presentan una altura promedio de 2.1 m, 1.2 m de altura de ubicación de la mazorca principal, 12 hojas por planta, 5 hojas por encima de la mazorca principal, una precocidad de 90 a 110 días a la floración masculina y un total de 170 días a la cosecha. Asimismo, presenta 1.5 mazorcas por planta, 135g de peso de mazorca a 14 % de humedad, 4.8cm de diámetro y 14.5cm de longitud de mazorca (Sevilla y Valdez, 1985; citado en Alvarado, 2015).

3.1.2. *Herramientas de Campo*

- 02 picos.
- 01 lampa recta.
- 100 m cordel.
- 01 juego de letrero de tesis.
- 01 wincha.
- 01 barreta.

3.1.3. *Insumos*

- Fertilizantes: 20 kg de nitrato de amonio, 20 kg de fosfato diamonico, 2 kg sulfato de potasio.
- Cal agrícola.
- Fungicidas: 01 litro sulfato de cobre, 01 litro plocloraz, 01 litro de benomyl.
- Insecticidas: 01 litro de clorpirifos, 01 litro de dimetoato, 01 litro methomyl.

- Otros insumos: 01 litro adherente agrícola, 01 litro acidificante.

3.1.4. Equipos

- Cámara fotográfica.
- 01 laptop.
- 01 balanza.

3.2. Métodos

3.2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación fue de tipo experimental por que se manipuló la variable independiente (Hernández & Mendoza, 2018), el cual corresponde al periodo de intermitencia de riego por gravedad.

Por la orientación, la investigación es aplicada, debido a que los resultados del trabajo permiten aplicar la tecnología del riego intermitente en el callejón de Huaylas en el cultivo de maíz morado. Por la manipulación de la variable independiente (periodo de intermitencia), resulta además ser una investigación experimental.

3.2.2. Diseño de la Investigación

En el desarrollo de la investigación se realizó un experimento en Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Disponiendo para el caso con un total de 16 unidades experimentales.

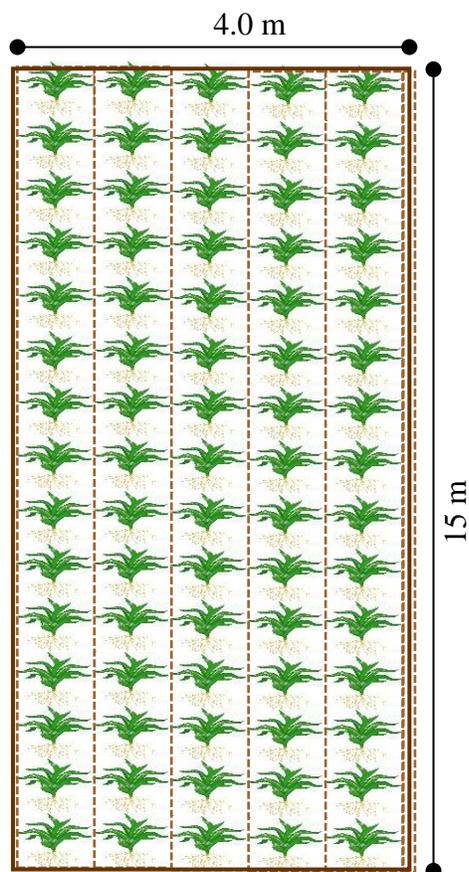
Tratamientos.

Los tratamientos estudiados se describen a continuación:

- **Tratamiento 1:** Riego por gravedad intermitente a 5 minutos.
- **Tratamiento 2:** Riego por gravedad intermitente a 10 minutos.
- **Tratamiento 3:** Riego por gravedad intermitente a 15 minutos.
- **Tratamiento 4:** Riego por gravedad continuo.

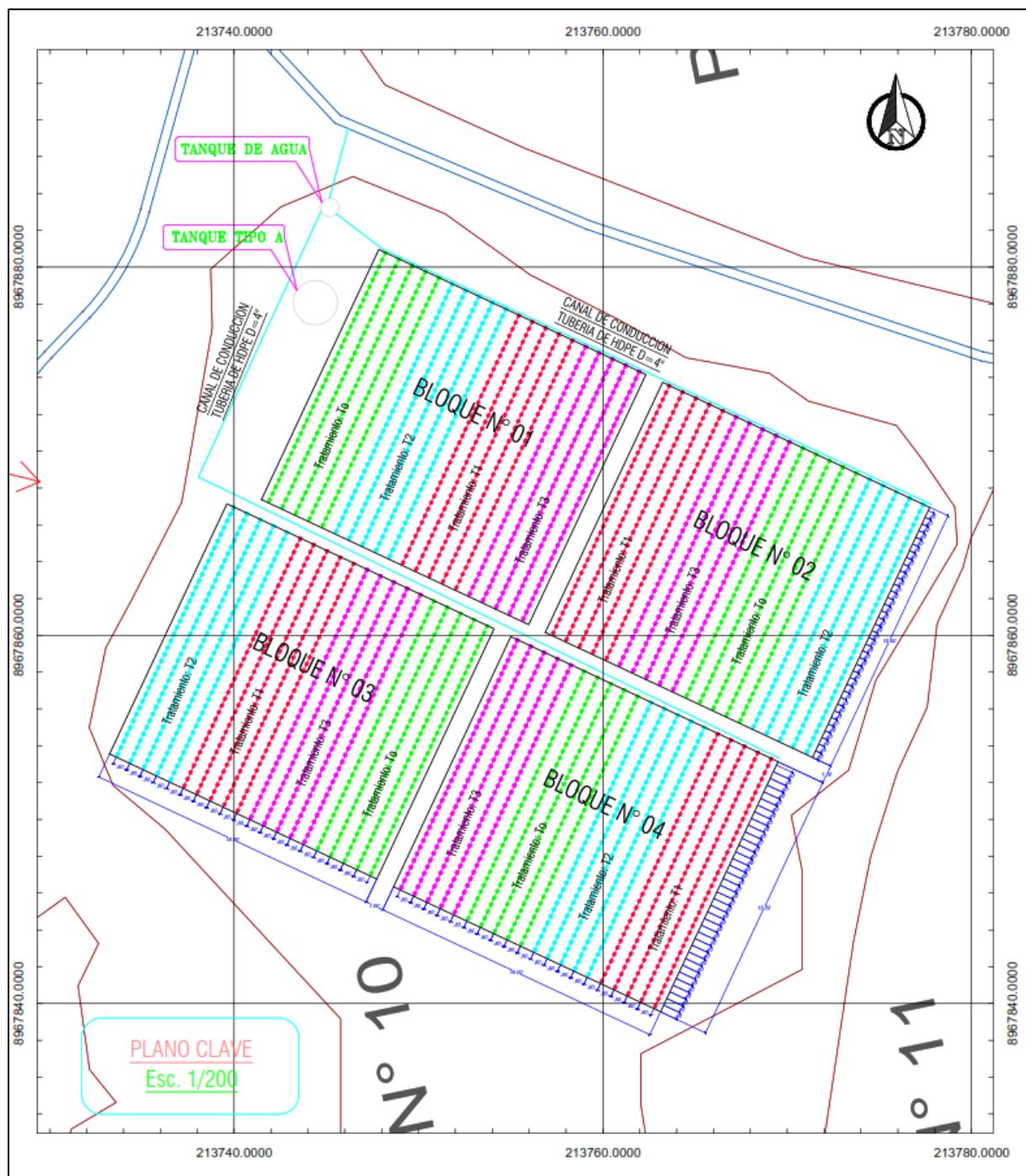
Diseño de la Unidad Experimental

Figura 2: Unidad experimental conformada por 150 plantas de maíz morado.



Diseño del Área Experimental

Figura 3: Distribución de la parcela experimental.



Características del Área Experimental.

Largo de la parcela	: 33.00 m.
Ancho de la parcela	: 35.00 m.
Area de la parcela	: 1155 m ² .
Largo del bloque	: 15.0 m.
Ancho del bloque	: 16.0 m.
Area del bloque	: 240 m ²
Calle entre bloques	: 1.0 m.
Distanciamiento entre surcos	: 0.8 m.
Distanciamiento entre golpes	: 0.4 m.
Plantas por golpe	: 2
Número de tratamientos	: 4
Número de repeticiones	: 4
Ancho de la unidad experimental	: 4.0 m.
Largo de la unidad experimental	: 15.0 m.
Área de cada unidad eperimental	: 60.0 m ²

Ubicación Espacial Geográfica

La investigación se realizó en la localidad de Marcará. Específicamente en el Centro de Investigación y Experimentación Allpa Rumi – Marcará.

Ubicación Política

Departamento :	Ancash.
Provincia :	CARHUAZ.
Distrito :	Marcará.
Sector :	Allpa Rumi.

Ubicación Geográfica.

Datum Horizontal Utilizado: WGS84.

Hemisferio Sur Zona: 18 SUR.

Coordenadas UTM: X: 213747 Y: 8967875.

Elevación: 2718 msnm.

Características del Suelo.

De acuerdo a la investigación de las superficies, realizado en el laboratorio de análisis de suelos y aguas de la FCA – UNASAM. El suelo del campo experimental se caracteriza por presentar una reacción moderadamente acida, pobre en contenido de materia orgánica con un valor de 1.846 % y 0.092% en nitrógeno total. Medianamente rico en fosforo y pobre en potasio, sin presentar problemas de salinidad. La textura del suelo es franco arenoso, con 54 % de arena, 30 % limo y 16 % arcilla.

Tabla 02: Valores de análisis de suelo del campo experimental.

Textura (%)		
Arena	Limo	Arcilla
54	30	16
Clase	Franco Arenosos	
pH	5.93	
% Materia Orgánica	1.846	
Nitrógeno Total	0.092%	
Fosforo (ppm)	11	
Potasio (ppm)	63	
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.186	
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.52	
Densidad Relativa (g/cm ³)	2.58	
Capacidad de campo (%)	19.00	
Punto de marchites (%)	7.00	

Humedad estufa (%)	18.30
--------------------	-------

Características del Agua

Tabla 03: Interpretación análisis de agua de riego.

Análisis Físico - Químico					
Catión/ Anión	Simbolo	ppm		meq/L	
Cationes					
Calcium	Ca	29.20	ppm	1.46	meq/L
Magnesium	Mg	6.36	ppm	0.53	meq/L
Sodium	Na	1.15	ppm	0.05	meq/L
Potassium	K	3.90	ppm	0.10	meq/L
SUMA		40.61	ppm	2.14	meq/L
Aniones					
Anión	Simbolo	ppm		meq/L	
Carbonatos	CO3	0.0	ppm	0.000	meq/L
Bicarbonatos	HCO3	6.1	ppm	0.100	meq/L
Cloruros	Cl	37.6	ppm	1.060	meq/L
Sulfatos	SO4	5.8	ppm	0.120	meq/L
SUMA		49.490	ppm	1.28	meq/L
Otros Indicadores					
Conductividad eléctrica	CE x 10 ⁶	0.13 mS/cm = dS/m			
pH		7.22			
RAS		0.05			
Boro		0.00 ppm			
Nota.- 10.000 ppm = 1%					
Parámetro	Valor	U.M.	Calificación		
Porcentaje de Carbonatos y Bicarbonatos	7.81%	%	Apta		
Suma de Cationes	1.28	meq/L	-		
Suma de Aniones	1.28	meq/L	-		
Conductividad Electrica	0.13	µs/cm	Excelente		
TDS	83.2	mg/L	Bajo		
RAS	0.05		No salido		
Salinidad Efectiva (S.E.)	1.920	mg/L	Buena		
Salinidad Potencial (S.P.)	1.120	meq/L	Buena		
Carbonato de Sodio Residual (csr)	-1.890	meq/L	Buena		
Dureza del Agua	9.971	°F	Dulce		
Contenido de Boro	Cero	meq/L	Aceptable		
Clasificación Riverside (ras y ce)			C1-S1		

El agua es ideal para el riego, presentando bajo riesgo de salinidad y sodicidad. Del mismo modo, a las características químicas no suponen un riesgo que pueda afectar el desarrollo y producción del cultivo de maíz morado en la localidad de Marcará.

Condiciones Ambientales.

Los resultados son válidos para ser utilizados en áreas de condiciones ambientales y de suelo similares al del Centro de Investigación y Experimentación de Marcará. Las condiciones ambientales registradas durante el periodo de ejecución del trabajo de investigación, se presentan en las siguientes tablas. Es preciso aclarar que los datos presentados fueron obtenidos de la estación mediante la interpolación de los datos de la estación Saucemapapa, estación Recuay y estación Chavín de Huantar, debido a que son las estaciones meteorológicas operativas más próximas al campo experimental. Se realizó un proceso de interpolación lineal de tal forma que se pudo desarrollar el trabajo. Las tablas de SENAMHI / DRD, se incluyen en los anexos.

La interpolación lineal es un procedimiento muy utilizado para estimar los valores que toma una función en un intervalo del cual conocemos sus valores en los extremos $(x_1, f(x_1))$ y $(x_2, f(x_2))$. Para estimar este valor utilizamos la aproximación a la función $f(x)$ por medio de una recta $r(x)$ (de ahí el nombre de interpolación lineal, ya que también existe la interpolación cuadrática). La expresión de la interpolación lineal se obtiene del polinomio interpolador de Newton de grado uno.

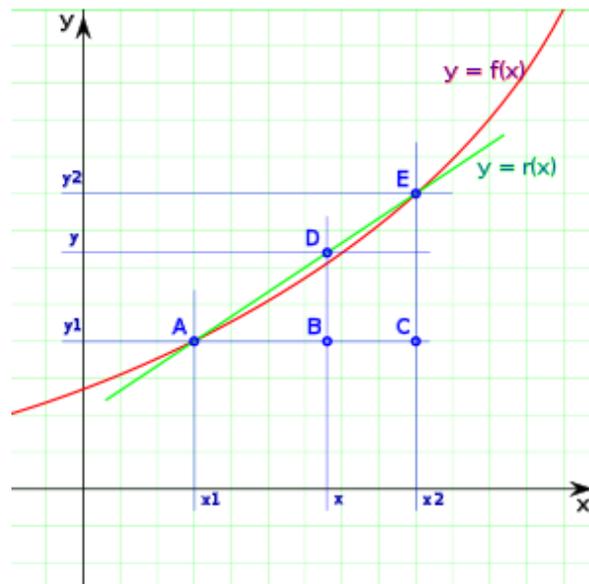
Recta de Interpolación Lineal.

Presentamos los pasos que tenemos que seguir para hallar la recta de regresión:

1°. Dados los puntos de la función (x_1, y_1) y (x_2, y_2) , queremos estimar el valor de la función en un punto x en el intervalo $x_1 < x < x_2$.

2°. Para hallar la recta de interpolación nos fijaremos en la siguiente imagen.

Figura 4: Recta de interpolación lineal.



Para ello utilizamos la semejanza de los triángulos ABD y CAE, obteniendo la siguiente proporcionalidad de segmentos: $AB/AC=BD/CE$. Despejando el segmento BD (ya que el punto D es el que desconocemos) obtenemos: $BD= (AB/AC) \cdot CE$.

Traduciendo al lenguaje algebraico obtenemos que:

$$(y - y_1) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1)$$

Despejando, obtenemos:

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1) + y_1$$

La misma expresión que se obtiene al utilizar el polinomio interpolador de Newton que ya habíamos comentado. Recordad que $y_1=f(x_1)$ y análogamente $y_2=f(x_2)$.

$$f(x|x_1; x_2) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1)$$

Tabla 04: Registro de temperatura media (°C) del lugar de ejecución.

Día	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
1		12.33	12.08	13.83	14.34	12.09
2		13.05	13.51	13.62	13.54	12.00
3		14.50	13.74	13.68	13.58	11.88
4		15.22	14.15	11.25	13.70	11.63
5		15.95	14.11	13.47	12.12	12.56
6		13.95	13.88	12.94	12.39	13.09
7		14.59	15.69	12.74	13.02	12.76
8		14.61	13.38	14.85	13.66	11.98
9		15.08	13.89	15.17	13.72	11.32
10		15.25	14.15	15.68	12.13	11.92
11		14.21	13.67	15.21	13.02	12.53
12		13.94	13.99	14.32	12.33	12.45
13		14.44	14.44	13.46	13.48	12.35
14		13.38	14.23	13.41	12.32	11.60
15		13.00	13.80	14.32	13.45	12.38
16		14.15	13.53	14.36	13.29	13.24
17	14.47	13.35	12.94	14.01	12.88	13.16
18	14.40	12.33	12.91	14.33	12.89	13.19
19	13.28	11.99	13.37	14.87	12.02	12.20
20	13.20	11.42	13.66	14.65	12.91	12.97
21	14.51	12.24	14.25	14.19	13.33	12.32
22	14.07	11.73	14.06	13.95	12.30	12.08
23	13.60	12.13	13.77	13.59	12.97	11.98
24	12.59	12.92	14.01	13.00	12.31	12.63
25	14.18	13.31	14.22	14.47	12.57	12.44
26	13.69	14.36	13.75	13.85	11.87	
27	14.52	14.07	13.77	12.67	12.44	
28	15.60	13.20	14.62	12.56	12.60	
29	13.23	13.58	13.16	12.61	12.85	
30		12.42	13.77	12.55	12.53	
31		12.39		13.13		

Fuente: Interpolación de Estaciones Saucepamapa, Recuay y Chavín de Huantar.

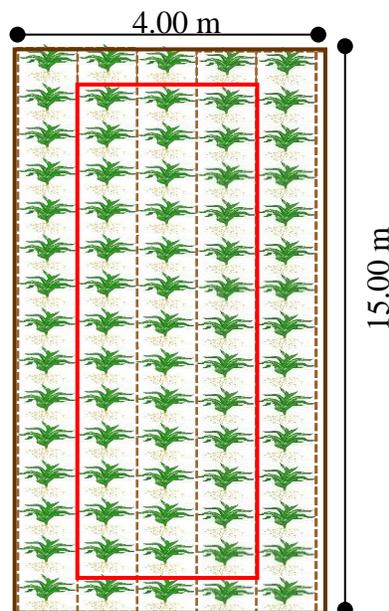
3.3. Población y Universo.

En esta investigación, se considera que el universo lo constituyen las 2,400 plantas de las 16 Unidades Experimentales (UE), y la población está constituida por las 1,248 plantas de maíz morado que corresponde a las plantas centrales ubicadas en cada unidad experimental.

3.4. Unidad de Analisis y Muestra.

La unidad de análisis es una planta de maíz morado, donde se realizarán las observaciones experimentales y mediciones. La unidad de muestreo está comprendida por las 1,728 plantas centrales de cada unidad experimental, como se indica en la siguiente imagen, que son las plantas ubicadas dentro del cuadrante rojo. Se omite las plantas de los bordes, debido a que estas son sensibles al efecto de los bordes, es decir son fácilmente afectadas por las condiciones externas diferentes al tratamiento.

Figura 5: *Unidad de muestreo.*



3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.6. Recopilación de Datos de Campo

En cuanto a las técnicas para la recolección de información se usó la libreta de apuntes y registros en la cartilla de evaluación. La evaluación se presenta en las siguientes páginas. Se empleó la balanza de precisión, la wincha, el termómetro y los recipientes graduados para realizar las mediciones. Como estrategias de recopilación de información se considera las siguientes actividades:

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Para las observaciones experimentales se realizó el análisis de varianza (ANVA), mediante el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 4 tratamientos, con un nivel de significancia de 5 %. Para comparar las medias de los tratamientos, se desarrolló la prueba de rango múltiple de Duncan, con un margen de error de 5 %.

El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Unidad experimental que recibe el i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

μ : Efecto de la media general.

T_i : Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j : Efecto del j-ésimo bloque.

ξ_{ij} : Efecto del error experimental.

Tabla 05: Análisis de varianza generalizado para un diseño de bloque completo al azar (Vasquez A. , 2000).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Bloque	r-1	$\frac{\sum_{i=1}^t Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$	$\frac{SC_{Bloques}}{(r-1)}$	$\frac{CM_{Bloques}}{CM_{Error}}$
Tratamiento	t-1	$\frac{\sum_{j=1}^r Y_{i.}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$	$\frac{SC_{Tratamiento}}{(t-1)}$	$\frac{CM_{Tratamiento}}{CM_{Error}}$
Error	(t-1)(r-1)	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^t Y_{i.}^2}{r} - \frac{\sum_{j=1}^r Y_{.j}^2}{t} + \frac{Y_{..}^2}{rt}$	$\frac{SC_{Error}}{(t-1)(r-1)}$	
TOTAL	tr-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 + \frac{Y_{..}^2}{rt}$		

3.8. Parámetros a evaluados

3.8.1. Límites Hídricos del Suelo

Los límites hídricos del suelo: capacidad de campo (HCc) y punto de marchitez permanente (HPmp), se estimaron en función a las fórmulas de Peele y Brigs.

Ecuación 1: Formula de Peele para el cálculo de Capacidad de Campo (HCc)

$$-HCc = 0.48Ac + 0.162L + 0.023Ar + 2.26$$

Ecuación 2: Formula de Briggs para el cálculo de punto de Marchitez Permanente (HPmp).

$$HPmp = 0.302Ac + 0.102L + 0.014723Ar$$

Donde:

Ac: Contenido de arcilla, expresado en humedad gravimétrica.

L: Contenido de limo, expresado en humedad gravimétrica.

Ar: Contenido de arena, expresado en humedad gravimétrica.

Ac: Contenido de arcilla, expresado en humedad gravimétrica.

3.8.2. Humedad en el Perfil del Suelo

La humedad en el perfil del suelo se evaluó en forma permanente, utilizando dos tensiómetros: de 15 y 30 cm de profundidad, corroborando cada lectura del manómetro con controles de humedad a través del método gravimétrico. De igual manera, antes de cada riego.

Semanalmente se hizo controles de humedad del perfil del suelo, utilizando el método gravimétrico. Los registros de las tensiones en el suelo se presentan en la Tabla 06. Como se observa, los meses de febrero y marzo, no se realizó el riego debido a la presencia de precipitaciones y consecuente saturación del suelo. Los riegos se iniciaron a partir del mes de abril donde las precipitaciones fueron menores. Estos datos son concordantes con los datos de la precipitación y evapotranspiración interpolados para la localidad de Marcará, que se detallan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 06: Registros de lectura de los tensiómetros.

Mes	Fecha	Días Después de la Siembra	Valor (cb)	Disponibilidad de Agua en el Suelo
FEBRERO	17/02/20	1	2.00	Suelo Saturado
	19/02/20	3	8.00	Suelo Saturado
	21/02/20	5	10.00	Capacidad de Campo
	23/02/20	7	4.00	Suelo Saturado
	25/02/20	9	11.00	Capacidad de Campo
	27/02/20	11	6.00	Suelo Saturado
	29/02/20	13	9.00	Suelo Saturado
MARZO	02/03/20	15	12.00	Capacidad de Campo
	04/03/20	17	17.00	Capacidad de Campo
	06/03/20	19	21.00	Capacidad de Campo
	08/03/20	21	8.00	Suelo Saturado
	10/03/20	23	15.00	Capacidad de Campo
	12/03/20	25	18.00	Capacidad de Campo
	14/03/20	27	22.00	Capacidad de Campo
	16/03/20	29	12.00	Capacidad de Campo
	18/03/20	31	6.00	Suelo Saturado
	20/03/20	33	3.00	Suelo Saturado

	22/03/20	35	1.00	Suelo Saturado
	24/03/20	37	0.00	Suelo Saturado
	26/03/20	39	0.00	Suelo Saturado
	28/03/20	41	4.00	Suelo Saturado
	30/03/20	43	2.00	Suelo Saturado
ABRIL	01/04/20	45	6.00	Suelo Saturado
	03/04/20	47	5.00	Suelo Saturado
	05/04/20	49	8.00	Suelo Saturado
	07/04/20	51	2.00	Suelo Saturado
	09/04/20	53	0.00	Suelo Saturado
	11/04/20	55	6.00	Suelo Saturado
	13/04/20	57	10.00	Capacidad de Campo
	15/04/20	59	10.00	Capacidad de Campo
	17/04/20	61	18.00	Capacidad de Campo
	19/04/20	63	28.00	Capacidad de Campo
	21/04/20	65	41.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	23/04/20	67	16.00	Capacidad de Campo
	25/04/20	69	28.00	Capacidad de Campo
	27/04/20	71	40.00	PMP (Antes de Riego)
			1.00	SS (Después de riego)
	29/04/20	73	13.00	Capacidad de Campo
MAYO	01/05/20	75	25.00	Capacidad de Campo
	03/05/20	77	41.00	PMP (Antes de Riego)
			3.00	SS (Después de riego)
	05/05/20	79	16.00	Capacidad de Campo
	07/05/20	81	29.00	Capacidad de Campo
	09/05/20	83	42.00	PMP (Antes de Riego)
			1.00	SS (Después de riego)
	11/05/20	85	12.00	Capacidad de Campo
	13/05/20	87	27.00	Capacidad de Campo
	15/05/20	89	41.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	17/05/20	91	15.00	Capacidad de Campo
	19/05/20	93	29.00	Capacidad de Campo
21/05/20	95	43.00	PMP (Antes de Riego)	
		2.00	SS (Después de riego)	
23/05/20	97	14.00	Capacidad de Campo	
25/05/20	99	28.00	Capacidad de Campo	

	27/05/20	101	41.00	PMP (Antes de Riego)
			1.00	SS (Después de riego)
	30/05/20	104	13.00	Capacidad de Campo
	01/06/20	106	27.00	Capacidad de Campo
	03/06/20	108	40.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	06/06/20	111	16.00	Capacidad de Campo
	08/06/20	113	28.00	Capacidad de Campo
	10/06/20	115	42.00	PMP (Antes de Riego)
			1.00	SS (Después de riego)
JUNIO	13/06/20	118	15.00	Capacidad de Campo
	15/06/20	120	29.00	Capacidad de Campo
	17/06/20	122	43.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	20/06/20	125	15.00	Capacidad de Campo
	22/06/20	127	28.00	Capacidad de Campo
	24/06/20	129	41.00	PMP (Antes de Riego)
			1.00	SS (Después de riego)
	27/06/20	132	16.00	Capacidad de Campo
	29/06/20	134	31.00	Capacidad de Campo
	01/07/20	136	45.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	04/07/20	139	17.00	Capacidad de Campo
	06/07/20	141	30.00	Capacidad de Campo
	08/07/20	143	44.00	PMP (Antes de Riego)
			1.00	SS (Después de riego)
	11/07/20	146	14.00	Capacidad de Campo
JULIO	13/07/20	148	27.00	Capacidad de Campo
	15/07/20	150	42.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	16/07/20	151	16.00	Capacidad de Campo
	20/07/20	155	31.00	Capacidad de Campo
	22/07/20	157	45.00	PMP (Antes de Riego)
			2.00	SS (Después de riego)
	25/07/20	160	18.00	Capacidad de Campo

3.8.3. Evaluación de la Humedad de Suelo

Material necesario: Pala o barreno (opcional).

Para evaluar los riesgos durante el crecimiento del cultivo, se recomienda:

- Recorrer el potrero y usa una pala para cavar en el suelo unos 20 cm.
- Toma una muestra de suelo en tu mano.
- De acuerdo con la Tabla xx, es conveniente determinar el porcentaje de humedad del suelo.

Tabla 07: Disponibilidad de agua en los suelos según textura Adaptado de *Best Management practices for corn production in South Dakota. South Dakota State University.*

Disponibilidad de agua en el suelo	Arenoso	Limoso	Arcilloso
Seco <25% de humedad disponible	El suelo fluye por los dedos, fragmentándose o pulverizándose	El suelo no forma una bola cuando se aprieta con la mano fragmentándose o pulverizándose	El suelo forma una bola, no una cinta. Sólo se puede armar un cilindro de 3 mm.
Límite de lo plástico 25 a 50% de humedad disponible	No se forma una bola o un rodillo. Los fragmentos no se pulverizan.	No se forma una bola o rodillo. Los fragmentos no se pulverizan.	Forma una bola, no una cinta. Sólo se puede armar un cilindro de 3 mm.
Moderadamente húmedo 50 a 75% de humedad disponible	Parece seco, se forma una bola pero no se aglomera.	Se forma una bola que se deshace cuando se aprieta con la mano.	Forma una bola, no una cinta. Forma cilindro.
Húmedo 75 a 100% de humedad disponible	Se forma una bola débil, pero se rompe fácilmente.	Forma una bola, no forma una cinta.	Forma una bola y una cinta en forma fácil.
Mojado Sobre capacidad de campo	La bola libera agua cuando se aprieta con la mano.	La bola libera agua cuando se aprieta con la mano.	La bola libera agua cuando se aprieta con la mano.

3.8.4. Rendimiento del cultivo

Las Mazorcas cosechadas de cada unidad de muestreo, que cumplieron los requisitos de comercialización, fueron pesadas en una balanza de precisión. El valor obtenido fue expresado en kg/ha.

Antes de la cosecha, es importante obtener una estimación aproximada de la cosecha final y también identificar los problemas que ocurrieron en el campo durante el cultivo, los cuales impidieron obtener mayores rendimientos.

Estimación del Rendimiento al Momento de la Cosecha.

Tiempo de medición: antes de la cosecha. Requisitos materiales: alambre de 10 m.

- Tome una cuerda de 10 metros y colóquela entre las filas, anotando el número de árboles dentro de los 10 metros de ambas filas.
- Elija al azar 10 mazorcas de maíz y cuente el número de filas y el número de semillas para cada fila.
- Muestreo de al menos 4 áreas diferentes del predio.
- Registre toda la información evaluada en la hoja de seguimiento.

Se recomienda en el momento de la cosecha recolectar una muestra del camión cuatro veces (al inicio, tercera, mitad y final del proceso de trilla). Todas las muestras se mezclan en una bolsa o balde, haciendo que el producto sea homogéneo. Luego mide la humedad.

- Se toman dos muestras de 1000 semillas de la mezcla y se pesan.
- Registre en papel de calco el peso promedio de 1000 semillas (g).
- Repita esta medición 10 veces

Es importante que esta información quede registrada en la hoja de monitoreo, de acuerdo a este procedimiento se obtienen y se describen los resultados.

3.9. Procedimiento de la investigación

3.9.1. Ubicación del Área Del Proyecto

Se ubicó el área del proyecto identificando el lugar, distrito y provincia. Con la ayuda de imágenes satelitales se ubicó geográficamente la longitud y latitud de la misma área. La longitud del surco debe ser la más larga, en este caso la longitud determinada fue de 15 metros.

3.9.2. Muestra de Suelo

En el lugar representativo del área del cultivo de maíz, se hizo una calicata para identificar los horizontes formativos del suelo, obteniendo diversas muestras (2kg), las mismas que fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de ciencias Agrarias para su análisis correspondiente. Los resultados del análisis se presentan en el Anexo 1.

3.9.3. Levantamiento Topográfico

Figura 6: Levantamiento topográfico del campo experimental.



El levantamiento topográfico se realizó el 3 de febrero del 2020 con la ayuda de un GPS y una estación total que nos permitió obtener datos reales y exactos en coordenadas UTM. Esta labor

se realizó con el objetivo de tener las dimensiones exactas del campo experimental y de acuerdo a ello dimensionar las unidades experimentales y bloques.

3.9.4. Preparación del Terreno

La preparación del terreno se ejecutó el 03 de febrero del 2020, el cual consistió en pasar el gradón pesado, seguido del surcado e incorporación de materia orgánica en los surcos 1.5 tn/ha, luego se pasó una surcadora con el fin de tapar el guano, lograr una adecuada incorporación de materia orgánica y formar los surcos correspondientes para la instalación del cultivo experimental.

Figura 7: Desterronado de los surcos formados.



3.9.5. Habilidad de Sistema de Riego

La habilitación del riego se realizó el 10 de febrero del 2020, el cual consistió en colocar las cintas y tuberías de riego, válvulas de control y compuertas de 2", distanciados a 80 cm. Luego se realizó la prueba y las correcciones del sistema de riego intermitente.

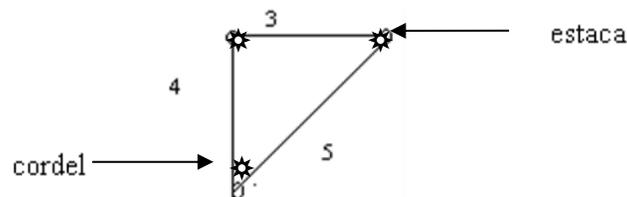
Figura 8: Instalación de cintas de riego y compuertas de polietileno de 2”



3.9.6. Instalación del Experimento

Luego de la preparación de terreno y habilitado del sistema de riego intermitente se realizó la distribución. Se formaron un total de 20 líneas de siembra por bloque de aproximadamente 15 m de largo, distanciados a 0.8 m. Posteriormente se delimitó y encuadró en el terreno, con el método de Pitágoras para que las parcelas no se tornen desiguales. Es decir, no se abran hacia los costados.

Figura 9: Método de Pitágoras para formar los cuadrados en el terreno.



Una vez cuadrado la parcela, se prosiguió a delimitar los tratamientos y las repeticiones con ayuda de los cordeles y la wincha.

3.9.7. Siembra

La siembra se efectuó el 17 de febrero del 2020, el distanciamiento entre surcos fue de 0.8 m, el distanciamiento entre golpes de 0.4 m y se usaron dos semillas por golpe. Obteniéndose un total de 15 golpes por surco por cada unidad experimental.

Figura 10: Siembra de maíz morado.



3.9.8. Control Fitosanitario y Abonamiento

Se realizó la aplicación de la plaguicida y abonamiento de acuerdo a la evolución e incidencia de las plagas y enfermedades. Los detalles de las aplicaciones se presentan en la **Tabla 08**.

Tabla 08: Programa de aplicaciones sanitarias del cultivo de maíz morado en condiciones experimentales.

N°	Fecha	Motivo	Producto
1	01/04/2020	Abonamiento	40% de Nitrato de Amonio, 40% de Fosfato Diamonico y 10% Sulfato de Potasio.
3	26/04/2020	Abonamiento	urea (46% de K20), fosfato diamónico (18% de N y 46% de P20 5) y cloruro de Potasio (60% de K20).
5	04/05/2020	Fungicidas	01 litro sulfato de cobre, 01 litro ploclofaz, 01 litro de benomyl.
6	17/06/2020	cogollero del maíz	01 litro de clorpirifos, 01 litro de dimetoato, 01 litro methomyl.

3.9.9. Riego

Los riegos se realizaron de acuerdo a las condiciones meteorológicas imperantes, tipo de suelo y el estado fenológico de la planta. El cálculo de la programación de riego, expresada en frecuencia (días) tiempo total de riego (horas) y lamina de riego (mm), serán calculados de acuerdo a los parámetros de Avidan (1994), los cuales figuran en el anexo 1 de la presente investigación. Además, mediante el uso del tanque evaporímetro clase A y los datos obtenidos en este, se realizó el contraste de los valores calculados por el método numérico.

3.9.10. Determinación de Caudal Máximo no Erosivo

El caudal máximo no erosivo es aquel caudal que no ocasiona erosión excesiva sobre el surco al momento del riego y se determina teóricamente mediante la Ecuación 3.

$$\text{Ecuación 3: } Q_{m.n.e} = \frac{c}{s^a}$$

Donde:

Q m.n.e.: Caudal máximo no erosivo de surcos (l/s)

c : Constante (ver Cuadro 6)

S : Pendiente del terreno (%)

a : Constante (ver Cuadro 6)

Tabla 9: Valores de constantes según la textura de suelo (Huachos, 2009)

Tipo de suelo	c	a
Muy fina	0.892	0.937
Fina	0.998	0.55
Media	0.613	0.733
Gruesa	0.644	0.704
Muy gruesa	0.665	0.548

Se eligieron cuatro surcos que tengan características similares y se estaquearon cada 2.5 metros, al primer surco se aplicó un caudal inferior al caudal máximo no erosivo y se tomó los tiempos de avance, al mismo tiempo se observó si este caudal produce erosión al surco, por lo tanto, se aplicará a los siguientes surcos caudales superiores o inferiores y se determinará el caudal óptimo de riego.

3.9.11. Caudal Aplicado (Qa)

Se aforará el caudal aplicado por los orificios de descarga mediante el método volumétrico. Se hizo 10 repeticiones de esta operación.

3.9.12. Cálculo de Láminas de Riego

Para aplicar los tratamientos del riego intermitente, las láminas de riego se calcularon teniendo en cuenta el Umbral de Riego de 40% de la Humedad Fácilmente Aprovechable, utilizando los datos del Tanque Evaporímetro Tipo “A” para tenerlo en cuenta si ha caído lluvia.

3.9.13. Pendiente de los Surcos

Antes de la siembra, se controló la pendiente de los surcos con el fin de uniformizarlos; ésta pendiente estuvo dentro del rango de 0.2 a 0.5%.

IV. Resultados y Discusión

4.1. Caudal Aplicado

Tabla 10: Valores y análisis de varianza para el caudal aplicado (l/s) según bloques y tratamientos.

BIOESTIMULANTE	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
Testigo	0.1823	0.1862	0.1710	0.2131	0.7527	0.1882
Intermitencia 5	0.1989	0.1973	0.2013	0.1912	0.7887	0.1972
Intermitencia 10	0.1809	0.2068	0.1809	0.1883	0.7569	0.1892
Intermitencia 15	0.2073	0.2008	0.2219	0.1984	0.8283	0.2071
TOTAL	0.7694	0.7911	0.7751	0.7911	3.1267	
MEDIA	0.1923	0.1978	0.1938	0.1978		0.1954

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F t 0.05	Sig.
Bloques	3	0.0001	0.0000	0.1637	3.8625	NS
Tratamientos	3	0.0009	0.0003	1.6188	3.8625	NS
Error	9	0.0017	0.0002			
Total	15	0.0027				
CV= 7.04%				Media= 0.1954		

En la *Tabla 10*, y con los valores obtenidos de los caudales por el método volumétrico y registrado en el anexo N° 04, se presentan los valores de las mediciones del caudal aplicado y el análisis de la varianza respectiva. En promedio el caudal aplicado en cada compuerta es de 0.1954 l/s. Además, se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre los bloques y los tratamientos, es decir al no existir diferencias los caudales aplicados fueron prácticamente constantes. El coeficiente de variabilidad obtenido para este parámetro es de 7.04%, el cual es bajo, dando confiabilidad y aceptación a los datos tomados.

Considerando que uno de los objetivos de tecnificar el riego consiste en mejorar la eficiencia de su aplicación; se deduce que, mediante la implementación del sistema de riego intermitente se puede obtener un caudal más uniforme en todos los puntos de aplicación. Beneficios semejantes son reportados por Rodríguez M., Santana., Brown., & Alonso (2013), quienes indican que el riego intermitente permite aumentar la eficiencia del mismo en su aplicación.

El estrés hídrico se desarrolla en la ausencia de la lluvia y del riego, y cuando el agua almacenada en la zona de las raíces se agota hasta el punto de afectar los procesos de la planta. En los niveles de umbral para la estimulación de la respuesta al estrés se establecieron diferentes procesos claves. Como en la mayoría de cultivos, el crecimiento expandido de las hojas de maíz es la más sensible de todas a las respuestas de estrés (Bradford y Hsiao, 1982; Hsiao y Xu, 2000) y el umbral de respuesta al mismo se fija en un nivel cercano al de las capacidades de campo. El estrés hídrico muy leve, que dura varios días, puede reducir la cobertura del dosel durante la etapa vegetativa.

Si el estrés es lo suficientemente severo, la conductividad de las estomas también se reduce y, con un grado similar de estrés, el envejecimiento de las hojas viejas comienza a acelerarse. La transpiración y la fotosíntesis de las plantas se redujeron debido a la disminución de la cubierta verde (reducción del crecimiento o al aumento de la senescencia) y la reducción de la conductividad de las estomas. Por supuesto, esta situación conduce directamente a una disminución en la tasa de producción de biomasa y, en consecuencia, a una disminución en el rendimiento de grano. Otro efecto negativo es que el aumento de la tasa de envejecimiento del dosel acortará el tiempo del mismo y acortará el período de llenado de semillas. No hubo tiempo suficiente para aumentar la velocidad de la cosecha y alcanzar el máximo natural.

El resultado final fue que la disminución porcentual en el rendimiento del grano fue mayor que la disminución porcentual en la biomasa. Debido a la naturaleza unisexual del maíz, el estrés hídrico de leve a severo puede causar una serie de problemas reproductivos específicos. Además de la extensión de las hojas, la del tallo, así como el las cerdas y los zarcillos se vieron obstaculizados por el estrés. Cuando el crecimiento o elongación de las cerdas es más lento, se retrasa la aparición de las cerdas de las hojas que cubren las mazorcas.

La aparición de colgantes también se retrasó por el estrés hídrico, pero en menor medida que con la de seda (T.C. Hsiao, observación personal). Esta diferencia en el tiempo puede prevenir la polinización porque cuando aparece la capa de seda, es posible que no haya suficiente polen para que la planta se polinice por completo. Por otro lado, la falta de polinización de los racimos de floración tardía en el algodón y los racimos muy tardíos de la planta debería afectar negativamente el rendimiento, ya que la cantidad de semillas a partir de las cuales la planta puede madurar en

plantaciones densas es solo de 65-75. El% de sus hifas y las hifas de crecimiento tardío no formaron núcleos adultos, a pesar de la abundancia del polen (Duncan, 1975; TC Hsiao, inédito). Asimismo, la floración tardía está formada por las plantas más pequeñas de la población y su aporte al cultivo es mínimo, incluso después de la polinización.

El intervalo de tiempo entre la aparición del algodón y la aparición de las plumas parece variar para las diferentes líneas genéticas (Bolaños y Edmeades, 1996), pero es mínimo para las líneas que se adaptan bien al entorno local. Sin embargo, con el aumento del nivel de estrés hídrico, este período se alargó y el rendimiento de grano disminuyó significativamente debido a la falta de polinización (Bolaños y Edmeades, 1996). Como se mencionó, el maíz moderno está muy determinado con un período de polinización estrecho. Esto significa la incapacidad de compensar la falta de polinización con flores que florecen tarde durante la lluvia o el riego.

4.2. Profundidad de Humedecimiento

El maíz es un cultivo muy sensible a la falta de humedad durante su crecimiento, los requerimientos de agua varían a lo largo del cultivo, aumentando desde el crecimiento vegetativo promedio. Cuando se planta temprano o se riega antes de la siembra, la planta crece para aprovechar el agua disponible en el suelo, por lo general hasta el momento de la caída de las hojas. El primer riego se realiza después de que el maíz haya florecido.

Tabla 11: Valores y análisis de varianza para profundidad de humedecimiento (cm) a inicio de surco según bloques y tratamientos.

TRATAMIENTO	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
Testigo	40.50	38.40	38.40	40.50	157.80	39.45
Intermitencia 5	31.60	32.80	32.80	31.60	128.80	32.20
Intermitencia 10	35.00	34.60	35.00	34.60	139.20	34.80
Intermitencia 15	39.00	37.60	39.00	37.60	153.20	38.30
TOTAL	146.10	143.40	145.20	144.30	579.00	
MEDIA	36.53	35.85	36.30	36.08		36.19

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F t 0.05	Sig.
Bloques	3	1.012	0.337	0.437	3.863	NS
Tratamientos	3	131.727	43.909	56.799	3.863	*
Error	9	6.958	0.773			
Total	15	139.697				
CV= 2.43%				Media= 36.188		

Una vez realizado la evaluación de humedad del suelo, anteriormente descrito se realizó el análisis de acuerdo a la Tabla 11, y en el Anexo 3: Matriz de datos de profundidad de humedecimiento al inicio de la longitud del surco, se observa que los valores de las mediciones de la profundidad de humedecimiento al inicio del surco tanto para los bloques como los tratamientos en promedio fueron de 36.188 cm. Así mismo, se observa que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los bloques; contrariamente se evidenció la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos durante el estudio, deduciendo que los periodos de intermitencia si afectan a la profundidad de humedecimiento al inicio del surco. El coeficiente de variabilidad obtenido para este parámetro es de 2.43 %, el cual fue bajo, dando confiabilidad y aceptación de los datos tomados en esta variable evaluada.

La prueba de rango múltiple de Duncan presentado en la

Tabla 12, confirma la existencia de diferencias estadísticas significativas entre la profundidad de humedecimiento al inicio del surco según los periodos de intermitencia. Siendo así, el testigo, presenta una mayor profundidad con 39.45 cm, seguido de la intermitencia de 15 minutos, 10 minutos y finalmente 5 minutos con 38.30 cm, 34.80 cm y 32.20 cm respectivamente. Es oportuno destacar que el periodo de 15 minutos y el testigo no difieren estadísticamente entre sí, a comparación de los otros periodos.

Tabla 12: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para profundidad de humedecimiento a inicio de surco según lo periodos de intermitencia

Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					9
Cuadrado medio del error					0.773
Error Estandar (S_x)					0.44
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada		3.08	3.23	3.33	3.36
Rango crítico validado		1.3540	1.4200	1.4639	1.4771
Orden	Tratamientos	Media	N° Datos	Agrup.	
1°	Testigo	39.45	4	a	37.986
2°	Intermitencia 15	38.30	4	a	36.880
3°	Intermitencia 10	34.80	4	b	33.446
5°	Intermitencia 5	32.20	4	c	

Figura 11: Medias para profundidad de humedecimiento a inicio de surco.

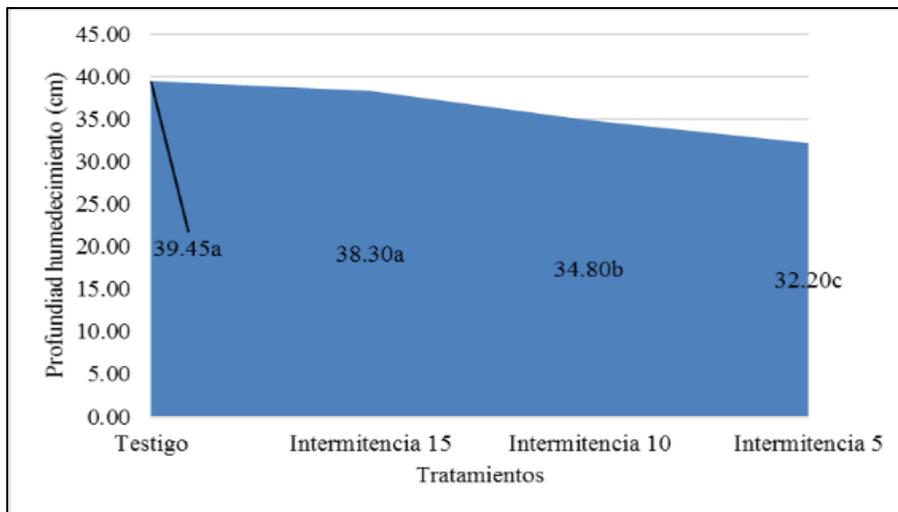


Tabla 13: Valores y análisis de varianza para profundidad de humedecimiento (cm) a medio surco según bloques y tratamientos.

TRATAMIENTO	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
Testigo	30.60	38.40	20.60	30.60	120.20	30.05
Intermitencia 5	27.40	32.80	28.90	27.40	116.50	29.13
Intermitencia 10	32.50	32.50	32.50	32.50	130.00	32.50
Intermitencia 15	37.80	33.50	37.80	33.50	142.60	35.65
TOTAL	128.30	137.20	119.80	124.00	509.30	
MEDIA	32.08	34.30	29.95	31.00		31.83

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F t 0.05	Sig.
Bloques	3	41.537	13.846	0.798	3.863	NS
Tratamientos	3	102.107	34.036	1.962	3.863	NS
Error	9	156.091	17.343			
Total	15	299.734				
CV= 13.08%				Media= 31.831		

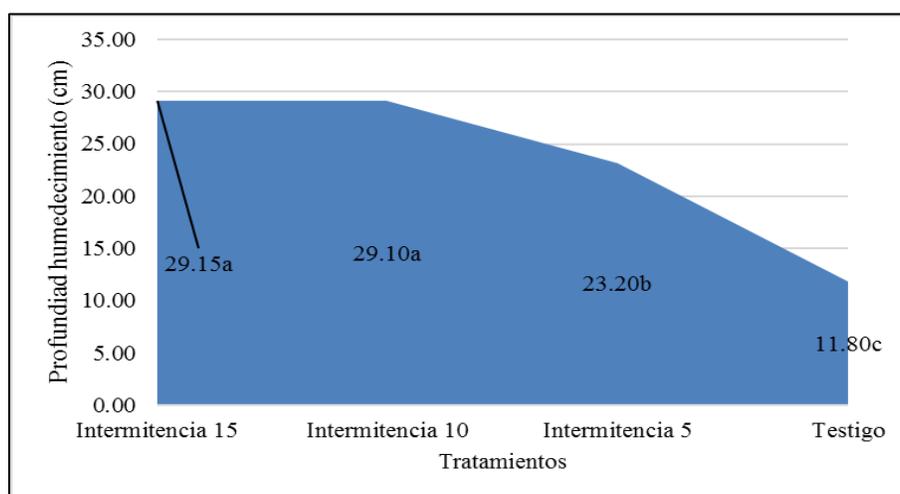
En el Anexo 3: Matriz de datos de profundidad de humedecimiento al medio de la longitud del surco, se observa que los valores de las mediciones de la profundidad de humedecimiento a medida de la longitud del surco tanto para los bloques como los tratamientos fueron de 31.831 cm. Así mismo, en la Tabla 13 se observa que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los bloques y los tratamientos. El coeficiente de variabilidad obtenido para este parámetro fue de 13.08 %, el cual es bajo, dando confiabilidad y aceptación a los datos tomados en esta variable evaluada.

los periodos de intermitencia si afectan la profundidad de humedecimiento al final del surco, considerando ello, se realizó la prueba de rango múltiple de Duncan. El coeficiente de variabilidad obtenido para este parámetro es 6.11 %, el cual es bajo, dando la confiabilidad y aceptación de los datos tomados en esta variable evaluada.

Tabla 15: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para profundidad de humedecimiento a inicio de surco según lo periodos de intermitencia.

Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa	0.05				
Grados de libertad del error	9				
Cuadrado medio del error	2.030				
Error Estandar (S_x)	0.71				
N° de medias	2	3	4	5	
Amplitud Estudentizada	3.08	3.23	3.33	3.36	
Rango crítico validado	2.1940	2.3009	2.3721	2.3935	
Orden	Tratamientos	Media	N° Datos	Agrup.	
1°	Intermitencia 15	29.15	4	a	26.778
2°	Intermitencia 10	29.10	4	a	26.799
3°	Intermitencia 5	23.20	4	b	21.006
5°	Testigo	11.80	4	c	

Figura 13: Profundidad de humedecimiento a inicio de surco según lo periodos de intermitencia.



En la *Figura 13*, en la prueba de rango múltiple de Duncan, se confirma la existencia de diferencias estadísticas significativas entre la profundidad del humedecimiento al final de surco según los periodos de intermitencia. El periodo de 15 minutos presenta una mayor profundidad con 29.15 cm; seguido de la intermitencia de 10 minutos, 5 minutos y finalmente el testigo con 29.10 cm, 23.20 cm y 11.80 cm respectivamente. Es oportuno destacar que el periodo de 15 y 10 minutos no difiere estadísticamente entre sí, a comparación de los otros tratamientos. Además, el testigo presenta significativamente una menor profundidad de humedecimiento al final del surco con 11.80 cm.

Beneficios semejantes son reportados por Psi (2020), quien destaca que con el riego intermitente se logra, menor pérdida de agua por percolación profunda en la cabecera de los surcos, iniciando con el objetivo de que la parte final de estos llegue a la cantidad de agua requerida por las plantas. Esta tecnología resulta ser de fácil instalación y operación, además de lograr una óptima economía del agua a un menor costo que los de sistemas presurizados, del mismo modo la recuperación de la inversión.

Así mismo, el riego por surcos con caudal intermitente es superior al riego con flujo continuo y proporciona un mejoramiento de esta técnica de riego, que se traduce en ahorro de agua y energía (Rodríguez M. , Santana , Brown , & Alonso , 2014).

4.3. Rendimiento del Cultivo

Tabla 16: Valores y análisis de varianza para rendimiento del cultivo (Ton/ha) según bloques y tratamientos.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
Testigo	5.14	3.47	3.61	4.31	16.53	4.132
Intermitencia 5	5.42	5.42	4.31	5.56	20.69	5.174
Intermitencia 10	7.50	6.25	4.86	4.58	23.19	5.799
Intermitencia 15	6.94	4.44	5.00	5.14	21.53	5.382
TOTAL	25.00	19.58	17.78	19.58	81.9	
MEDIA	6.250	4.896	4.444	4.896		5.12

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F t 0.05	Sig.
Bloques	3	7.335	2.445	4.987	3.86	*
Tratamientos	3	6.033	2.011	4.102	3.86	*
Error	9	4.413	0.490			
Total	15	17.781				
CV= 13.67%			Media= 5.12			

En la **Tabla 16** y en el Anexo 2: Matriz de datos de Rendimiento, se presenta los valores del rendimiento obtenido y el análisis de varianza respectivo. En promedio el rendimiento global de todo el experimento es de 5.12 t/Ha. Además, el coeficiente de variabilidad obtenido para este parámetro es de 13.67 %, el cual es bajo, dando confiabilidad y aceptación a los datos tomados. Puntualmente, se pone en evidencia la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los bloques y los tratamientos, es decir existen efectos significativos de los periodos de intermitencia y los bloques en el rendimiento del cultivo.

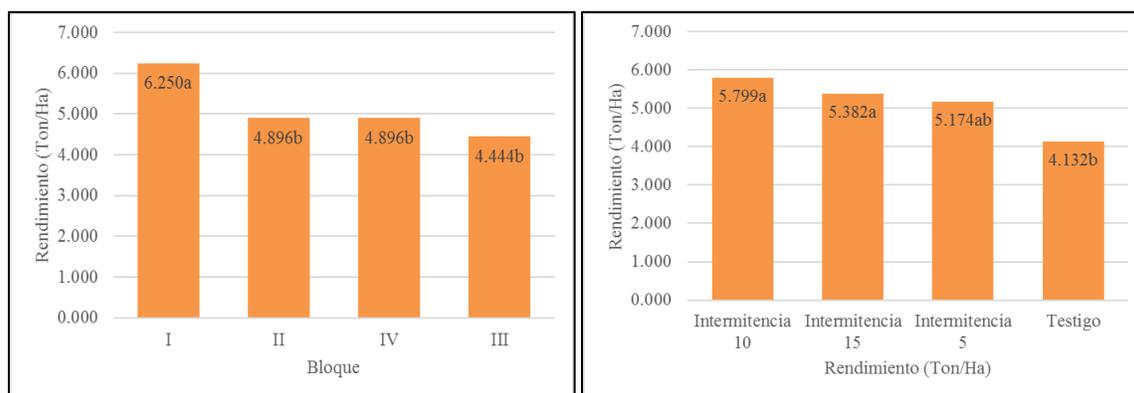
Tabla 17: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para rendimiento del cultivo (Ton/Ha) según bloques.

Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					9
Cuadrado medio del error					0.490
Error Estandar (S_x)					0.35
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada		3.08	3.23	3.33	3.36
Rango crítico validado		1.0783	1.1308	1.1658	1.1763
Orden	Bloques	Media	N° Datos	Agrup.	
1°	I	6.250	4	a	5.084
2°	II	4.896	4	b	3.765
3°	IV	4.896	4	b	
4°	III	4.444	4	b	

Tabla 18: Prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$) para rendimiento del cultivo (Ton/Ha) según tratamientos.

Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa	0.05				
Grados de libertad del error	9				
Cuadrado medio del error	0.490				
Error Estandar (S_x)	0.35				
N° de medias	2	3	4	5	
Amplitud Estudentizada	3.08	3.23	3.33	3.36	
Rango crítico validado	1.0783	1.1308	1.1658	1.1763	
Orden	Tratamientos	Media	N° Datos	Agrup.	
1°	Intermitencia 10	5.799	4	a	4.633
2°	Intermitencia 15	5.382	4	a	4.251
3°	Intermitencia 5	5.174	4	ab	4.095
5°	Testigo	4.132	4	b	

Figura 14: Medias de rendimiento del cultivo (Ton/Ha) según bloques y tratamientos.



Considerando lo anterior, se realizó la prueba de rango múltiple de Duncan, presentado en la **Tabla 17** y **Tabla 18**, las cuales confirman la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los bloques y los tratamientos. Por un lado, en el caso de los bloques, se evidencia que el Bloque I, presentó significativamente un mayor y diferente rendimiento con 6.250 Ton/Ha. Se atribuye este comportamiento a la ubicación del bloque, el cual está en la cabecera del campo experimental. Por otro lado, en el caso de los tratamientos, el periodo de 10 y 15 minutos presentó significativamente un mayor rendimiento con 5.799 Ton/Ha y 5.382 Ton/Ha, seguido por la intermitencia de 5 minutos y el testigo con 3.174 Ton/Ha y 4.132 Ton/Ha respectivamente.

Reportes similares son indicados por Giraldo (2019), quien menciona que el rendimiento estimado en las parcelas con riego continuo promedio fue inferior que en las de riego intermitente, lo que indica que este último método de riego tiene una mayor producción en los cultivos. La eficiencia de aplicación con riego continuo fue de 37.22 % y con riego intermitente de 72.71%. Lo que indica un óptimo aprovechamiento del agua con el sistema de riego intermitente.

Misma situación reportan McIvor & Ladefoged (2018), quienes identificaron que las zonas con riegos intermitentes mostraban mejores resultados frente a las zonas de riego por inundación.

V. Conclusiones

- Una vez aplicado todos los procedimientos para la presente investigación se logró desarrollar el experimento con tres periodos de intermitencia del riego por gravedad en el cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) variedad Caraz PMV 581 en el Centro de Investigación y Experimentación Allpa Rumi – Marcará. Se evidencio que mediante el riego intermitente con uso de mangas de polietileno y válvulas compuertas, es posible aplicar caudales uniformes en toda la parcela experimental y así lograr una mayor eficiencia del uso del agua, generando mejores condiciones de riego para el cultivo de maíz morado en el suelo franco arenoso en la localidad de Marcará.
- El tipo de suelo donde se desarrolló el experimento fue Franco Arenosa, de reacción moderadamente acida, sin problemas de salinidad. Este tipo de suelo respondió bien a la aplicación de riego intermitente, generando condiciones favorables para el cultivo del maíz morado. Así también, en este tipo de suelo la aplicación del regadío continuo convencional genera un riego uniforme a lo largo del surco, donde al inicio se tiene una mayor profundidad de humedecimiento con 39.5 cm y al final un humedecimiento de 11.80 cm. Contrariamente, el riego intermitente obtiene el humedecimiento más uniforme a lo largo del surco, con una profundidad de 34.0 cm, 32.50 cm y 29.10 cm a inicio, medio y final del surco.
- El periodo de intermitencia de 10 minutos genera un mayor rendimiento significativo del cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) PMV 581 con un rendimiento de 5.799 t/Ha, mientras que el menor rendimiento significativo se obtuvo con el testigo, donde se logró un rendimiento de 4.132 t/Ha. En consecuencia, el rendimiento del cultivo es superior al de la siembra normal, teniendo un mejor impacto en el tiempo de 10 minutos, pues se alcanzaron a totalizar 5.799 Ton/Ha, muy favorables para el sector donde se desarrolló el experimento.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda usar el riego intermitente con un periodo de 10 minutos en la producción del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) PMV 581, debido a que permite obtener mayor rendimiento en la producción.
- Se recomienda continuar con las investigaciones del uso de riego intermitente aplicados a otros cultivos locales como la papa, pastos y frutales.
- Se recomienda desarrollar investigaciones que evalúen el comportamiento diario del agua en diferentes tipos de suelo según los periodos de intermitencia.
- Se recomienda a los docentes sensibilizar a los estudiantes a través de la realización de investigaciones para evaluar la eficiencia y uniformidad de la aplicación del uso del riego intermitente en diferentes cultivos transitorios, frutales y pastos.

VII. Bibliografía

- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultrop*, 30(2).
Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0258-59362009000200016
- Aguirre, H. (2015). Performance evaluation and development of daily reference evapotranspiration model. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 5(1), 6.
- Albuquerque, M., & Carvalho, N. (2003). Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower *Helianthus annuus* L., soybean *Glycine max* L. Merrill and maize *Zea mays* L. seeds with different levels of vigor. *Seed Sci Technol*, 31(2), 465-479.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. Roma: FAO.
Obtenido de <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm#Contents>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Roma: FAO.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, estudios FAO riego y drenaje*. Roma: FAO.
- Alvarado, V. (2015). *Efecto de la lámina de riego y del nivel nutricional en el crecimiento y rendimiento de maíz morado (Zea mays L.)*. Lima: UNALM.
- 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*. Lima: UNALM.
- Aquino, Z. (2010). *Apuntes de clases de cereales y producción de semillas*. Huancayo: UNCP.
- Arbaiza, A. (2002). *Guía práctica y manejo de plagas en 26 cultivos*. Chiclayo: Del Castillo.
- Avidan, A. (1994). *Determinación del régimen de riego de los cultivos*. Jerusalem, Israel: CINADCO, HAIGUD.

- BID ADEX. (2013). *Maíz morado*. Lima: ADEX.
- Bonilla, M. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de maíz*. Costa Rica: INTA.
- Bravo, C., Reynoso, A., & Ramirez, F. (2015). *Riego y fertirriego*. Lima: INIA.
- Cabrera, C. (2016). *Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (zea mays l.) bajo riego por goteo*. Lima: UNALM.
- Calvache, A. (2012). Manejo del Agua de Riego en Zonas de Ladera. *EíDOS*, 32-39. doi: 10.29019/eidos.v0i2.52
- Catalán, W. (2012). *Guía técnica manejo integrado en el cultivo de maíz amiláceo*. Cusco: OAEPS.
- Chavéz, J., Tuxill, J., & Jarvis, D. (2004). *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Cali: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Chipana, R. (2010). *Aplicación de tres abonos orgánicos en maíz var. morado arequipeño (Zea mays) para exportación en zonas áridas*. Arequipa: UNSA.
- Deras, H. (2012). *Guía técnica el cultivo de maíz*. El Salvador: IICA-MAG.
- Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Monterey. (2015). *Rcdmonterey*. Obtenido de **Cómo Usar un Tensiómetro**: <https://www.rcdmonterey.org/images/docs/publications/How-to-Use-Tensiometer-Spanish-Reader-final.pdf>
- Faci, J. (2012). *Determinación de las necesidades de riego de los cultivos*. Aragón : CITA.
- FAO. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Obtenido de <<http://www.fao.org/docrep/003/>
- FAO. (2011). *Manual de riego parcelario*. Roma: FAO.

- Flores, H., Sifuentes, E., Flores, H., Ojeda, W., & Ramos, C. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 241-252. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n2/v5n2a6.pdf>
- Fuentes, M. (2002). *El cultivo de maíz en Guatemala una guía para su manejo agronomico*. Guatemala: ICTA.
- García, M. (2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(2), 76-82.
- Giraldo, E. (2019). *Efecto del riego intermitente en el rendimiento del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Unica*. Lima: UNALM.
- González, J., Muñoz, B., Acosta, R., & Mailhol, J. (2006). Modelo de la onda cinemática adaptado al riego por surcos cerrados. *Agrociencia*, 40(6), 731-740.
- Guillén, J., Mori, S., & Paucar, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays L.*) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217.
- Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. San José, Costa Rica: 1985.
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- Hernández, R., & Mendoza, P. (2018). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Hurtado, L. (2004). *Efecto del régimen de riego y de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz híbrido PM-204*. Lima: UNALM.
- Inia. (2007). *Boletín informativo maíz INIA 615 negro canaán*. Lima: Instituto Nacional de Investigación Agraria.
- Justiniano, E. (2010). *Fenología e intesis de color en corontas del maíz morado (Zea mayz L.) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de la Molina*. Lima: UNALM.

- Kato, T., Mapess, L., Mera, M., Serratos, J., & Baye, R. (2009). Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. *Universidad Autónoma de México*, 116.
- Martin, E. (2017). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?* Arizona: College Of Agriculture & Life Sciences.
- Massey, J., Walker, T., Anders, M., Cade, M., & Avila, L. (2014). Adaptación de los agricultores a las inundaciones intermitentes mediante el riego de arroz de múltiples entradas en Mississippi. *Manejo Agrícola del Agua*, 146, 297-304.
- Medina, A., Yoshino, M., Morita, T., & Maruyama, H. (2016). *Guía de producción comercial de maíz morado*. Cajamarca: IEPARC.
- Mendieta, E. (2015). *Control de malezas y densidad de plantas en el rendimiento del cultivo de maíz morado (Zea mays) Cangari 2320 msnm Huanta - Ayacucho*. Ayacucho: UNSCH.
- Miranda, O., & García, J. (2015). *Biblioteca Inia*. Obtenido de Riego Intermitente: Nuevo concepto en riego.: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR11864.pdf>
- Miranda, O., & García, J. (2015). *Riego intermitente nuevo concepto de riego*. Bogota: INIA.
- Neyra, R. (2011). *Fertilización fosfórica en el contenido de antocianinas en "tusa" de maíz morado (Zea mays L)*. Arequipa: UNSA.
- Noroña, J. (2008). Caracterización y evaluación agromorfológica de 64 accesiones de maíz negro y 27 de maíz chulpi (*Zea mays L.*) colectados en la serranía del Ecuador en la EESC - INIAP. *EPN Escuela Politecnica Nacional*, 5-7.
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., & Méndez, A. (2018). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco. *Siembra*, 5(1), 16-25.
- Oscanoa, C. (2004). *Participatory breeding and decentralized seed production of maize in the Central Highlands of Peru. Global genetic resource conservation*. El Batán México: CIMMYT.

- Ospina, J. (2015). *Manual técnico de cultivos de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín: Fotomontajes S.A.S.
- Pazmiño, P. (2011). *Utilización de la cebada, grano y corontas de maíz negro en la elaboración de una bebida funcional*. Quito: Sangolqui.
- Perat. (2016). *Sistemas de riego por gravedad*. Lima: MINAGRI.
- Perez, F., Córdova, L., Santacruz, A., Castillo, F., Cárdenas, E., & Delgado, A. (2007). Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), 5-16.
- Pinedo, R. (2015). *Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (Zea mayz L.) en la localidad de Canaán - Ayacucho*. Lima: UNALM.
- Psi. (2020). *sistema de riego por caudal intermitente*. Obtenido de http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cchojas%5Ccriego_caudal_intermitente.pdf
- Quispe, F., Arroyo, K., & Gorriti, A. (2011). Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (Zea mays L.) en Arequipa - Perú. *Revista Sociedad química del Perú*, 77(3), 205-217.
- Requis, F. (2012). *Manejo agronómico del maíz morado en los valles interandinos del Perú*. Ayacucho: INIA. Obtenido de http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/124/6/Requis-Manejo_agron%C3%B3mico_ma%C3%ADz_morado.pdf
- Risco, M. (2012). Conociendo la cadena productiva del maíz morado en Ayacucho. *Solid*, 88.
- Rodríguez, M., Santana, S., Brown, O., & Alonso, F. (2014). Improvement of continuous furrows irrigation and surge flow, in floor leached red ferralitic soil in the productive system of Banao. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 56-59.
- Rodriguez, M., Santana, M., Alonso, F., & Delgado, B. (2011). Mejoramiento del riego por surco en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) con el uso de un Tanque de Descarga de Fondo.

I Conferencia Científica Internacional de la UNISS (YAYABOCIENCIA, 2011) (págs. 28-30). Cuba: Saneti Spiritus.

Rodríguez, M., Santana, M., Brown, O., & Alonso, F. (2013). Surge flow associated to the cultivation of the onion and their efficiency in the floor losses and it dilutes for surface. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4), 50-54.

Rodríguez, M., Santana, M., Brown, O., & De la Paz, F. (2013). Riego por surco con caudal intermitente asociado al cultivo de la cebolla y su eficiencia en las pérdidas de suelo y agua por escorrentía. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4), 50-54.

Romay, C., Génova, L., Salgado, H., & Zabala. (2011). *Recomendaciones para mejorar la eficiencia en el riego discontinuo programando*. Caba: INA.

Roncero, G., Ramos, W., Arroyo, W., Galarza, J., Gutiérrez, C., Ortega, E., . . . Palma, L. (2012). Estudio comparativo del maíz morado (*Zea mays L.*) y simvastatina en la reducción de lípidos séricos de pacientes diabéticos normotensos con dislipidemia. *Scielo*, 73(2), 113-117.

Rosano, L., Réndón, L., Pacheco, P., Etchevers, J., Chávez, J., & Vaquera, H. (2001). Calibration of an hidrology model applied in the technology irrigation by gravity. *Agrociencia*, 35(6), 577-588.

Samani, Z. (2000). Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267.

Santana, M. (2007). *Tecnología sostenible para el mejoramiento del riego por surcos y protección del suelo en el cultivo de la cebolla (Allium cepa, L.) en condiciones de premontaña*. Ciego de Ávila: UCA.

Sevilla, R., & Oscanoa, C. (2010). *Razas de maíz en la sierra central del Perú, Junin, Huancavelica y Ayacucho*. Junin: INIA.

Suni, L. (2010). *Dos densidades de siembra bajo riego por goteo en condiciones áridas de Arequipa*. Arequipa: UNSA.

Vasquez, A. (2000). *Manejo de cuencas alto andinas*. Lima: MINAM.

Vasquez, V. (2013). *Experimentacion Agricola - Soluciones con SAS*. Cajamarca: CONCYTEC.

Veintimilla, M. (2013). *Manual software aqua*. Guayaquil: Civilgeeks.

Yanangómez, L. (2018). *Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (Zea mays L.) en la parroquia Malacatos sector "San José"*. Loja: UNL.

VIII. Anexos

Anexo I: Análisis de suelos del campo experimental.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD

SOLICITANTE : Valverde Nivin Adel Gilver - Tesista

MUESTRA : M - 01. Fundo Allpa Rumi

UBICACIÓN : Marcará - Carhuaz - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O %	NL %	P ppm	K ppm	C.E dS/m	Da. g/cm ³
	Arena	Limo	Arcilla								
171	54	30	16	Franco arenoso	5.93	1.846	0.092	11	636	0.186	1.51

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arenoso, se caracteriza por tener una reacción moderadamente ácida, pobre en materia orgánica y % de nitrógeno total, medianamente rico en fósforo y pobre en potasio, la muestra es ligeramente salina.

Huaraz, 27 de febrero del 2020.



Anexo 2: Resultados de análisis de agua.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUAS

SOLICITANTE : Valverde Ñivin Adel Gilver - Tesista

FUENTE : M -01- Fundo Allpa Rumi

UBICACIÓN : Marcara - Carhuaz - Ancash

Nº MUESTRA		15
TIPO		Riego
pH		7.22
C.E.	dS/m	0.13
CALCIO	me/l	1.46
MAGNECIO	me/l	0.52
POTASIO	me/l	0.10
SODIO	me/l	0.05
SUMA DE CATIONES		2.13
NITRATOS	me/l	N.D
CARBONATOS	me/l	0.00
BICARBONATOS	me/l	0.10
SULFATOS	me/l	0.12
CLORUROS	me/l	1.06
SUMA DE ANIONES		1.28
SODIO	%	2.35
RAS		0.05
BORO	ppm	N.D
Clasificación		C ₁ S ₁

- ND: NO DETERMINADO

CONCLUSIONES: La muestra se caracteriza por tener una reacción neutra, se encuentra ubicado en la clase (C₁ y S₁), (ver tabla de Interpretación).

Huaraz, 22 de febrero del 2022




Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS

Anexo 3: Matriz de datos de Rendimiento

Tratamientos	Nº	Nº Surcos	Distancia a Surcos	Distancia a Plantas	Longitud de Surcos	Nº surcos de Cosecha	Produccion (Kg)	Observacion	Area de cosecha m2	Rendimiento (Ton/Ha)
Bloque I	To	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	18.50	Cada Tratamiento solo se cosecho 3 Surcos una area de 2.40x 15.00m	36.00	5.14
	T2	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	27.00		36.00	7.50
	T1	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	19.50		36.00	5.42
	T3	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	25.00		36.00	6.94
Bloque II	T1	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	19.50	Cada Tratamiento solo se cosecho 3 Surcos una area de 2.40x 15.00m	36.00	5.42
	T3	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	16.00		36.00	4.44
	To	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	12.50		36.00	3.47
	T2	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	22.50		36.00	6.25
Bloque III	T2	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	17.50	Cada Tratamiento solo se cosecho 3 Surcos una area de 2.40x 15.00m	36.00	4.86
	T1	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	15.50		36.00	4.31
	T3	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	18.00		36.00	5.00
	To	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	13.00		36.00	3.61
Boque IV	T3	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	18.50	Cada Tratamiento solo se cosecho 3 Surcos una area de 2.40x 15.00m	36.00	5.14
	To	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	15.50		36.00	4.31
	T2	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	16.50		36.00	4.58
	T1	5.00	0.80	0.40	15.00	3.00	20.00		36.00	5.56

Anexo 4: Matriz de datos de profundidad de humedecimiento

Tratamientos	Nº	Longitud de Surco	Infiltración en Inicio de Surco	Infiltración en medio de Surco	Infiltración en Final de Surco	Observación
Bloque I	To	15.00	40.50	30.60	12.20	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	T2	15.00	35.00	32.50	28.40	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	T1	15.00	31.60	27.40	21.60	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	T3	15.00	39.00	37.80	30.50	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
Bloque II	T1	15.00	32.80	28.90	24.80	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	T3	15.00	37.60	33.50	27.80	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	To	15.00	38.40	20.60	11.40	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	T2	15.00	34.60	32.50	29.80	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
Bloque III	T2	15.00	35.00	32.50	28.40	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	T1	15.00	32.80	28.90	24.80	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	T3	15.00	39.00	37.80	30.50	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	To	15.00	38.40	20.60	11.40	Tiempo de riego continuo de 15 Min
Boque IV	T3	15.00	37.60	33.50	27.80	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	To	15.00	40.50	30.60	12.20	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	T2	15.00	34.60	32.50	29.80	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	T1	15.00	31.60	27.40	21.60	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min

Anexo 5: Matriz de datos de caudal aplicado.

Tratamientos	Nº	VOLUMEN (l)	TIEMPO (s)	CAUDAL PARCIAL (l/s)	CAUDAL (l/s)	
BLOQUE I						
Tratamiento N° 02	1.0000	1.3200	7.1700	0.1841	0.1809	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	2.0000	1.1900	6.5900	0.1806		
	3.0000	1.2800	7.5700	0.1691		
	4.0000	1.2100	6.4500	0.1876		
	5.0000	1.2900	7.0500	0.1830		
Tratamiento N° 01	1.0000	1.2200	6.5800	0.1854	0.1989	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	2.0000	1.2000	6.4500	0.1860		
	3.0000	1.1900	5.8800	0.2024		
	4.0000	1.1400	4.5900	0.2484		
	5.0000	1.2500	7.2500	0.1724		
Tratamiento N° 03	1.0000	1.1900	5.5500	0.2144	0.2073	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	2.0000	1.1800	5.4900	0.2024		
	3.0000	1.2200	5.7600	0.2118		
	4.0000	1.2100	6.5400	0.1691		
	5.0000	1.1800	4.9400	0.2389		
Tratamiento N° 00	1.0000	1.2600	7.8900	0.1597	0.1823	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	2.0000	1.2900	7.5800	0.1702		
	3.0000	1.3400	7.9800	0.1679		
	4.0000	1.2300	6.2800	0.1959		
	5.0000	1.1000	5.0500	0.2178		
BLOQUE II						
Tratamiento N° 03	1.0000	1.3100	6.4500	0.2031	0.2008	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	2.0000	1.3200	6.3000	0.2095		
	3.0000	1.3800	6.7000	0.2060		
	4.0000	1.2800	6.5300	0.1960		
	5.0000	1.2200	6.4500	0.1891		
Tratamiento N° 00	1.0000	1.1500	7.0500	0.1631	0.1862	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	2.0000	1.1700	7.2500	0.1614		
	3.0000	1.2900	6.4800	0.1991		
	4.0000	1.2600	5.9000	0.2136		
	5.0000	1.3600	7.0100	0.1940		
Tratamiento N° 02	1.0000	1.1400	5.9600	0.1913	0.2068	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	2.0000	1.3100	6.5400	0.2003		
	3.0000	1.3400	6.8500	0.1956		
	4.0000	1.4600	6.8400	0.2135		
	5.0000	1.2800	5.4800	0.2336		
Tratamiento N° 01	1.0000	1.4400	7.1100	0.2025	0.1973	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	2.0000	1.3800	7.0400	0.1960		
	3.0000	1.2600	7.1500	0.1762		
	4.0000	1.1800	5.8000	0.2034		
	5.0000	1.5800	7.5900	0.2082		

Tratamientos	Nº	VOLUMEN (l)	TIEMPO (s)	CAUDAL PARCIAL (l/s)	CAUDAL (l/s)	
BLOQUE ° III						
Tratamiento Nº 02	1.0000	1.1900	6.5900	0.1806	0.1809	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	2.0000	1.2800	7.5700	0.1691		
	3.0000	1.3200	7.1700	0.1841		
	4.0000	1.2900	7.0500	0.1830		
	5.0000	1.2100	6.4500	0.1876		
Tratamiento Nº 01	1.0000	1.2000	6.4500	0.1860	0.2013	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	2.0000	1.2200	6.5800	0.1854		
	3.0000	1.1800	5.4900	0.2149		
	4.0000	1.1900	5.8800	0.2024		
	5.0000	1.1000	5.0500	0.2178		
Tratamiento Nº 03	1.0000	1.1900	5.5500	0.2144	0.2219	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	2.0000	1.2300	6.2800	0.1959		
	3.0000	1.1400	4.5900	0.2484		
	4.0000	1.2200	5.7600	0.2118		
	5.0000	1.1800	4.9400	0.2389		
Tratamiento Nº 00	1.0000	1.2600	7.8900	0.1597	0.1710	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	2.0000	1.2900	7.5800	0.1702		
	3.0000	1.3400	7.9800	0.1679		
	4.0000	1.2100	6.5400	0.1850		
	5.0000	1.2500	7.2500	0.1724		
BLOQUE ° IV						
Tratamiento Nº 03	1.0000	1.4400	7.1100	0.2025	0.1984	Tiempo de riego 15 Min y corte de agua 15 Min
	2.0000	1.3800	7.0400	0.1960		
	3.0000	1.3100	6.5400	0.2003		
	4.0000	1.2900	6.4800	0.1991		
	5.0000	1.3600	7.0100	0.1940		
Tratamiento Nº 00	1.0000	1.3100	6.4500	0.2031	0.2131	Tiempo de riego continuo de 15 Min
	2.0000	1.2600	5.9000	0.2136		
	3.0000	1.3200	6.3000	0.2095		
	4.0000	1.3800	6.7000	0.2060		
	5.0000	1.2800	5.4800	0.2336		
Tratamiento Nº 02	1.0000	1.1500	7.0500	0.1631	0.1883	Tiempo de riego 10 Min y corte de agua 10 Min
	2.0000	1.1700	7.2500	0.1614		
	3.0000	1.3400	6.8500	0.1956		
	4.0000	1.4600	6.8400	0.2135		
	5.0000	1.5800	7.5900	0.2082		
Tratamiento Nº 01	1.0000	1.1400	5.9600	0.1913	0.1912	Tiempo de riego 5 Min y corte de agua 5 Min
	2.0000	1.2600	7.1500	0.1762		
	3.0000	1.2800	6.5300	0.1960		
	4.0000	1.1800	5.8000	0.2034		
	5.0000	1.2200	6.4500	0.1891		

Anexo 6: Panel fotográfico

Figura 15: Instalación de mangas para riego intermitente.



Figura 16: Instalación de compuerta de 2”.



Figura 17: Muestreo de suelo para análisis de laboratorio.



Figura 18: Instalación de cámara de carga para sistema de riego intermitente.



Figura 19: Vista general de manga e riego con compuertas.



Figura 20: Recepción de muestra de suelo para análisis de laboratorio.



Figura 21: Vista de la parcela experimental.



Figura 22: Evaluación de profundidad de humedecimiento del suelo.



Figura 23: Evaluación de profundidad de humedecimiento a inicio del surco

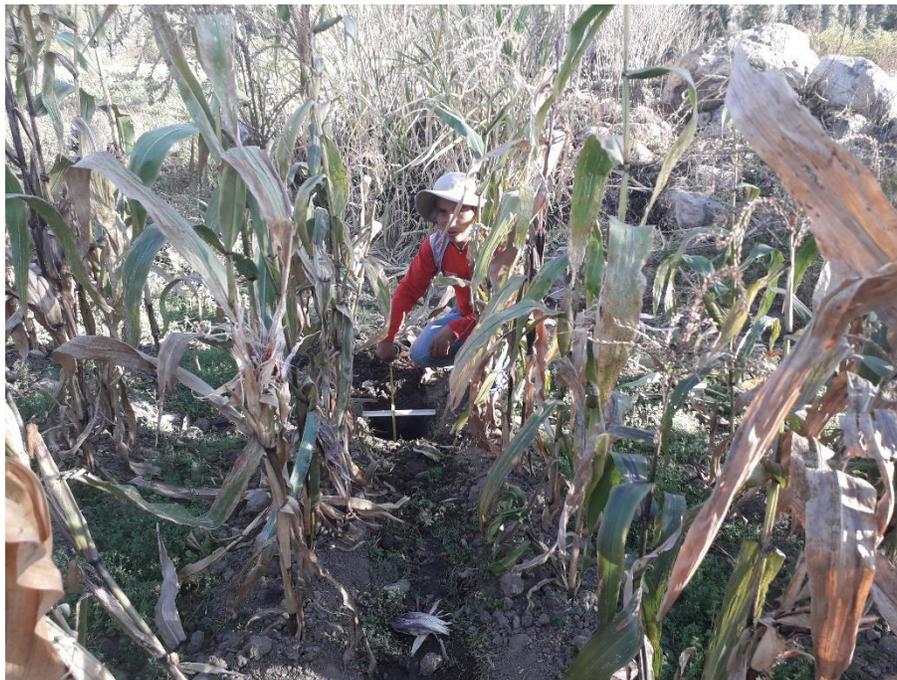


Figura 24: Evaluación de caudal aplicado a los surcos.



Figura 25: Vista de la cámara de carga.



Figura 26: Evaluación de caudal aplicado



Figura 27: Proceso de cosecha del cultivo.



Figura 28: Vista de la producción lograda en cada unidad experimental



Figura 29: Proceso de despacado para evaluación de producción



Figura 30: Pesado de la producción según tratamientos



Figura 31: Vista de las producciones logradas según bloques y tratamientos.



Figura 32: Vista de las mazorcas cosechadas en el experimento.

