

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA



**“DISTRIBUCIÓN DE HUMEDAD Y PRODUCCIÓN DE FRIJOL
CANARIO CON RIEGO POR GOTEIO A DIFERENTES DOSIS DE
POLIACRILATO DE SODIO”**

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

RENZO ALESSANDRO FRANCO CÉSPEDES MANRIQUE

LIMA – PERÚ

2020

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“DISTRIBUCIÓN DE HUMEDAD Y PRODUCCIÓN DE FRIJOL CANARIO
CON RIEGO POR GOTEO A DIFERENTES DOSIS DE
POLIACRILATO DE SODIO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

RENZO ALESSANDRO FRANCO CÉSPEDES MANRIQUE

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO
Presidente

Dr. NÉSTOR MONTALVO ARQUIÑIGO
Asesor

Dr. DAVID RICARDO ASCENCIOS TEMPLO
Miembro

Blgo. JUAN GABRIEL JUSCAMAITA MORALES
Miembro

Ing. FERNANDO PAZ ZAGACETA
Co-Asesor

LIMA – PERU

2020

DEDICATORIA

*Siempre me dieron el apoyo y
la ayuda idónea cuando más lo necesité,
porque Dios me bendijo siendo ellos los forjadores de mi camino.
Por este motivo quisiera dedicarlo a mis padres,
Carlos y Aglé,
en retribución y agradecimiento a todas las enseñanzas,
y a mis abuelas Amanda y Rosa,
que desde el cielo siempre me enseñan la luz en mi camino.*

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación, si bien ha requerido de mucho esfuerzo y dedicación, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación generosa de todas y cada una de las personas que a continuación mencionaré.

Primero y, antes que nada, a Dios, por darme la vida y fortalecer mi corazón.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi patrocinador, el Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo, por darme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, por su guía y por el tiempo dedicado a la presente investigación. De igual manera a mi copatrocinador, Ing. Fernando Paz Zagaceta, por su amistad, enseñanzas, conocimientos y consejos brindados, por su apoyo constante e incondicional a lo largo de mi etapa de tesista.

A mis jurados calificadores: Mg. Sc. Miguel Sánchez Delgado y Dr. David Ascencios Templo, por su colaboración, sus acertadas acotaciones y el tiempo dedicado desde inicios de la investigación. En especial a Blgo. Juan Juscamaita Morales por brindarme el polímero para su utilización en el presente experimento.

A mis compañeros tesistas y técnicos de riego, por su amistad, colaboración y ayuda desinteresada.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Riego localizado de alta frecuencia	3
2.1.1	Definición de riego por goteo	3
2.1.2	Componentes del sistema de riego por goteo	3
2.2	Propiedades del suelo.....	4
2.3	El bulbo húmedo	6
2.3.1	Formación del bulbo húmedo	6
2.3.2	Superficie de área mojada por el emisor	7
2.4	Métodos para medir la humedad del suelo	8
2.4.1	Métodos directos.....	8
2.4.2	Métodos indirectos	8
2.5	Polímeros como retenedores de agua en el suelo.....	9
2.5.1	¿Qué son los polímeros?.....	9
2.5.2	Clasificación de polímeros	9
2.5.3	Propiedades de polímeros.....	10
2.5.4	Mecanismo de polímeros absorbentes	11
2.5.5	Ventajas y desventajas.....	12
2.5.6	Polímeros y su aplicación en la agricultura	12
2.6	Lluvia sólida.....	13
2.7	Poliacrilato de sodio.....	15
2.8	El cultivo del frijol	18
2.8.1	Origen y taxonomía	18
2.8.2	Características morfológicas.....	18
2.8.3	Estados de desarrollo del frijol	19
2.8.4	Manejo agronómico del cultivo del frijol	21
2.8.5	Producción anual y rendimiento de frijol en el Perú	23
2.8.6	Frijol canario centenario.....	24
2.8.7	Investigaciones pasadas asociadas al cultivo.....	25

III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Ubicación y características de la zona de estudio	28
3.1.1 Ubicación del terreno.....	28
3.1.2 Características del agua	29
3.1.3 Características del suelo	30
3.1.4 Características climáticas	31
3.2 Materiales y equipos.....	32
3.2.1 Materiales del experimento	32
3.2.2 Equipos del experimento	32
3.2.3 Herramientas del experimento y programas de cómputo	32
3.3 Metodología de la investigación.....	33
3.3.1 Fase pre-campo.....	33
3.3.1.1 Características técnicas de la parcela experimental	33
3.3.1.2 Tratamientos	34
3.3.1.3 Diseño experimental	35
3.3.1.4 Análisis estadístico.....	36
3.3.1.5 Especificaciones de siembra	37
3.3.1.6 Estimaciones previas.....	38
3.3.2 Fase de campo	41
3.3.2.1 Preparación del terreno	41
3.3.2.2 Instalación del sistema de riego	42
3.3.2.3 Preparación e inserción del polímero.....	44
3.3.2.4 Siembra	46
3.3.2.5 Labores culturales	46
3.3.2.6 Humedad del suelo.....	48
3.3.2.7 Lámina de agua aplicado	49
3.3.2.8 Evaluación de 4 fases fenológicas del cultivo	50
3.3.2.9 Longitud de raíces.....	50
3.3.2.10 Altura de planta	50
3.3.2.11 Área foliar.....	50
3.3.2.12 Número de vainas	51
3.3.2.13 Cosecha.....	52

3.3.3	Fase de gabinete.....	52
3.3.3.1	Volumen de agua aplicado.....	53
3.3.3.2	Rendimiento del cultivo.....	53
3.3.3.3	Huella hídrica.....	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1	Humedad del suelo.....	54
4.2	Volumen de agua aplicado.....	59
4.2.1	Lámina de riego.....	59
4.2.2	Lámina de riego acumulada.....	64
4.2.3	Cuantificación de consumo de agua.....	69
4.3	Fases fenológicas del frijol.....	70
4.3.1	Formación de hojas primarias.....	70
4.3.2	Floración.....	71
4.3.3	Formación de vainas.....	72
4.3.4	Madurez de cosecha.....	73
4.4	Longitud de raíces.....	75
4.5	Altura de planta.....	80
4.6	Área foliar.....	85
4.7	Número de vainas.....	90
4.8	Rendimiento del cultivo.....	95
4.9	Huella hídrica.....	100
V.	CONCLUSIONES.....	105
VI.	RECOMENDACIONES.....	107
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
VIII.	ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones ambientales del cultivo del frijol	21
Tabla 2: Época de siembra de las variedades de frijol cultivados en el Perú	22
Tabla 3: Producción anual y rendimiento de frijol en el Perú	23
Tabla 4: Características del frijol canario centenario (<i>Phaseolus Vulgarsis</i> L)	24
Tabla 5: Fases del cultivo del frijol canario PF210 con respecto a los días de siembra.....	25
Tabla 6: Requerimiento de agua del frijol	25
Tabla 7: Longitud de raíces de 2 variedades de frijol.....	25
Tabla 8: Altura de planta promedio de 5 variedades de frijol	26
Tabla 9: Área foliar de 4 variedades de frijol.....	26
Tabla 10: No. de vainas por planta de 3 variedades de frijol	26
Tabla 11: Rendimiento promedio de grano seco de 10 variedades de frijol	27
Tabla 12: Rendimiento promedio de grano seco de 4 variedades de frijol	27
Tabla 13: Huella hídrica para el frijol común.....	27
Tabla 14: Características físico-químicas del agua de riego	29
Tabla 15: Características del suelo de la parcela.....	30
Tabla 16: Resumen de variables meteorológicas promedio de la estación Von Humboldt de la UNALM entre los años 2001-2015	31
Tabla 17: Descripción técnica de la parcela experimental	33
Tabla 18: Especificaciones de siembra.....	37
Tabla 19: Densidad aparente del suelo de la parcela.....	38
Tabla 20: Ensayo de humedad del suelo para hallar la CC	39
Tabla 21: Lámina de riego bruta total (mm) para el frijol canario centenario	64
Tabla 22: Análisis de varianza de la lámina acumulada.....	65
Tabla 23: Prueba Shapiro – Wilks de la lámina acumulada	65
Tabla 24: Prueba de Levene de la lámina acumulada	66
Tabla 25: Prueba de Tukey para la lámina acumulada.....	67
Tabla 26: Consumo de agua total (m ³ /ha) del frijol canario centenario.....	69
Tabla 27: Análisis de varianza de la longitud de raíces	76
Tabla 28: Prueba Shapiro – Wilks de la longitud de raíces.....	76

Tabla 29: Prueba de Levene de la longitud de raíces	77
Tabla 30: Prueba de Tukey para la longitud de raíces.....	78
Tabla 31: Análisis de varianza de la altura de planta	81
Tabla 32: Prueba Shapiro–Wilks de la altura de planta.....	81
Tabla 33: Prueba de Levene de la altura de planta	82
Tabla 34: Prueba de Tukey para la altura de planta	83
Tabla 35: Análisis de varianza del área foliar	86
Tabla 36: Prueba Shapiro–Wilks del área foliar.....	86
Tabla 37: Prueba de Levene del área foliar	87
Tabla 38: Prueba de Tukey del área foliar.....	88
Tabla 39: Análisis de varianza del No. de vainas	91
Tabla 40: Prueba Shapiro–Wilks del No. de vainas	91
Tabla 41: Prueba de Levene del No. de vainas.....	92
Tabla 42: Prueba de Tukey del No. de vainas	93
Tabla 43: Análisis de varianza del rendimiento	96
Tabla 44: Prueba Shapiro–Wilks del rendimiento.....	96
Tabla 45: Prueba de Levene del rendimiento	97
Tabla 46: Prueba de Tukey del rendimiento.....	98
Tabla 47: Análisis de varianza de la huella hídrica	101
Tabla 48: Prueba Shapiro–Wilks de la huella hídrica	101
Tabla 49: Prueba de Levene de la huella hídrica.....	102
Tabla 50: Prueba de Tukey de la huella hídrica	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bulbo húmedo	6
Figura 2: Forma de bulbo húmedo en suelo de diferentes texturas	7
Figura 3: Cultivo de maíz en México con y sin lluvia sólida	14
Figura 4: Diferencia entre los cultivos con y sin lluvia sólida	14
Figura 5: Enlaces atómicos de los acrilatos.....	15
Figura 6. Polimerización del poliacrilato de sodio	16
Figura 7: Reacción del poliacrilato de sodio con agua.....	16
Figura 8: Etapas del desarrollo del frijol	20
Figura 9: Ubicación de la zona de estudio.....	28
Figura 10: Dimensiones de la parcela experimental.....	33
Figura 11: Distribución de tratamientos en la parcela experimental	34
Figura 12: Diseño de bloques completo al azar.....	35
Figura 13: Detalle de la unidad experimental.....	37
Figura 14: Variación de la humedad del suelo para estimar la CC	40
Figura 15: Preparación del terreno	41
Figura 16: Línea de conducción de sistema de riego.....	42
Figura 17: Instalación de tubería principal y elaboración de arcos de riego	43
Figura 18: Instalación de arcos de riego, porta-laterales y laterales.....	44
Figura 19: Cuantificación de poliacrilato de sodio en diferentes dosis	45
Figura 20: Inserción del poliacrilato de sodio en el suelo	46
Figura 21: Aporque de la planta de frijol	47
Figura 22: Aplicación de Biolac al cultivo.....	47
Figura 23: Intervalo de humedad gravimétrica óptima del suelo para el frijol	48
Figura 24: Medición de la humedad del suelo del cultivo de frijol.....	49
Figura 25: Estimación del área foliar del frijol.....	51
Figura 26: Extracción de plantas de frijol y conteo del número de vainas.....	51
Figura 27: Cosecha.....	52
Figura 28: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T0	54
Figura 29: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T1	55

Figura 30: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T2	56
Figura 31: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T3	56
Figura 32: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T4	57
Figura 33: Variación de humedad gravimétrica del suelo de los tratamientos.....	58
Figura 34: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T0.....	60
Figura 35: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T1	60
Figura 36: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T2.....	61
Figura 37: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T3.....	61
Figura 38: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T4.....	62
Figura 39: Láminas de riego bruta aplicada a los tratamientos	63
Figura 40: Láminas de riego bruta total acumulada para el frijol canario centenario	64
Figura 41: Q-q plot de los residuos de la lámina acumulada.....	66
Figura 42: Prueba de homogeneidad de varianzas de la lámina acumulada	67
Figura 43: Análisis de medias de la lámina acumulada.....	68
Figura 44: Diagrama de cajas de la lámina acumulada	68
Figura 45: Consumo de agua total por fase y acumulada del frijol canario centenario	69
Figura 46: Formación de hojas primarias del frijol canario centenario.....	70
Figura 47: Floración del frijol canario centenario	71
Figura 48: Formación de vainas del frijol canario centenario	72
Figura 49: Maduración del frijol canario centenario	73
Figura 50: Fases de desarrollo del cultivo de frijol canario centenario.....	74
Figura 51: Longitud de raíces del frijol canario centenario.....	75
Figura 52: Q-q plot de los residuos de la longitud de raíces	77
Figura 53: Prueba de homogeneidad de varianzas de la longitud de raíces	78
Figura 54: Análisis de medias de la longitud de raíces	79
Figura 55: Diagrama de cajas de la longitud de raíces	79
Figura 56: Altura de planta del frijol canario centenario.....	80
Figura 57: Q-q plot de los residuos de la altura de planta	82
Figura 58: Prueba de homogeneidad de varianzas de la altura de planta	83
Figura 59: Análisis de medias de la altura de planta	84
Figura 60: Diagrama de cajas de la altura de planta.....	84
Figura 61: Área foliar del frijol canario centenario	85
Figura 62: Q-q plot de los residuos del área foliar	87
Figura 63: Prueba de homogeneidad de varianzas del área foliar	88

Figura 64. Análisis de medias del área foliar	89
Figura 65: Diagrama de cajas del área foliar	89
Figura 66: Número de vainas del frijol canario centenario	90
Figura 67: Q-q plot de los residuos del No. de vainas.....	92
Figura 68: Prueba de homogeneidad de varianzas del No. de vainas.....	93
Figura 69: Análisis de medias del No. de Vainas.....	94
Figura 70: Diagrama de cajas del No. de vainas	94
Figura 71: Rendimiento del frijol canario centenario.....	95
Figura 72: Q-q plot de los residuos del rendimiento	97
Figura 73: Prueba de homogeneidad de varianzas del rendimiento	98
Figura 74: Análisis de medias del rendimiento de frijol canario centenario	99
Figura 75: Diagrama de cajas del rendimiento de frijol canario centenario.....	99
Figura 76: Huella hídrica del frijol canario centenario.....	100
Figura 77: Q-q plot de los residuos de la huella hídrica	102
Figura 78: Prueba de homogeneidad de varianzas de la huella hídrica.....	103
Figura 79: Análisis de medias de la huella hídrica del frijol canario centenario.....	104
Figura 80: Diagrama de cajas de la huella hídrica del frijol canario centenario	104

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T0.....	112
Anexo 2: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T1.....	113
Anexo 3: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T2.....	114
Anexo 4: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T3.....	115
Anexo 5: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T4.....	116
Anexo 6: Hoja de datos de parámetros biométricos del T0.....	117
Anexo 7: Hoja de datos de parámetros biométricos del T1.....	118
Anexo 8: Hoja de datos de parámetros biométricos del T2.....	119
Anexo 9: Hoja de datos de parámetros biométricos del T3.....	120
Anexo 10: Hoja de datos de parámetros biométricos del T4.....	121
Anexo 11: Hoja de datos de los estados de desarrollo del frijol canario centenario	122
Anexo 12: Análisis de caracterización del suelo de la parcela experimental	123
Anexo 13: Análisis de agua de riego	124
Anexo 14: Especificaciones técnicas del TDR150.....	125
Anexo 15: Especificaciones técnicas del BIOLAC	126
Anexo 16: Instalación del sistema de riego	127
Anexo 17: Crecimiento del cultivo de frijol canario centenario	128
Anexo 18: Verificaciones durante el experimento	129
Anexo 19: Análisis de muestras en laboratorio	130

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acrónimo

CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
FAO	Food and Agriculture Organization
FIA	Facultad de Ingeniería Agrícola
HDPE	High Density Polyethylene
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
ISSS	International Society for Soil Science
LASMAF	Laboratorio de Agua, Suelos y Medio Ambiente y Fertirriego
LASPAF	Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas, y Fertilizantes
Ph	Potencial hidrógeno
PLGO	Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas
PVC	Policloruro de Vinilo
SAR	Sodium Adsorption Ratio
TDR	Time Domain Reflectometry
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
UPR	Unión Perno-Rosca

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en los campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina y tuvo como objetivo evaluar la distribución de humedad en el suelo durante el periodo vegetativo del cultivo de frijol canario centenario (*Phaseolus vulgaris L.*) con cuatro dosis de poliacrilato de sodio mediante el riego por goteo y su influencia en los parámetros biométricos y la producción.

El desarrollo del experimento se realizó en tres fases: La fase de pre-campo, donde se establecieron cinco tratamientos: El T0, que no contiene polímero; el T1, T2, T3 y T4 con 5, 10, 15 y 20 gramos de poliacrilato de sodio por planta, respectivamente. Además, se definieron las características de la parcela experimental y sus especificaciones de siembra. La fase de campo comprendió la incorporación del poliacrilato de sodio en el suelo, la siembra del frijol canario centenario, el monitoreo de las humedades del suelo antes de cada riego para todas las unidades experimentales y las mediciones de los parámetros biométricos como: longitud de raíces, altura de planta, área foliar y número de vainas. Finalmente, el análisis de los datos recopilados en la fase de campo, permitió calcular el consumo de agua total, rendimiento promedio y la huella hídrica por tratamiento. Los resultados muestran diferencias significativas de los tratamientos T1, T2, T3 y T4, con poliacrilato de sodio, respecto al T0, sin poliacrilato de sodio, observando la incidencia del polímero en la retención del agua. Esto se constató ya que el tratamiento T0 que requirió de 2395 m³/ha, mientras que el T3, 1858 m³/ha, obteniendo un ahorro del 22.4 por ciento del recurso hídrico. Adicionalmente, respecto al rendimiento promedio, en el T2 se ha obtenido 3804 kg/ha, y en el T0, 3004 kg/ha, siendo menor en un 26.6 por ciento. Respecto a la cantidad de agua requerida para la producción de 1 kilogramo de frijol canario centenario, se determinó que el tratamiento T2, con 10 gramos de poliacrilato de sodio por planta, requirió 507 litros, mientras que el tratamiento T0, sin polímero, 798 litros de agua, obteniendo un ahorro del 37 por ciento, afirmando que el poliacrilato de sodio influye en la retención del agua y la producción del cultivo del frijol. Por la importancia que tiene el polímero, se recomienda realizar investigaciones de este tipo en diferentes épocas del año, en zonas donde el recurso hídrico es un factor limitante y en condiciones de suelo de poca retención de humedad.

Palabras claves: Poliacrilato de sodio, polímero, riego por goteo, frijol canario centenario.

ABSTRACT

The present research work was carried out on the campus of the La Molina National Agrarian University and its objective was to evaluate the distribution of humidity in the soil during the vegetative period of the cultivation of centennial canary beans (*Phaseolus vulgaris L.*) with four doses of sodium polyacrylate through drip irrigation and its influence on biometric parameters and production.

The development of the experiment was carried out in three phases: The pre-field phase, where five treatments were established: The T0, which does not contain polymer; T1, T2, T3 and T4 with 5, 10, 15 and 20 grams of sodium polyacrylate per plant, respectively. Besides of this, the characteristics of the experimental piece of ground and its planting specifications were defined. The field phase included the incorporation of sodium polyacrylate into the soil, the sowing of the centennial canary bean, the monitoring of soil moisture before each irrigation for all the experimental units and the measurements of biometric parameters such as: root length, plant height, leaf area and number of pods. Finally, the analysis of the data collected in the field phase made it possible to calculate the total water consumption, the average yield and the water footprint per treatment. The results show significant differences between the treatments T1, T2, T3 and T4, with sodium polyacrylate, compared to T0, without sodium polyacrylate, observing the impact of the polymer on water retention. This was verified since the T0 treatment that required 2395 m³/ha, while the T3, 1858 m³/ha, obtaining a saving of 22.4 percent of the water resource. Additionally, regarding the average yield, 3804 kg/ha have been obtained in T2, and 3004 kg/ha in T0, being 26.6 percent lower. Regarding the amount of water required for the production of 1 kilogram of centenary canary beans, it was determined that treatment T2, with 10 grams of sodium polyacrylate per plant, required 507 liters, while treatment T0, without polymer, 798 liters of water, obtaining a saving of 37 percent, stating that sodium polyacrylate influences water retention and bean crop production. Due to the importance of the polymer, it is recommended to carry out research of this type at different times of the year, in areas where the water resource is a limiting factor and in soil conditions with little moisture retention.

Keywords: Sodium polyacrylate, polymer, drip irrigation, centennial canary bean.

I. INTRODUCCIÓN

El sector agricultura representa el 5,4 por ciento del producto bruto interno y aproximadamente el 32 por ciento de la población nacional es afín a esta actividad económica primaria (INEI 2018). No obstante, los recursos hídricos están distribuidos inadecuadamente en espacio y tiempo. Tenemos la selva donde el agua es abundante; sin embargo, la población es pequeña. Por el contrario, en la costa, tenemos zonas eriazas pero el agua es un factor limitante. Además, las pérdidas de agua por infiltración, percolación y escorrentía afectan a los cultivos en su crecimiento y rendimiento y varían según el tipo de riego, la textura, etc.

Es por ello que es de suma importancia investigar nuevas tecnologías que aporten a la optimización de los recursos hídricos, en este caso, obtener mayor retención de la humedad en el suelo. En la actualidad, existen diversos polímeros absorbentes de agua que podrían ayudar a este propósito con el fin de aumentar el agua aprovechable por las plantas y disminuir las pérdidas por infiltración y/o percolación; sin embargo, estos no son muy utilizados para la agricultura. Uno de estos polímeros absorbentes se llama poliacrilato de sodio, el cual fue elegido para esta investigación.

Este polímero es un agente externo que podría optimizar el recurso hídrico, y favorecer la germinación de las plantas, así como también su desarrollo y producción. Es por eso que será comparado en sus parámetros biométricos del cultivo, tales como: longitud de raíces, altura de planta, entre otros. También su huella hídrica y su producción de frijol en kilogramos por hectárea.

En el presente estudio se determinará la variación de humedad en un suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina aplicando deferentes dosis de poliacrilato de sodio mediante riego por goteo en el cultivo del frijol canario centenario, en relación con sus parámetros biométricos y rendimiento del cultivo.

1.1 Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Evaluar la distribución de humedad en el suelo durante el periodo vegetativo del cultivo de **frijol canario centenario** (*Phaseolus vulgaris L.*) con riego por goteo y su producción en diferentes dosis de poliacrilato de sodio.

Objetivos específicos:

- Determinar las variaciones de humedad en el suelo con cuatro dosis de poliacrilato de sodio: 5, 10, 15 y 20 gramos; mediante el riego por goteo para el cultivo de frijol canario centenario (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Evaluar los parámetros biométricos de frijol canario con cuatro dosis de poliacrilato de sodio: 5, 10, 15 y 20 gramos; mediante el riego por goteo para el cultivo de frijol canario centenario (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Determinar y comparar las producciones de frijol canario con cuatro dosis de poliacrilato de sodio: 5, 10, 15 y 20 gramos; mediante el riego por goteo para el cultivo de frijol canario centenario (*Phaseolus vulgaris L.*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Riego localizado de alta frecuencia

El riego localizado de alta frecuencia se define por dos características esenciales: la localización y la alta frecuencia. La localización se refiere a humedecer la zona radicular de la planta o cultivo, aplicando eficientemente el agua de riego para la absorción de los nutrientes; mientras que, en la alta frecuencia, el suelo debe mantenerse constantemente húmedo, facilitando la absorción del agua, la concentración de sales, entre otras características (Pizarro, 1996). Para la elección del sistema de riego adecuado se tiene en cuenta principalmente el tipo de cultivo, las condiciones del terreno, las económicas y la disponibilidad del equipo. (García *et al.*, 1977). En la presente investigación se seleccionó el riego por goteo, ya que el cultivo es el frijol canario centenario, la topografía es plana y el costo para sus componentes e instalación es asequible.

2.1.1 Definición de riego por goteo

Los sistemas de riego por goteo son aquellos en los cuales se aplica agua de riego o solución acuosa que conlleva nutrientes (fertirriego), dentro o sobre el suelo y de forma directa e individual a cada planta, los emisores (goteros) que están en la cinta o maguera son las que proporcionan las necesidades hídricas (García *et al.*, 1977).

2.1.2 Componentes del sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo está integrado por un cabezal, una red de conducción y distribución de agua, asimismo de los componentes de riego, las cuales se detallan a continuación:

- La fuente de agua: El recurso hídrico proviene tanto de la superficie como del subsuelo, que puede descargarse a un reservorio o también captarse directamente para el sistema de riego. Su función es abastecer de agua en forma permanente.

- **Cabezal de riego:** El centro de control provee de presión y caudal al sistema controlándolo de forma manual o automática. Está constituido por la estación de bombeo, el equipo de filtrado y la fertilización.
- **Red de distribución:** Refiere a las tuberías empleadas para conducir el agua o fertilizante al terreno. Las más utilizadas son las de PVC y de polietileno. Las tuberías se clasifican por clase en función a la presión que son capaces de soportar.
- **Cabezales de campo:** Llamados también arcos de riego. Son los que controlan la salida de agua a diferentes unidades de riego bajo un régimen de presión y caudal uniforme. Pueden ser simples (para operación manual) o hidráulicas.
- **Laterales de riego:** Estos componentes se instalan dentro del cultivo y a lo largo de la hilera de las plantas. Normalmente son mangueras de polietileno de baja densidad y de 16 o 20 mm de diámetro en función al caudal a regar y la longitud de los laterales.
- **Cintas:** Tienen emisores insertados que se encuentran espaciados entre 20 y 60 cm. Se utiliza más en cultivo de hortalizas y trabaja a presiones menores a 10 m. Se recomienda una distancia máxima de 50 metros. Son de bajo costo.
- **Goteros:** Emisores de agua de riego o fertilizantes en forma de gotas, las cuales hacen contacto inmediato con la superficie del suelo (García *et al.*, 1977). Pueden ser autocompensados (mantiene el mismo caudal a presión variable) y no autocompensados (el caudal varía en función a la presión). La gran variedad de este tipo de emisores que se vende en el mercado es factor de diversas clasificaciones según sus especificaciones hidráulicas, riesgo de obturaciones, etc.

2.2 Propiedades del suelo

Vásquez *et al.* (2017), identifica y define las siguientes propiedades del suelo:

- **Textura:** Esta propiedad se centra en la composición granulométrica y mecánica del suelo, también detalla la proporción que hay entre las fracciones de tamaño de partículas sólidas o granulométricas, como son la arena, el limo y la arcilla, que conciernen a los rangos de tamaño de partículas conforme a la escala internacional ISSS.

- **Estructura:** Lo establece el modo habitual de agrupación de las distintas partículas sólidas del suelo, dando lugar a los agregados. Esto se ve afectado y relacionado en las relaciones suelo-agua-planta, en la aeración del suelo y en el almacén de nutrientes.
- **Densidad real (ρ_r):** Es la proporción que existe entre el peso o masa de sólidos (P_s o M_s) de una muestra de suelo y el volumen de las partículas sólidas (V_s) en estado compacto, sin tener en cuenta el volumen de los poros. Este valor se expresa en kg/dm^3 , ton/m^3 y gr/cm^3 .
- **Densidad aparente (ρ):** Es la relación entre el peso de suelo seco o masa de sólidos (P_s o M_s) y el volumen total (V_t) de una muestra de suelo no alterada, cuyos valores se expresan igualmente en gr/cm^3 , ton/m^3 y kg/dm^3 .
- **Capacidad de retención de agua:** Es un fenómeno complejo en el que median diferentes fuerzas al interaccionar las fases sólida y líquida del suelo. Se da precisamente cuando el espacio entre los poros de un suelo está saturado de agua, esto es, la composición de aire es nula.
- **Permeabilidad:** Se refiere al grado de facilidad con que se mueve el agua al penetrar el suelo y se mide en unidades de velocidad, tal como cm/h .
- **Conductividad eléctrica (CE):** Es la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica y está relacionada con el concepto de salinidad, pues el valor de la CE es directamente proporcional a la composición y concentración de las sales disueltas. Se mide en dS/m , miliMhos/cm , etc.
- **Capacidad de campo (CC):** Es la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (luego de 24-48 horas de la saturación de suelo).
- **Punto de marchitez permanente (Pmp):** Es el contenido de humedad del suelo en el cual la planta muestra indicadores de marchitamiento, como la caída de hojas, escasa fructificación o desarrollo, dado a la fluidez lenta de agua del suelo hacia la planta.

2.3 El bulbo húmedo

Es la sección o región humedecida por un emisor de riego localizado. Los goteros (emisores) aplican el agua sobre el suelo, en el cual se forma un pequeño charco mientras que el riego avanza (ver figura 1). El movimiento del agua en el suelo establece las formas y dimensiones del bulbo húmedo, esta es de suma importancia, pues en él se desarrolla el sistema radical de las plantas. (Pizarro, 1996).

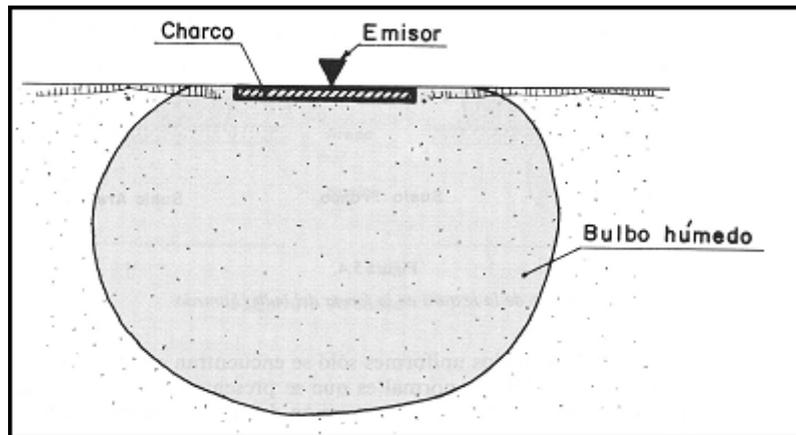


Figura 1: Bulbo húmedo

FUENTE: Pizarro, 1996

2.3.1 Formación del bulbo húmedo

Los emisores (goteros) emiten cierto caudal de agua que mojan una superficie del suelo, formando un charco definido con el transcurrir del tiempo. Pizarro (1996), precisa que la acción combinada de las fuerzas matrices y gravimétricas originan las formas y dimensiones del bulbo húmedo y dependen de los siguientes factores:

- **Textura:** El mayor número de microporos de los suelos pesados, como las arcillas, da lugar a que las fuerzas matrices predominen sobre las gravitacionales, caso contrario ocurre en los suelos ligeros, como los arenosos. Es decir, en los suelos arcillosos, el bulbo húmedo tiende a extenderse hacia los costados, a diferencia de los arenosos donde tiene un perfil alargado verticalmente, por último, se tienen los suelos francos, cuya forma es intermedia entre los arcillosos y arenosos como muestra la figura 2.
- **Estratificación:** La porosidad del suelo influye significativamente en el flujo y la retención del agua, y, por ende, al bulbo húmedo. La compactación del suelo, la

presencia de piedras, obstáculos y materiales poco permeables, hacen que el bulbo se expanda lateralmente.

- Caudal del emisor. El caudal emitido por los emisores es directamente proporcional al tamaño del charco formado por los mismos. Pues a mayor caudal corresponde un área mayor del charco, es decir, el bulbo húmedo será más amplio horizontalmente.
- Tiempo de riego: Conforme va aumentando el tiempo de riego (asumiendo un caudal constante de los emisores) las dimensiones del bulbo húmedo aumentan más en profundidad que en sentido horizontal.

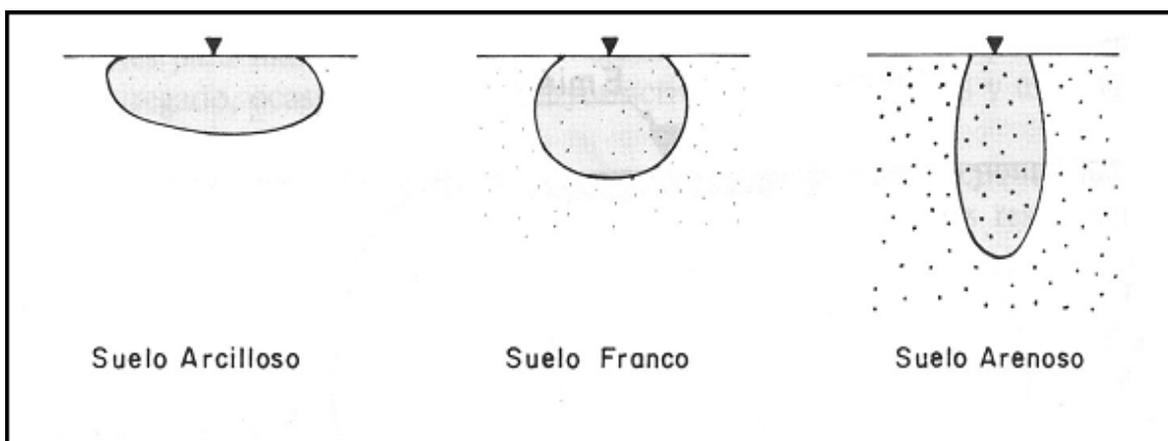


Figura 2: Forma de bulbo húmedo en suelo de diferentes texturas

FUENTE: Pizarro, 1996

2.3.2 Superficie de área mojada por el emisor

Gil-Marín (2010) menciona que, en el riego por goteo, el diseño nace con el cálculo del caudal y la cantidad de emisores que se necesita para humedecer un determinado volumen de suelo. Este detalle se alcanza realizando una buena estimación de la forma y dimensión del bulbo de humedecimiento formado por un gotero, el cual depende de diversos factores mencionados en el ítem anterior. Por ello, se desprende que el patrón de área mojada depende de diversas variables, lo cual complica las estimaciones teóricas. Cuantitativamente, el área mojada por un emisor se puede considerar mediante tres procedimientos:

- Uso de modelos.
- Uso de tablas.
- Pruebas en campo.

2.4 Métodos para medir la humedad del suelo

Vásquez *et al.* (2017), dividió los métodos para la medición de la humedad en:

2.4.1 Métodos directos

- Método gravimétrico: Consiste en la toma de muestra de suelo del terreno. Luego, en el laboratorio, las muestras húmedas pesadas son puestas a secar en estufa por 24 horas a una temperatura de 105°C. Luego de sacarlas son pesadas nuevamente. La diferencia de pesos registrada es debido a la pérdida de agua. Esta resta se divide por el peso del suelo seco para calcular el contenido de humedad basado en el peso seco; es decir:

$$\text{Humedad del suelo (\%)} = \left(\frac{P_{\text{Suelo húmedo}} - P_{\text{Suelo seco}}}{P_{\text{Suelo seco}}} \right) \times 100$$

- Reflectometría: Conocido como TDR (Time Domain Reflectometry), el cual se fundamenta en la relación existente entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica. Debido a su bipolaridad, el agua posee una constante dieléctrica más elevada que el suelo seco. Consiguientemente, la constante dieléctrica del suelo humedecido es dependiente del contenido de agua. Esta variable se determina aplicando al suelo una onda electromagnética de alta frecuencia, de tal manera que calcula la velocidad de propagación. Esto es, obedecen a un comportamiento inversamente proporcional, cuando el suelo contenga mayor humedad, menor será la velocidad de onda. El TDR150 usa la reflectometría para medir la humedad de la tierra y el suelo. Este aparato portátil de precisión y de manejo fácil, es de calibración universal y calcula también la conductividad eléctrica y la temperatura superficial del suelo. Para una información más completa del instrumento ver el anexo 14, el cual presenta las especificaciones técnicas del TDR150.

2.4.2 Métodos indirectos

El uso de cualquiera de estos métodos necesita la previa elaboración de su curva de calibración respectiva, utilizando el método gravimétrico como apoyo:

- Resistencia eléctrica
- Método del tensiómetro
- Sonda de neutrones

2.5 Polímeros como retenedores de agua en el suelo

En los sistemas de riego que poseemos se desperdician grandes cantidades de agua por infiltración y/o percolación, más aún en riego por gravedad, la cual podría reducirse con la aplicación de polímeros absorbentes en el suelo.

2.5.1 ¿Qué son los polímeros?

Son denominados polímeros a aquellas macromoléculas que poseen un gran tamaño debido a la unión, mediante enlaces covalentes, de moléculas simples o pequeñas llamados monómeros. Los polímeros se generan enlazando estas simples moléculas una seguida de otra como eslabones de una cadena. La cantidad de monómeros que se unen para formar el polímero se llama grado de polimerización (Díaz *et al.*, 2001).

Cabe precisar que si un polímero está constituido por solo una especie o monómero se designa fotopolímero, el cual se diferencia de un monómero porque ha tenido un cambio en sus propiedades, de lo contrario si el polímero está compuesto por 2 o más especies de monómeros se denomina copolímero.

Etimológicamente el término polímero es un término de origen griego e implica “muchos componentes o partículas”. Debido a esto, se define químicamente como un material compuesto por varias moléculas, las que se forman por la sucesión iterativa de terceras más simples o asociaciones de partículas de átomos más simples. Las moléculas que originan o conforman un polímero son llamados monómeros (Besednjak, 2009).

Por lo tanto, se considera a los polímeros como la unión de múltiples moléculas que, individualmente, son denominados monómeros.

2.5.2 Clasificación de polímeros

El concepto polímero debe aplicarse a un término amplio, en el que caben un sinnúmero de materiales o elementos. Por ello, se pueden clasificar de diferentes maneras, como por ejemplo respecto a sus características físicas y químicas que poseen, usos, origen, etc.

Ríos (2010), menciona una de las clasificaciones más sencillas que hay distinguiéndolos según su origen:

- **Naturales:** Son aquellos que como su nombre indica se encuentran en la naturaleza, provenientes del reino vegetal o animal. En este grupo se encuentran la lona, algodón, celulosa, almidón, caucho natural, ácidos nucleicos, proteínas, entre otros.
- **Sintéticos:** Son los elaborados por el hombre, los cuales se obtienen industrialmente. Por ejemplo, los plásticos, el polietileno, el poliestireno, el PVC, entre otros.
- **Semi-sintéticos:** Este tipo se origina por transformación de polímeros naturales. A esta categoría pertenecen el caucho, la nitrocelulosa, neumáticos vulcanizados.

2.5.3 Propiedades de polímeros

Beltrán *et al.* (2012), señala que los polímeros poseen varias propiedades comunes entre ellos que los hace diferentes de otros materiales, pese a sus grandes diferencias en sus composiciones y estructuras, los cuales se detallan a continuación:

- **Densidad:** Esta propiedad es parcialmente baja y oscila entre 0.9 y 2.3 g/cm³, puesto que los átomos que los contienen son ligeros y con una distancia promedio grande.
- **Conductividad térmica:** Está causada por la carencia de electrones libres. La conductividad térmica tiende a ser muy pequeña o casi nula, comparado a la de los metales, presentan hasta 2000 veces en menor proporción. Esta propiedad da lugar a inconvenientes en su transformación, debido a su lenta absorción de calor. Sin embargo, poseen una gran ventaja al emplear estos materiales como aislantes térmicos.
- **Conductividad eléctrica:** Estos poseen una alta resistencia a ella por lo que no son buenos conductores de corriente eléctrica. Se puede decir que la resistencia eléctrica depende de la temperatura, pues a más temperatura, más conducción eléctrica hay. Por ello se usan frecuentemente como aislantes en aparatos.
- **Propiedades ópticas:** Este parámetro alude a que los polímeros que no contienen aditivos son generalmente traslúcidos, aunque esta propiedad está afectada por la cristalinidad del material. Es decir, los polímeros amorfos tienden a ser transparentes, puesto que el empaquetamiento al azar de las moléculas no genera difracción de luz considerable, dando lugar a una muy buena transparencia y transmitancia de luz no inferior al 90 por

ciento. Caso contrario con los cristalinos, los cuales resultan opacos, puesto que las zonas cristalinas son dispersoras de luz, impidiendo su transmisión.

- Resistencia química: Esta propiedad también está fuertemente ligada al grado de cristalinidad. En los polímeros cristalinos, los disolventes atacan levemente la superficie del polímero, mas no se propagan una vez que alcanzan las zonas cristalinas. Por el contrario, los polímeros amorfos tienen más solubilidad, por lo que, al juntarse con disolventes, forman pequeñas grietas que se extienden a lo largo de todo este.

2.5.4 Mecanismo de polímeros absorbentes

Los polímeros son prácticos para absorber mediante diferentes mecanismos una gran cantidad de volumen de soluciones acuosas, esto depende no tanto de sus características físicas, sino más de su naturaleza química.

Existen fuerzas que intervienen para originar el hinchamiento del polímero, entre ellas se encuentran la energía libre de la mezcla y la elasticidad del entrelazamiento, del mismo modo hay polímeros que muestran en su composición partículas ionizables. Además, al sumergirse en un medio acuoso los polímeros con estas propiedades, los iones se disgregan formando una densidad de carga entre todos los eslabones de cadena y una alta concentración de iones en el gel. Esta naturaleza iónica ocasiona nuevas fuerzas que restringen el hinchamiento.

Por una parte, se tiene que la desigualdad entre la densidad iónica del gel hinchado y la disolución de exterior genera una presión de ósmosis, esto es, la presión que se ejerce sobre una disolución cuando se requiere detener el flujo a través de una membrana semipermeable, únicamente disminuirá por medio de la dilución de carga, en otras palabras, debido al hinchamiento del gel. Finalmente, la concentración de carga neta entre los eslabones de cadena produce repulsiones electrostáticas causando la expansión del gel y su hinchamiento (Cabildo *et al.*, 2010).

En resumen, el mecanismo de absorción de los polímeros se inicia con su estadio seco, en el cual su estructura molecular es igual a un ovillo rizado, que al hacer contacto con el agua produce su despliegue y consecuentemente su endurecimiento, de tal manera que incrementa la viscosidad del líquido circulante.

2.5.5 Ventajas y desventajas

Cabildo *et al.* (2010) y Beltrán *et al.* (2012), señalan algunas ventajas para el uso y/o aplicación de polímeros:

- Poseen una baja densidad, además de una elevada inercia química y, por ello, no se afectan por los ácidos, tampoco por las bases ni agentes atmosféricos.
- Tienen una alta resistencia a la rotura y al desgaste, además de una buena elasticidad.
- Se tiñen con gran facilidad en diversos colores.
- Se producen fácilmente y son relativamente baratos.
- Tienen la capacidad de fundirse y utilizarse a fin de elaborar otros productos.

Sin embargo, posee también desventajas como:

- Si bien es provechoso su capacidad para fundirse, el plástico libera gases tóxicos que afectan al medio ambiente.
- Algunos polímeros pueden tardar cientos de años en degradarse, por ejemplo, el PVC tarda aproximadamente 300 años.
- El reciclado es una ventaja, pero hacerlo requiere un costo muy elevado.

Estos últimos puntos son muy discutidos, pues, así como la elevada durabilidad de los polímeros pueden ser ventajosa, existen casos que logran contaminar el medio ambiente. Por ejemplo, el uso excesivo de las bolsas de plásticos que, felizmente, con el pasar del tiempo las cadenas de tiendas y comercios en general, están dejando de emplearlas y producirlas.

2.5.6 Polímeros y su aplicación en la agricultura

A pesar de que su uso está orientado en la agricultura especialmente en los plásticos como material en invernaderos, el empleo de los polímeros absorbentes en el suelo no es muy implementado en el campo.

Van Cotthem *et al.* (1991) precisa que, en los últimos 20 años, aproximadamente, viene ejecutándose pruebas que justifican que la aplicación de polímeros súper absorbentes en la tierra optimiza la retención de agua en el suelo, beneficiando el periodo vegetativo de las plantas, y, por ende, del cultivo. Cuando el polímero se inserta en el suelo se aprovecha mejor las aguas pluviales o de riego al reducir la pérdida de esta por filtración y/o

percolación, y, a la par, se logra reducir la evaporación del agua. De esta manera se incrementa la actividad biológica y se enriquece la producción del suelo (Azzam, 2008).

Adicionalmente, Estrada *et al.* (2010), menciona que el uso de polímeros demuestra mejoría en la estructura y la aireación del suelo. De esta manera, la aplicación de polímeros super absorbentes podrían recuperar superficies semiáridas y cultivos con poca fertilidad con su uso extensivo. Además, se han experimentado mezclándolo con fertilizantes naturales como abono, para campañas de reforestación, con el fin de suministrar reservas de agua a los plántones para las primeras fases (que suelen ser las más críticas) de su adaptación al terreno, de esta manera se disminuye la cantidad de agua aplicada en el riego y hacerlo menos frecuente, Por consiguiente, el ahorro del recurso hídrico y dinero que ello supone.

A pesar de ello, los costos elevados de esta metodología deben analizarse cuidadosamente, sobre todo en terrenos donde el agua disponible es poca, así como también la cantidad de polímero que se emplea, ya sea por planta o por metro cúbico según la recomendación. Pues la mayoría de experimentos se han realizado solo en sustratos de suelo y a escala pequeña.

2.6 Lluvia sólida

Rico (2014) definió a la lluvia sólida como un sistema de riego se distingue de otros al emplear agua en fase sólida. Afirma que los efectos son sorprendentes porque sostiene la humedad del suelo en la zona radicular hasta por muchos meses, rehidratándose con las aguas pluviales o lluvias. El agua de las precipitaciones es adherida al gel ya insertado (acrilatos capaces de absorber hasta 500 veces su peso manteniendo su estructura química) en las raíces de las plantas, de tal manera que humedece suficientemente el suelo para aprovechar el agua que necesite el cultivo. Por lo tanto, las pérdidas por evaporación, infiltración al subsuelo y/o percolación disminuyen enormemente al borde de ser consideradas despreciables. Se hizo distintos experimentos usando acrilatos como retenedores de agua en el suelo (ver figura 3), obteniéndose los siguientes beneficios en cuanto a sostenibilidad y producción:

- Uno de los beneficios más relevantes, es que disminuye la explotación de mantos acuíferos y recursos hídricos, dando lugar a la resiliencia ecológica del ecosistema.
- Es posible iniciar la siembra sin esperar la época de lluvias.
- El cultivo no entra en un cuadro de estrés hídrico por ausencia de precipitaciones durante su desarrollo.

- Si dejan de haber precipitaciones, las cosechas igualmente no se pierden.
- Aumenta el rendimiento de los cultivos y reduce el costo del sistema de riego.
- No se descarta su aplicación para contrarrestar incendios de pastizales y arbustos.



Figura 3: Cultivo de maíz en México con y sin lluvia sólida

FUENTE: Rico, 2014

Rico (2014), realizó diferentes experimentos con polímeros para evaluar la productividad de diversos cultivos y ver cuál era el efecto en estos. En la figura 4 se aprecian los diferentes resultados obtenidos en el país de México. Las barras azules representan los cultivos con lluvia sólida. Los números que se muestran están expresados en kilos por hectárea.

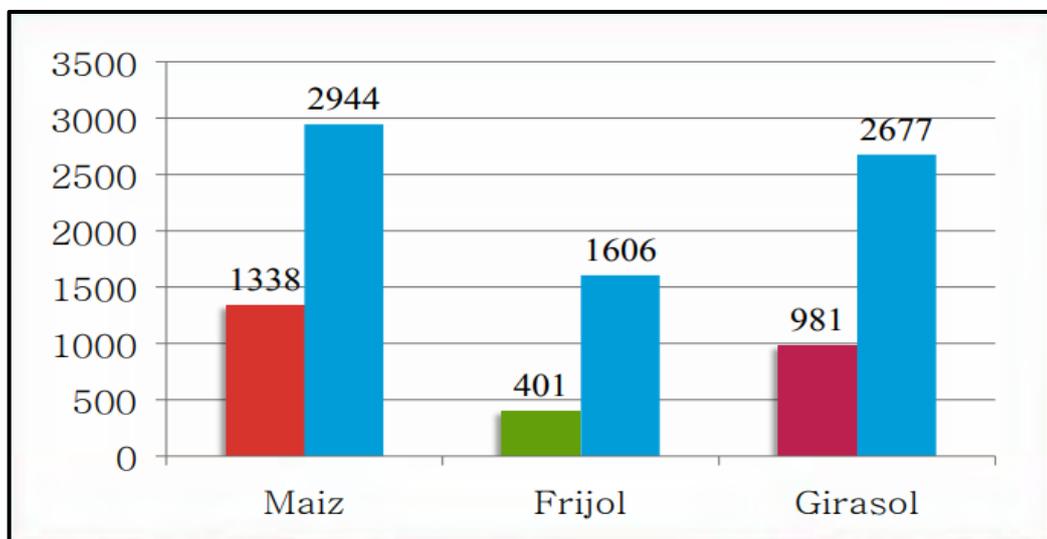


Figura 4: Diferencia entre los cultivos con y sin lluvia sólida

FUENTE: Rico, 2014

2.7 Poliacrilato de sodio

Este polímero en hidrogel es un polielectrolito conformado por acrilatos, los cuales son ésteres estructurados por grupos vinílicos, esto es, lo forman dos átomos de carbono ligados por enlace doble (figura 5). La capacidad para absorber es altamente dependiente de la densidad de iones en el medio acuoso, estos afectan el potencial químico alterando el equilibrio de absorción. En presencia de agua desionizada este adquiere su óptima capacidad retenedora de agua. (Katime *et al.*, 2004).

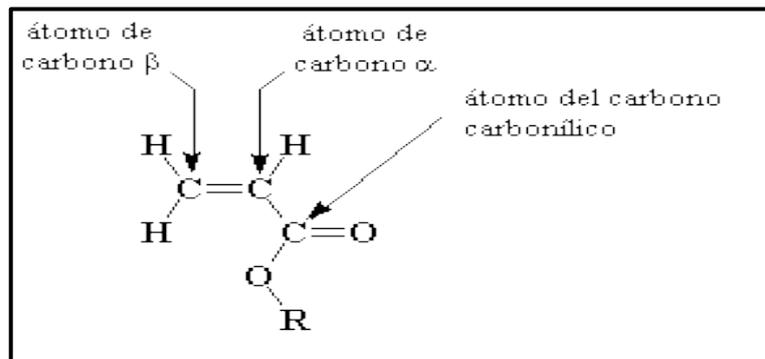


Figura 5: Enlaces atómicos de los acrilatos

FUENTE: Melo *et al.*, 2004

Existen diversas formas de sintetizar el poliacrilato de sodio (hidrogel), para lo cual se necesita monómeros para formar ácido poliacrílico (con ayuda de un radicar libre como los peróxidos, los cuales son responsables de la unión de las cadenas moleculares) y un agente entrecruzante, que puede ser un átomo divalente como el Zn^{+2} , Ca^{+2} o Ba^{+2} . Estos cationes son incorporados por medio de sales como la soda cáustica (NaOH), cloruro de sodio (NaCl), acetato, N,N-metil-bisacrilamida, entre otros. Esta síntesis se lleva a cabo mediante diferentes métodos: polimerización por adición, polimerización en solución o por suspensión. Cada uno de los métodos emplea diferentes radicales libres y agentes entrecruzantes, de los cuales marcan considerables diferencias en sus propiedades. Por ejemplo, los hidrogeles con bajo porcentaje de agente entrecruzante (menor a dos), permite tener altas capacidades de retención de agua e hinchamiento, y, viceversa (Katime *et al.*, 2004).

El poliacrilato de sodio por lo general es una sal sódica del ácido poliacrílico que tiene múltiples aplicaciones debido a su capacidad de retención de agua, por ello pertenece a la categoría de polímero super absorbente o SAP (super absorbente polymer). La figura 6

muestra la síntesis o polimerización del poliacrilato de sodio con un radical libre e hidróxido de sodio (agente entrecruzante).

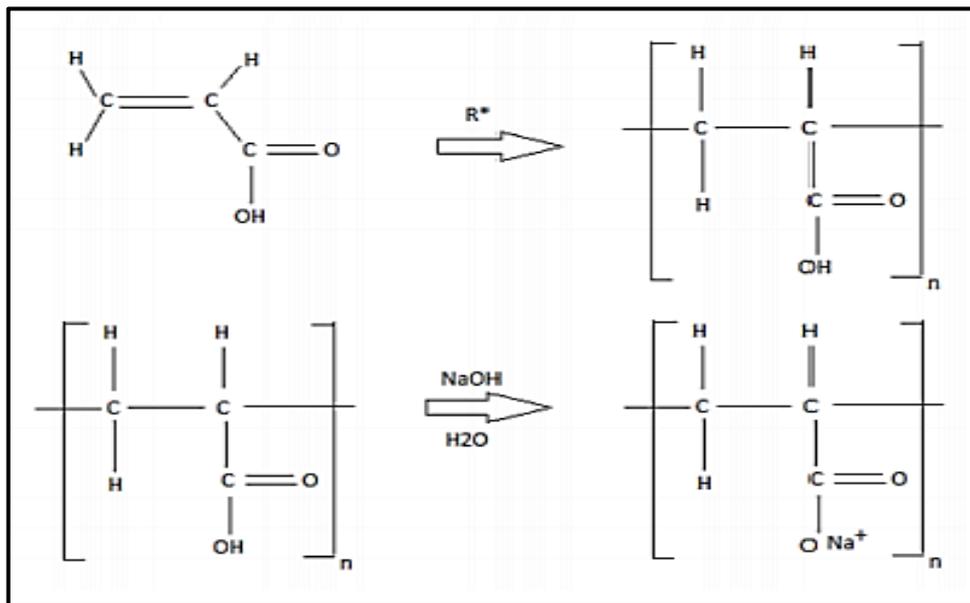


Figura 6. Polimerización del poliacrilato de sodio

FUENTE: Melo *et al.*, 2004

La función retenedora es resultado de la estructura del poliacrilato de sodio, que conforma los grupos carboxilatos de sodio. Cuando hacen contacto con agua, los iones de sodio se liberan manteniendo en la cadena iones libres carboxil de carga aniónica como se muestra en la figura 7, estos se repelen debido a su naturaleza negativa ensanchando la cadena del poliacrilato, induciendo incremento en su volumen; consecuentemente, al captar las moléculas de agua, causa la estabilización el poliacrilato (Celis *et al.*, 2009).

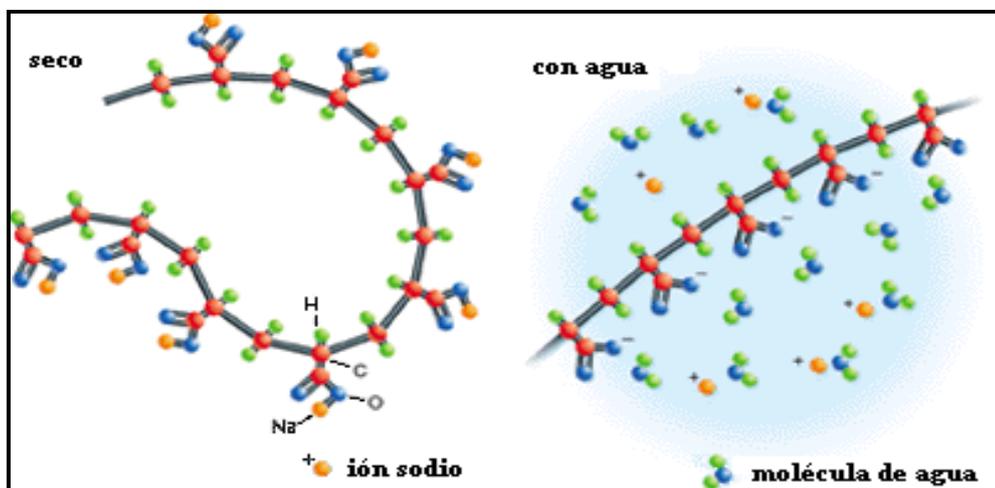


Figura 7: Reacción del poliacrilato de sodio con agua

FUENTE: Melo *et al.*, 2004

Es imprescindible destacar que hay clases de poliacrilato de sodio, los cuales difieren por su peso molecular o por el grado de entrecruzamiento. La dimensión de estas propiedades es influida en la dispersabilidad y en las propiedades mecánicas del poliacrilato, pues poseer pesos moleculares elevados y un mayor grado de entrecruzamiento es un indicador que el polímero hinchará al contacto con agua (Huber *et al.*, 2007).

Stea (2019), menciona que algunos de los usos principales que tiene el poliacrilato de sodio son en la actualidad son:

- Como absorbente: En pañales desechables, servilletas sanitarias, almohadillas de lactancia materna y otros artículos de uso doméstico. En estos casos absorbe eficientemente los fluidos acuosos corporales, como orina o sangre. En los hospitales y clínicas sirve para el manejo de derrames y en botellas para succión de fluidos.
- Como producto de limpieza: Actúa como espesante en soluciones de hipoclorito que se usan en mezclas blanqueadoras.
- En industrias alimentarias: Ejerce la función de espesante y agente de preparación utilizando sus propiedades fisicoquímicas. Sirve también como absorbente de fluidos en materiales que entran en contacto con alimentos. Absorbe el exceso de agua de todo tipo de alimentos frescos, como pollo, pescado, carne, vegetales y frutas.
- En la industria petrolera: Se emplea actualmente en conjunto con otros polímeros acrílicos para espesar el agua inyectada en algunos pozos y favorecer el barrido efectivo del petróleo residual para su recuperación. Además, en pruebas para prevenir la precipitación de calcio y magnesio y así evitar incrustaciones en los equipos durante la recuperación de petróleo en pozos por inundación con polímeros.

2.8 El cultivo del frijol

2.8.1 Origen y taxonomía

El cultivo del frijol es de mucha importancia por su protagonismo alimentario, ya que contiene carbohidratos, proteínas, calcio y hierro con porcentajes de 55.4, 21.8, 13.8 y 0.47, respectivamente, además de un valor energético aproximado de 322 kcal. Su consumo es más habitual en menestras (grano maduro seco) y como legumbres (semillas comestibles o vainitas). El *Phaseolus vulgaris L.* es una especie dicotiledónea que posee alrededor de 70 variedades ordenados en siete grupos: negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados (Voyses, 1983).

Ulloa *et al.* (2015), menciona que el frijol se encuentra en estos tiempos comercializado en todos los continentes siendo un alimento esencial en la dieta de los que lo consumen, sobre todo en América Central y Sudamérica. El país mexicano es reconocido como el centro de su origen, o al menos, como el centro primario de diversificación, siendo uno de los más antiguos a nivel mundial, pues según descubrimientos arqueológicos en este continente podrían datar de 5000 años antes de Cristo. El nombre científico del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), según Soukup (1970), tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Orden	:	Rosales
Familia	:	<i>Fabaceae</i>
Tribu	:	<i>Phaseolae</i>
Sub Tribu	:	<i>Phaseolinae</i>
Género	:	<i>Phaseolus</i>
Especie	:	<i>Phaseolus vulgaris leguminosae</i>

2.8.2 Características morfológicas

El CIAT (1980) las resume en los siguientes puntos:

- Las **hojas** son trifolioladas en su mayoría, de estípulas pequeñas y folíolos en su mayoría enteros.
- Las **estípulas** son persistentes y no se prolongan en la base.
- La **planta** contiene tricomas en forma de gancho llamados pelos uncinulados, encontrándose mayormente en el tallo y en los pecíolos.

- Las **flores**, se sitúan en racimos axilares o terminales y poseen dos bractéolas que persisten al menos hasta la antesis.
- La **corola** puede adquirir un color blanco, rojo, morado, púrpura o de una combinación de estos, pero no amarillo.
- El **estilo**, que se encuentra envuelto por dos pétalos que forman una estructura denominada quilla, adquiriendo una forma de espiral pronunciada y es caduco, por lo que cae luego de la fecundación.
- Las **vainas** pueden ser rectas o arqueadas, pero siempre de lados comprimidos.
- La cantidad de **semillas** por vaina es variable, de dos a diez. Además, presentan diferentes tamaños, formas y colores.
- La **raíz** en su etapa inicial está formada por la radícula del embrión que luego se transforma en raíz principal. De ella salen las raíces secundarias y las terciarias y así sucesivamente. En los puntos de crecimiento de estas subdivisiones se encuentran los pelos absorbentes, los cuales son una función importante en la absorción del agua y nutrientes del suelo.
- El **tallo** es el eje central de la planta y está constituido por una sucesión de nudos y entrenudos. Un nudo, es el punto de inserción de las hojas (o de cotiledones) en el tallo.

2.8.3 Estados de desarrollo del frijol

CIAT (1982), estipula que el estado de desarrollo del frijol está diferenciado en 2 fases: Fase vegetativa y reproductiva (ver figura 8). Asimismo, Camarena *et al.* (2009), las describe de la siguiente manera:

Fase vegetativa

- Germinación (V0): Comienza cuando la semilla posee la humedad suficiente para la brotación, hasta que el hipocótilo desarrolla quedando los cotiledones a ras del suelo.
- Emergencia (V1): Desde que los cotiledones están a ras del suelo y se despliegan, el epicótilo comienza a desarrollarse, hasta el momento en que las hojas primarias también se despliegan completamente.
- Hojas primarias (V2): Empieza cuando las hojas primarias están desplegadas, iniciándose un desarrollo rápido para la formación del tallo, ramas y hojas trifoliadas. Los cotiledones empiezan a perder su forma.

- Primera hoja trifoliada (V3): Se da al momento que la primera hoja trifoliada se muestra completamente abierta y plana. Además, los cotiledones vienen cayendo.
- Tercera hoja trifoliada (V4): Comienza cuando la tercera hoja trifoliada se despliega. Se distinguen los tallos, ramas y hojas trifoliadas. Las yemas de los nudos inferiores se desarrollan formando ramas.

Fase reproductiva

- Prefloración (R5): En esta fase se muestra el primer botón o racimo.
- Floración (R6): La planta exhibe la primera flor abierta, dando lugar a su fecundación, la corola presenta marchitamiento y la vaina empieza su crecimiento.
- Formación de vainas (R7): La planta muestra la primera vaina desarrollada. Esta fase incluye de manera inicial el desarrollo de las valvas, en los 10 a 15 primeros días después de la floración. Se aprecia generalmente dos crecimientos: de la vaina longitudinalmente y otro ligero en los granos.
- Llenado de vainas (R8): Se inicia cuando las valvas logran su dimensión o peso final. Esto ocurre por lo general después de 30 a 35 días de la floración. Culmina cuando los granos pierden su color verde para tener la característica de la variedad (pigmentación).
- Maduración (R9): Se identifica por la decoloración de la planta y el secado de las vainas.

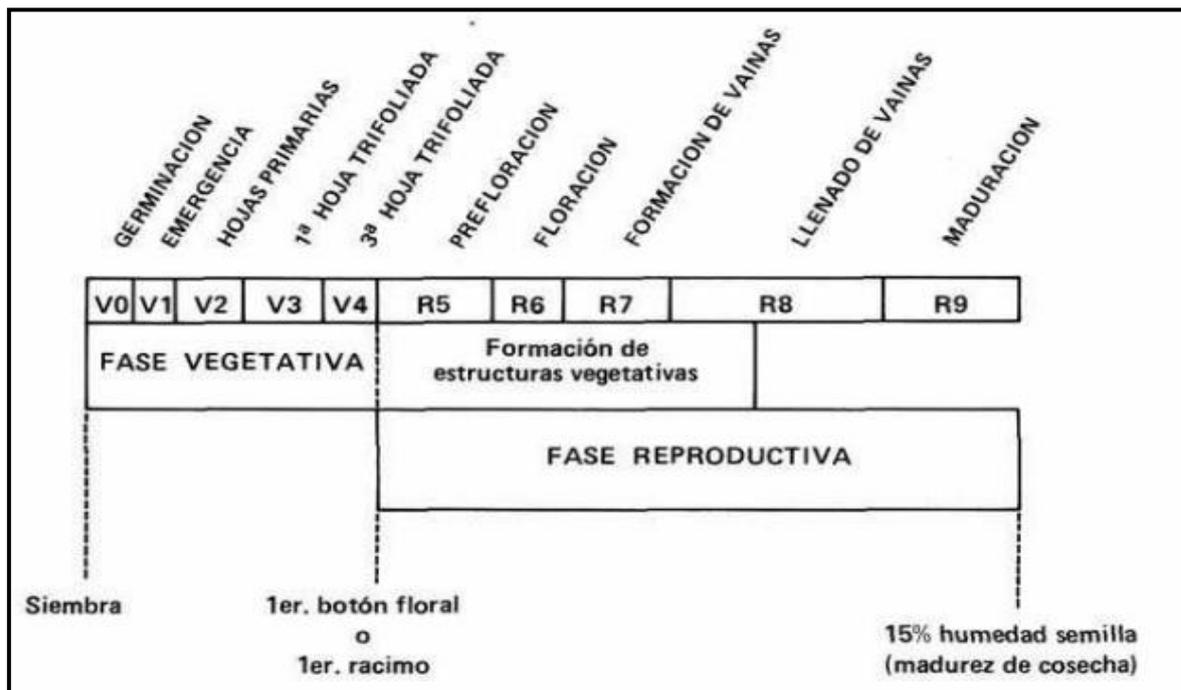


Figura 8: Etapas del desarrollo del frijol

FUENTE: CIAT, 1982

2.8.4 Manejo agronómico del cultivo del frijol

Camarena *et al.* (2009), refiere que en el desarrollo y la producción del cultivo del frijol intervienen una serie de factores ambientales y nutricionales, las cuales se mencionan a continuación:

Factores ambientales:

El cultivo de frijol es susceptible a las condiciones climáticas tales como: la humedad del suelo, temperatura del ambiente, vientos, plagas y enfermedades, lo que le confiere una alta dependencia del medioambiente. Por ello, los rendimientos fluctúan dependiendo de las estaciones del año. La tabla 1 describe las condiciones ambientales a las que el frijol debe tener para un buen desarrollo y una óptima producción:

Tabla 1: Condiciones ambientales del cultivo del frijol

Factor	Descripción
CLIMA	En zonas templadas y tropicales se adapta hasta los 3000 msnm. Es sensible tanto a las heladas como a las altas temperaturas, oscilando generalmente entre 8-30 °C.
LUZ	El cultivo no depende del fotoperíodo. La luz solar afecta la fotosíntesis de la planta del frijol, pero también a su fenología y morfología.
SUELO	El frijol no es un cultivo exquisito para las condiciones físicas del suelo. Se cultiva en suelos donde la textura varía de franco-limosa a ligeramente arenosa, tolerando los suelos franco-arcillosos. Crecen bien en suelos con pH en el rango de 6.0 – 7.5. Además de ello, la salinidad del suelo debe ser de preferencia muy bajo (< 1.0 mmhos/cm) y baja sodicidad (saturación de sodio intercambiable (Na PSI) < 5%).
AGUA	El recurso hídrico es un factor crítico en la producción de frijol, dada su alta sensibilidad al déficit como a los excesos de agua. Cuando hay demasiada humedad del suelo, sobre todo en suelos de textura pesada, puede producir efectos nocivos como la sequía. Las exigencias del frijol oscilan entre los 500 a 700 milímetros de lámina.

FUENTE: Camarena *et al.*, 2009

Asimismo, la tabla 2 indica las épocas de siembra para la costa y sierra de las principales variedades de frijol cultivadas en el Perú.

Tabla 2: Época de siembra de las variedades de frijol cultivados en el Perú

Variedad	Época
Costa norte	
Canario 2000 INIA	Marzo-Junio
Canario Centinela	Marzo-Junio
Canario Chinchano	Marzo-Junio
Canario Huaralino	Marzo-Junio
Canario Molinero	Marzo-Junio
Canario Barranquino	Marzo-Junio
Canario Centenario	Marzo-Junio
Costa central	
Canario 2000 INIA	Marzo-Junio
Canario Centinela	Febrero-Junio
Canario Chinchano	Febrero-Junio
Canario Huaralino	Febrero-Junio
Canario Molinero	Febrero-Junio
Canario Barranquino	Febrero-Junio
Canario Centenario	Febrero-Junio
Canario CIFAC 90105	Marzo-Junio
Sierra (< 3200 msnm)	
Canario 2000 INIA	Septiembre-Octubre

FUENTE: Camarena *et al.*, 2009

Factores nutricionales:

El valor agronómico del frijol, especialmente por su facultad de fijar el nitrógeno del aire y su adaptabilidad a las diferentes condiciones de fertilidad de los suelos, hace que muchas veces no requiera de abonamiento para su desarrollo. Sin embargo, el frijol requiere de los siguientes elementos para crecer y desarrollarse adecuadamente:

- Macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio.
- Elementos secundarios: calcio, magnesio y azufre.
- Micronutrientes: zinc, boro, molibdeno, hierro y cobre.

En general, el suelo debe contener buen contenido de materia orgánica (>2%), buena disponibilidad de macro y micronutrientes.

La deficiencia de micronutrientes se corrige con aplicaciones foliares. Estos pueden ser bioabonos como el “Biol”, “Alopes”, entre otros.

2.8.5 Producción anual y rendimiento de frijol en el Perú

En la campaña 2016/2017 se sembraron aproximadamente 73803 has de frijol (*Phaseolus Vulgarsis* L), de las cuales solo se cosechó 65988. Las pérdidas lo constituyen el déficit del recurso hídrico, los factores clima y suelo, plagas y enfermedades. Cajamarca y Amazonas tienen la mayor superficie cosechada; sin embargo, poseen un rendimiento muy por debajo de promedio nacional (1147 kg/ha). Caso contrario ocurre con Lima, la cual tiene poca superficie cosechada, pero el mejor rendimiento promedio (2474 kg/ha). La tabla 3 muestra los promedios departamentales y nacional de la producción anual y rendimiento de frijol.

Tabla 3: Producción anual y rendimiento de frijol en el Perú

Departamento	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Producción	Rendimiento
	(Ha)	(Ha)	(Ton)	(Kg/Ha)
Cajamarca	17534	12964	11076	854
Huancavelica	5086	4293	7917	1844
Apurímac	4751	3976	7495	1885
Amazonas	8746	8228	5858	712
Piura	6594	6445	5019	779
Loreto	4325	4378	4590	1048
Junín	4135	4088	4453	1089
Arequipa	2919	2911	4427	1521
Huánuco	3971	3596	4229	1176
La Libertad	2714	2738	3996	1459
San Martín	3191	3324	3334	1003
Lima	1489	1084	2682	2474
Ayacucho	2000	1926	2191	1138
Ucayali	1490	1352	1996	1476
Cusco	1243	1218	1990	1633
Pasco	1078	1033	1523	1474
Áncash	715	681	873	1282
Puno	504	504	583	1157
Ica	321	321	556	1730
Lambayeque	603	532	511	961
Madre de Dios	365	365	336	921
Moquegua	26	26	66	2549
Tumbes	3	5	6	1088
TOTAL	73803	65988	75707	1147

FUENTE: DGSEP/DEA, 2018

2.8.6 Frijol canario centenario

Camarena *et al.* (2009), menciona que esta variedad procede del programa de leguminosas de la UNALM. Asimismo, destaca por su alto rendimiento y su calidad de granos. Se adapta bien a la costa en siembras de invierno y primavera y en la sierra hasta los 2400 m.s.n.m. Algunas de las características de esta variedad de frijol se muestran la tabla 4:

Tabla 4: Características del frijol canario centenario (*Phaseolus Vulgarsis L*)

Parámetros	Canario cv. Centenario
Patrón de crecimiento	Determinado
Hábito de crecimiento	Arbustivo (Tipo I)
Periodo vegetativo	110 - 120 días
Densidad poblacional	150,000 – 214,000 Plantas/Ha
Altura de planta	50 – 60 cm
N° de vainas/planta	15 - 30
N° de granos/vaina	4 a 5
Color de grano	Amarillo intenso brillante
Tamaño de grano	Mediano
Peso de 100 granos	50 a 55.5 gr
Forma de grano	Ovoide truncado
Calidad de grano	Muy Buena
Días a floración	50 días
Días a madurez fisiológica	90 días
Días de madurez de cosecha	110 días
Testa de la semilla	Intenso brillante
Abonamiento	80-60-60 NPK kg/Ha (Suelos de baja fertilidad) 40-40-40NPK kg/Ha (Suelos de mediana fertilidad)
Cantidad de semilla	60 a 70 kg/Ha (Siembra manual) 90 a 100 kg/Ha (Siembra mecánica)
Reacción a enfermedades	* Virus del Mosaico Común (BCMV): Resistente * Roya (<i>Uromyces appendiculata</i>) : Tolerante
Rdto. Máximo promedio	Costa (2,000 a 2,500 kg/Ha) Sierra Baja (1,500 a 1,800kg/Ha)
Aceptación comercial	Buena adaptación Costa Central, Costa Norte y Sur Siembras de marzo a mayo

FUENTE: PLGO, 2008

2.8.7 Investigaciones pasadas asociadas al cultivo

En el presente estudio se evaluará los parámetros biométricos y producción del cultivo de frijol canario centenario bajo riego por goteo. Por ello, y a modo de referencia, se presentan las siguientes tablas que indican los valores paramétricos para dicho cultivo en investigaciones y/o experimentos pasados, a fin de comparar con los resultados obtenidos al final de la parte experimental. Esto comprende datos de los estados de desarrollo del cultivo, requerimientos de agua, parámetros biométricos, tales como: longitud de raíces, altura de planta, área foliar, número de vainas y rendimiento del cultivo del frijol en algunas de sus variedades mencionadas a continuación.

- Estados de desarrollo del frijol

Tabla 5: Fases del cultivo del frijol canario PF210 con respecto a los días de siembra

Frijol canario pf210	Días de siembra
Formación de hojas primarias	12
Floración	40
Formación de vainas	45
Madurez de cosecha	91

FUENTE: PLGO, 2008

- Requerimiento de agua del cultivo del frijol

Tabla 6: Requerimiento de agua del frijol

Tipo de riego	Requerimiento de agua de riego (m³/ha)
Gravedad	4152
Goteo	2240

FUENTE: Camarena *et al.*, 2009

- Longitud de raíces

Tabla 7: Longitud de raíces de 2 variedades de frijol

Variedad de frijol	Longitud de raíces (cm)
Canario 2000	19.80 – 22.03
CIFAC 90105	16.93 – 17.96

FUENTE: Yánac, 2018

La tabla 7 presenta el promedio de la longitud de raíces del frijol bajo condiciones La Molina. Esta investigación fue sometido a diferentes dosis nitrogenadas.

- Altura de planta

Tabla 8: Altura de planta promedio de 5 variedades de frijol

Variedad de frijol	Altura de planta (cm)
Canario Centenario	50
Canario Camanejo	55
Canario Centinela	53
Canario 2000	54
Canario Molinero	46

FUENTE: Bedoya ,1996 y Falcón, 2001

- Área foliar

La tabla 9 muestra el promedio del área foliar del frijol bajo condiciones La Molina. Este ensayo fue influido por fertiirrigación NPK para evaluar los efectos.

Tabla 9: Área foliar de 4 variedades de frijol

Variedad de frijol	Área foliar (cm²)
Canario 2000	1652.73
Canario Molinero	1650.18
Cranberry Molinero	1701.13
Red Kidney Molinero	1702.45

FUENTE: Huaranga, 2004

- Número de vainas

La tabla 10 presenta el rango de número de vainas del frijol bajo condiciones La Molina. Este experimento fue sometido a diferentes dosis nitrogenadas.

Tabla 10: No. de vainas por planta de 3 variedades de frijol

Variedad de frijol	No. De vainas por planta
Canario 2000	18 – 26
CIFAC 90105	23 – 28
Blanco Larán Mejorado	16 – 19

FUENTE: Yánac, 2018

- Rendimiento

Tabla 11: Rendimiento promedio de grano seco de 10 variedades de frijol

Variedad de frijol	Rendimiento (kg/ha)
Canario Centenario	2500 - 3000
Canario 2000 INIA	1737 - 2590
Canario Centinela INIA	1916 - 3105
Canario Chinchano	2000
Canario Huaralino	2000
Canario Molinero	1800
Canario Barranquino	1800

FUENTE: Camarena *et al.*, 2009

La tabla 12 muestra el rendimiento del frijol bajo condiciones La Molina. Este experimento fue afectado por fertiirrigación NPK para evaluar resultados.

Tabla 12: Rendimiento promedio de grano seco de 4 variedades de frijol

Variedad de frijol	Rendimiento (kg/ha)
Canario 2000	2905.3
Canario Molinero	2494.9
Cranberry Molinero	2022.5
Red Kidney Molinero	1891.9

FUENTE: Huaranga, 2004

La tabla 13 muestra el requerimiento de agua para producir 1 kilogramo de frijol bajo condiciones La Molina. El frijol canario 2000 y molinero fueron sometidos a fertiirrigación NPK a modo de experimento.

Tabla 13: Huella hídrica para el frijol común

Variedad de frijol	Huella hídrica (l/kg)
Frijol común (Riego gravedad)	1887
Frijol común (Riego goteo)	896
Frijol canario 2000 (Riego goteo)	772
Frijol canario molinero (Riego goteo)	898

FUENTE: Huaranga, 2004

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y características de la zona de estudio

3.1.1 Ubicación del terreno

A 250 m.s.n.m., la parcela demostrativa de riego de la FIA de la Universidad Agraria La Molina, pertenece al distrito de la Molina, provincia y departamento de Lima (ver figura 9).

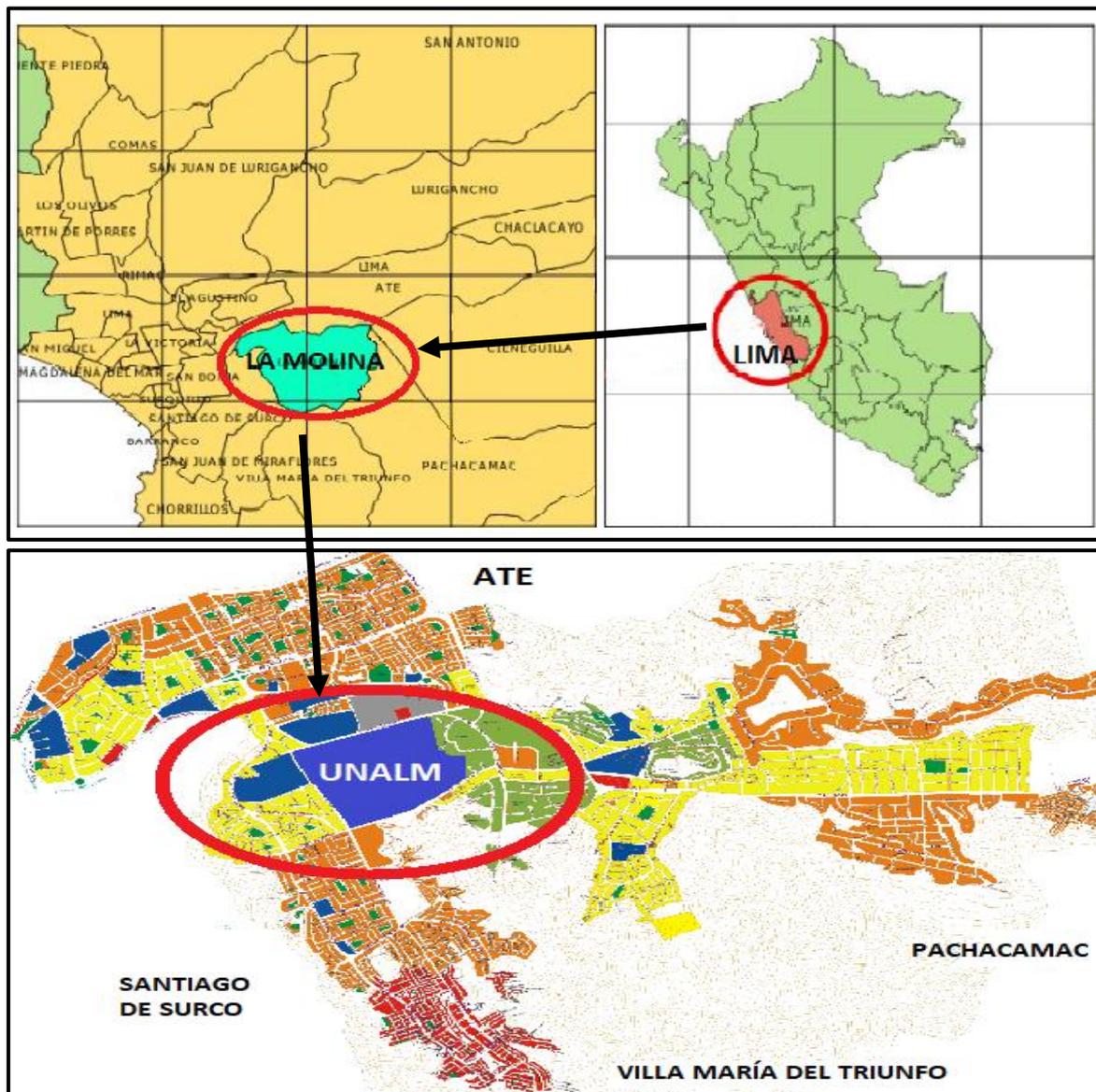


Figura 9: Ubicación de la zona de estudio

FUENTE: Elaboración propia

3.1.2 Características del agua

El agua que se utilizó para regar se obtuvo de una toma de agua, conducida a través de tuberías y accesorios conectados de PVC de 1 ½'', instaladas para este experimento hacia la parcela experimental.

Así mismo, esta toma provenía del reservorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM, que a su vez era abastecida mediante un canal de riego proveniente del río Rímac.

El análisis de muestra de agua de dicho reservorio se presenta en la tabla 14, obteniendo los siguientes resultados (el documento original se presenta en el anexo 13):

Tabla 14: Características físico-químicas del agua de riego

Parámetro	Valor	Unidad
Conductividad Eléctrica (CE)	0.66	dS/m
P.H. (1:1)	7.52	
Calcio (Ca)	4.9	meq/l
Magnesio (Mg)	0.83	meq/l
Sodio (Na)	0.89	meq/l
Potasio (K)	0.05	meq/l
SUMA DE CATIONES	6.67	meq/l
Cloruros	1.13	meq/l
Sulfatos	2.67	meq/l
Bicarbonatos	2.83	meq/l
Nitratos	0.00	meq/l
Carbonatos	0.00	meq/l
SUMA DE ANIONES	6.63	meq/l
SAR	0.52	
CLASIFICACIÓN	C2-S1	
BORO	0.57	ppm

FUENTE: LASMAF, 2017

Del análisis mostrado, se muestra que el PH es de 7.52, el cual es ligeramente alcalino y su CE asciende a 0.66 dS/m, por lo que no habría inconvenientes por salinización. Además, dado el valor del SAR, podemos deducir que el agua es apta para el riego por su bajo contenido de sodio.

Por último, las cantidades de aniones y cationes presentes en el agua de riego están en concentraciones tolerables.

3.1.3 Características del suelo

El suelo de la molina tiene un buen drenaje, es de una permeabilidad promedio, textura y estructura granular media. La tabla 15 muestra el análisis de caracterización que se realizó mediante un muestreo de la parcela experimental, basándose en el protocolo del laboratorio de análisis de suelos de la UNALM de la facultad de Agronomía (ver anexo 12).

Tabla 15: Características del suelo de la parcela

Parámetro		Valor	Unidad
P.H. (1:1)		7.26	
Conductividad Eléctrica (CE) (1:1)		2.70	dS/m
CaCO ₃		1.71	%
Materia Orgánica (MO)		1.64	%
Fósforo (P)		17.9	%
Potasio (K)		106	%
Análisis Mecánico	Arena	47	%
	Limo	28	%
	Arcilla	25	%
Clase Textural		Franco	
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)		16.00	meq/100g
Cationes Intercambiables	Ca ⁺²	13.27	meq/100g
	Mg ⁺²	1.73	meq/100g
	K ⁺	0.70	meq/100g
	Na ⁺	0.30	meq/100g
	Al ⁺³ + H ⁺	0.00	meq/100g
Suma de Cationes		16.00	
Suma de Bases		16.00	
Saturación de Bases		100	

FUENTE: LASPAF, 2017

Los resultados muestran un suelo ligeramente salino (2.70 dS/m), el cual no afecta el crecimiento y rendimiento del cultivo. El análisis mecánico de las fracciones presentes en el suelo indica que es una clase textural franco, el cual es el óptimo para el desarrollo del frijol.

El pH es de 7.26, es decir, es un suelo ligeramente alcalino. El contenido de materia orgánica (1.64 por ciento de M.O.) es bajo; además del fósforo (17.9 ppm), que es alto y; el potasio (106 ppm), es medio. La CIC (16 meq/100g) pertenece a la textura mencionada y el porcentaje de saturación de bases es de 100 por ciento.

3.1.4 Características climáticas

Geográficamente, La Molina se ubica en la costa peruana y en un área límite que lo constituye la parte alta de la región Chala y la parte baja de la región Yunga, según la clasificación de Pulgar Vidal.

El clima del distrito es generalmente templado; la atmósfera de abril a diciembre se distingue por un amanecer de nubes y nieblas, presentando eventualmente ligeras lloviznas en forma de garúa.

En la tabla 16 se presentan los promedios de los registros meteorológicos de la estación Alexander Von Humboldt de la UNALM para el periodo 2001 – 2015 entre los meses de marzo-junio, que corresponden a la fase experimental. En ella se muestra una temperatura máxima que asciende a los 27.9° (marzo) y una mínima de 14.4° (junio). Además, presenta una precipitación promedio mensual mínima de 0.2 mm (marzo) y máxima de 1.1 mm (junio).

Tabla 16: Resumen de variables meteorológicas promedio de la estación Von Humboldt de la UNALM entre los años 2001-2015

Mes	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Media (°C)	Humedad Relativa (%)	Vel. viento (m/s)	Pp. mensual (mm/mes)	Horas de sol (Hrs/día)
Marzo	27.9	19.1	23.5	75	1.5	0.2	6.6
Abril	26.5	17.1	21.8	78	1.5	0.4	7.2
Mayo	23.3	15.5	19.4	81	1.4	0.4	5.0
Junio	20.1	14.4	17.3	85	1.2	1.1	2.1

FUENTE: Estación meteorológica Von Humboldt

3.2 Materiales y equipos

3.2.1 Materiales del experimento

- Polímero superabsorbente: Se seleccionó el poliacrilato de sodio, el cual que se gelifica al contacto con el agua. Es de color natural blanco y viene en forma de ladrillos compactos de aproximadamente medio kilo cada uno.
- Material vegetal: Se utilizaron semillas de frijol canario variedad centenario, obtenidas del programa de leguminosas de la UNALM, el cual garantiza la calidad del grano.
- Biolac: Insumo natural que actúa como fertilizante orgánico y previene las plagas y enfermedades. Es de aplicación foliar. Las especificaciones técnicas del producto se aprecian en el anexo 15.
- Sistema de riego por goteo: Incluye cabezal de riego de la FIA y sus componentes, para garantizar la aplicación de agua requerida del cultivo.

3.2.2 Equipos del experimento

- TDR 150 : Es un aparato preciso y de manejo fácil para detectar la humedad instantánea del suelo. Este equipo muestra la humedad actual en porcentaje volumétrico. También mide la conductividad eléctrica y temperatura superficial de la tierra.
- Mochila para fumigar: Usado para la aplicación de Biolac.
- Equipos de laboratorio: Balanza electrónica, estufa.

3.2.3 Herramientas del experimento y programas de cómputo

- Cinta métrica: Para la delimitación del terreno y sus unidades experimentales. Además, para medir la altura de planta y longitud de raíces.
- Herramientas para labores agronómicas: pico, pala, rastrillo, azadón, carretilla.
- Herramientas para muestreo de suelo: Barreno, tornillo muestreador, cilindros metálicos de 5x5 cm.
- Software libre InfoStat: Para el análisis estadístico.
- Microsoft Office 2010: Excel, Word y Power Point.

3.3 Metodología de la investigación

A continuación, se presenta las 3 fases que conllevó el desarrollo de la investigación: Fase de pre-campo, campo y gabinete. La primera donde se realizó todo el trabajo previo establecido para la correcta evaluación de los objetivos, describiendo cómo se plantea cada una de sus variables y parámetros, y la forma en la que serán plasmadas en la fase de campo y analizadas posteriormente en gabinete.

3.3.1 Fase pre-campo

3.3.1.1 Características técnicas de la parcela experimental

Tabla 17: Descripción técnica de la parcela experimental

Parámetro	Valor	Unidad
Largo y ancho de unidad	4.2 x 4.0	m
Área unidad	16.8	m ²
Espacio entre unidades	0.5	m
Largo y ancho total	23 x 13	m
Área Total	300	m ²
Topografía y Relieve	Plano	-

FUENTE: Elaboración propia

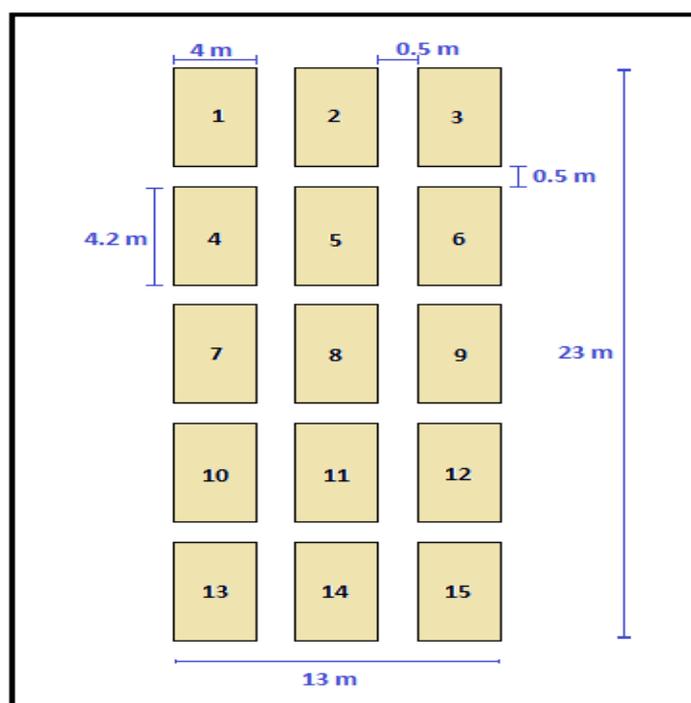


Figura 10: Dimensiones de la parcela experimental

FUENTE: Elaboración propia

3.3.1.2 Tratamientos

En la presente investigación se propusieron 5 tratamientos, los cuales se detallan a continuación:

- Tratamiento 0 (T0): Este tratamiento conocido como “testigo” o “control”, ya que no es afectado por ningún agente externo.
- Tratamiento 1 (T1): A este tratamiento se le aplicó 5 gramos de poliacrilato de sodio por planta, a 20 cm de profundidad del suelo.
- Tratamiento 2 (T2): A este tratamiento se le aplicó 10 gramos de poliacrilato de sodio por planta, a 20 cm de profundidad del suelo.
- Tratamiento 3 (T3): A este tratamiento se le aplicó 15 gramos de poliacrilato de sodio por planta, a 20 cm de profundidad del suelo.
- Tratamiento 4 (T4): A este tratamiento se le aplicó 20 gramos de poliacrilato de sodio por planta, a 20 cm de profundidad del suelo.

La figura 11 presenta la colocación aleatoria de los tratamientos en la parcela experimental.

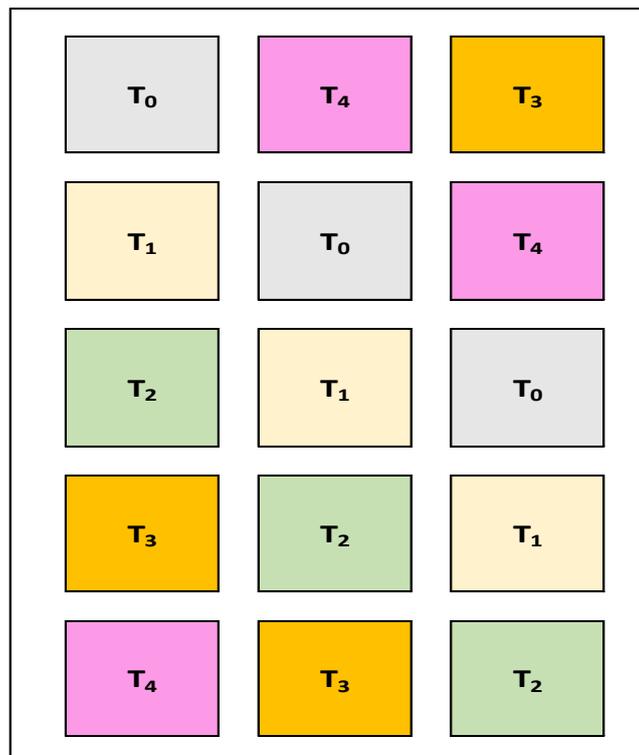


Figura 11: Distribución de tratamientos en la parcela experimental

FUENTE: Elaboración propia

3.3.1.3 Diseño experimental

Para el análisis estadístico de la presente investigación se hizo un diseño de bloques completo al azar (DBCA), ya que las parcelas, al contener diferentes cantidades de poliacrilato de sodio, son heterogéneas; es decir, las unidades experimentales se agrupan formando bloques.

En cada bloque se tiene un número de unidades experimentales igual al número de tratamientos, y estos están distribuidos al azar. El número de repeticiones es igual al número de bloques.

La figura 12 describe la agrupación de los tratamientos en bloques y/o repeticiones del experimento.

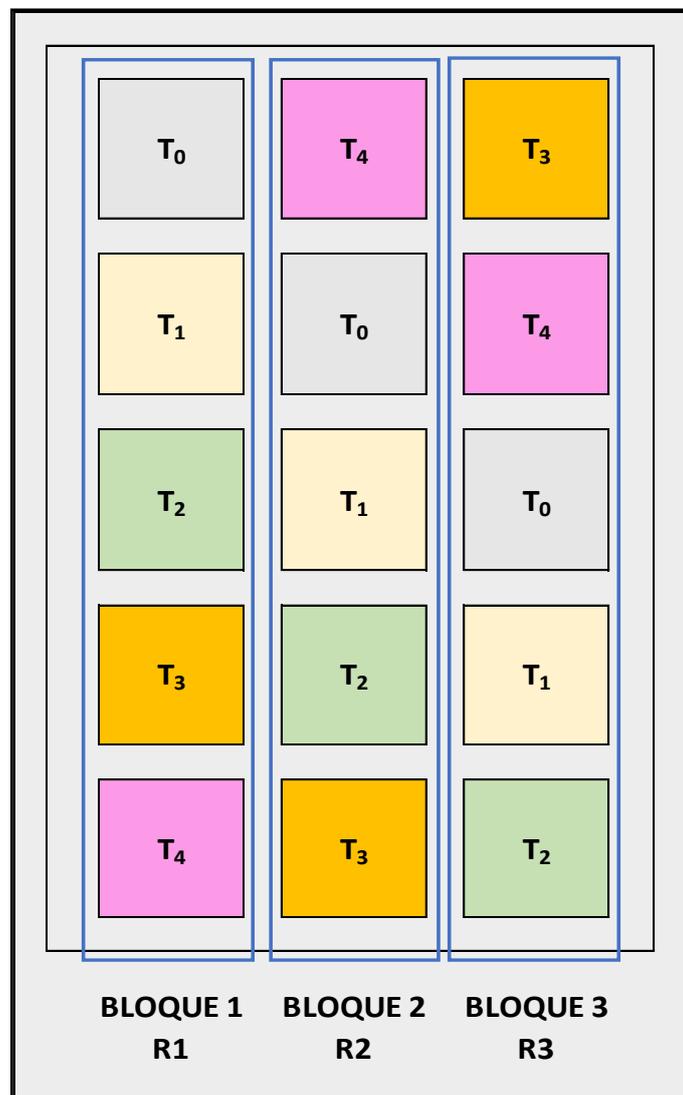


Figura 12: Diseño de bloques completo al azar

FUENTE: Elaboración propia

3.3.1.4 Análisis estadístico

Para detectar patrones de comportamiento de las variables en estudio, así como también establecer predicciones y/o inferencias estadísticas y poder compararlas de acuerdo con el DBCA, se realizó las siguientes pruebas y análisis:

- Análisis de Varianza (ANOVA): Para determinar si existe variabilidad entre bloques o tratamiento se analiza el p-valor, el cual debería ser mayor a 0.05 (nivel de significación) para no existir variabilidad o viceversa. Este incluye un análisis de media de Tukey, que se basa en el DMS (diferencia mínima significativa), el cual se utiliza para comparar tratamientos y descartar diferencias significativas entre sí, agrupándolos mediante letras según el orden alfabético, donde A es superlativo.
- Prueba de Shapiro Wilks: Para estimar si una variable tiene una distribución normal. Este test presenta que la hipótesis planteada o nula de una muestra proviene de una distribución normal. Elegimos un nivel de significancia de 0.05, y tenemos una hipótesis alternativa que sostiene que la distribución no es normal. Cuando el valor de p-Unilateral D de la prueba es mayor a 0.05 entonces:
Se acepta H_0 : La distribución es normal o $H_0: X \sim N(\mu, \sigma^2)$; por el contrario,
Se rechaza H_0 : La distribución no es normal o $H_1: X \not\sim N(\mu, \sigma^2)$
Adicionalmente, se muestra el diagrama Q-q plot de los residuos para verificar la normalidad apoyado en la prueba de Shapiro Wilks. El valor de r determinara la correlación de los puntos del gráfico para afirmar la normalidad.
- Prueba de Levene: Este test estadístico inferencial se utiliza para evaluar la igualdad de las varianzas de una variable calculada para dos o más grupos, en este caso tratamientos y bloques. Elegimos un nivel de significancia de 0.05, y cuando el valor de p-valor de la prueba es mayor a 0.05 o está en rango de 0.01-0.05, entonces existe homocedasticidad u homogeneidad de varianzas, caso contrario tendría que hacerse pruebas generalizadas o no paramétricas. Adicionalmente, se presenta la gráfica de residuos (diferencia entre los valores observados y los valores que predice el modelo) vs predichos para verificar uniformidad de varianzas apoyado en la prueba de Levene. Si los puntos no forman una campana o cono invertido, entonces no hay problemas de heteroscedasticidad.
- Diagrama de cajas: Donde se observa como se distribuyen sus valores extremos por tratamiento, además de la posición de la media y mediana.

3.3.1.5 Especificaciones de siembra

La figura 13 y tabla 18 detallan las especificaciones de siembra del frijol canario centenario para la presente investigación. Con un área total de total de 300 m², cada una de las 15 unidades experimentales abarca un área de 16.8 m² sin contar el espaciamento ente cada una de ellas. Se propuso sembrar 2 plantas por golpe, cuya distancia ente plantas fue de 30 cm y entre surcos de 80 cm. Cada unidad experimental tenía 5 laterales y en cada una de ellas había 26 plantas, alcanzando una densidad de 130 plantas por unidad experimental y 1950 plantas en toda la parcela, lo que equivale a 65217 plantas por hectárea.

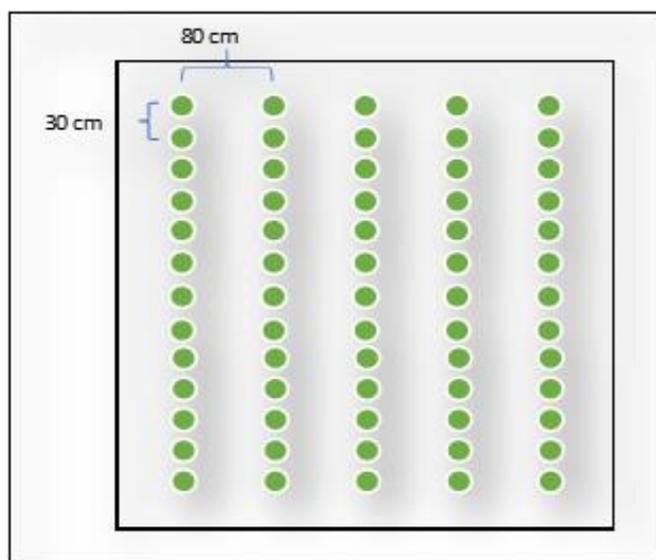


Figura 13: Detalle de la unidad experimental

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 18: Especificaciones de siembra

Descripción	Valor	Unidad
Distancia entre plantas	30	cm
Distancia entre surcos	80	cm
# de plantas por surco	26	
# de laterales por unidad experimental	5	
# de plantas por unidad experimental	130	plantas
# de unidades experimentales	15	
Densidad poblacional	1950	plantas

FUENTE: Elaboración propia

3.3.1.6 Estimaciones previas

- Cálculo de la densidad aparente (ρ)

Esto se ensayó en la parcela experimental, donde se hizo una calicata de 1 metro de ancho, de largo y de profundidad. Se aplicó el método del cilindro y para ello se tomó 6 muestras de suelo; 3 de ellas a 30 cm y las otras 3 a 60 cm de profundidad. Estas se llevaron a estufa del laboratorio de riegos de la FIA y se secó a 105° C durante 24 horas. Luego se sacaron las muestras de la estufa para obtener el peso del suelo seco (Pss).

La densidad aparente se obtuvo mediante a siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{Pss}{Vol} ; \text{ donde}$$

- ρ : Densidad aparente en gr/cm^3
Pss : Peso de suelo seco a estufa en gr
Vol : Volumen del cilindro metálico

Volumen del cilindro metálico: Considerando el cilindro metálico de 5 cm de diámetro y 5 de altura se obtuvo:

$$Vol = \pi \frac{d^2}{4} x h$$

$$Vol = 98.175 \text{ cm}^3$$

La tabla 19 muestra los resultados de los cálculos con los datos mencionados.

Tabla 19: Densidad aparente del suelo de la parcela

Muestra	Profundidad (cm)	Pss (gr)	ρ (gr/cm^3)	ρ prom. (gr/cm^3)
M1	30	151.8	1.55	
M2	30	157.6	1.61	1.56
M3	30	149.4	1.52	
M4	60	152.2	1.55	
M5	60	157.8	1.61	1.59
M6	60	158.7	1.62	

FUENTE: Elaboración propia

La densidad aparente del suelo hallada es de 1.56 gr/cm^3 .

- Estimación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (CC y Pmp)

En esta prueba se cercó un metro cuadrado de superficie de suelo de la parcela y se elevó un borde de aproximadamente 10 cm de altura con ayuda de pico y pala de tal manera que rodee dicho cuadrado, para luego echarle agua asegurándonos de saturar todo el perfil. Luego se cubre la superficie saturada con plástico para evitar pérdidas por evaporación y que ingrese agua de lluvia. A continuación, se extrajeron 3 muestras de suelo cada 24 horas a una profundidad de 30 cm con ayuda de un barreno para llevarlas a laboratorio. Cada una de estas muestras debe ser puesta y sellada en un sobre manila para evitar pérdidas de evaporación. Una vez en el laboratorio se pesa en una balanza de precisión y se mete a estufa a 105 °C durante 24 horas, luego se vuelve a pesar y se calcula la humedad del suelo. Este proceso se repite hasta que la humedad se haga casi constante o no tenga variación significativa. Cuando cumpla ese requisito, se hallará la capacidad de campo. Para ello, la humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{P_{\text{Suelo húmedo}} - P_{\text{Suelo seco}}}{P_{\text{Suelo seco}}} \times 100$$

La tabla 20 registra los datos de humedades y pesos de suelo seco y húmedo de las muestras extraídas diariamente.

Tabla 20: Ensayo de humedad del suelo para hallar la CC

Día	Muestra	Psh (gr)	Pss (gr)	Humedad (%)	Hum. Prom (%)
1	M1	275.3	223	23.45	23.93
	M2	197.5	158.8	24.37	
	M3	201.7	162.7	23.97	
2	M1	220.5	181.2	21.69	21.24
	M2	212.6	175.9	20.86	
	M3	187.7	154.9	21.17	
3	M1	204.7	172.1	18.94	19.09
	M2	211.1	177.7	18.80	
	M3	186.7	156.2	19.53	
4	M1	203.3	171.5	18.54	18.54
	M2	197.4	166	18.92	
	M3	186.2	157.6	18.15	
5	M1	182.4	148.7	18.48	18.38
	M2	163.8	133.1	18.74	
	M3	150.7	123.7	17.92	

FUENTE: Elaboración propia

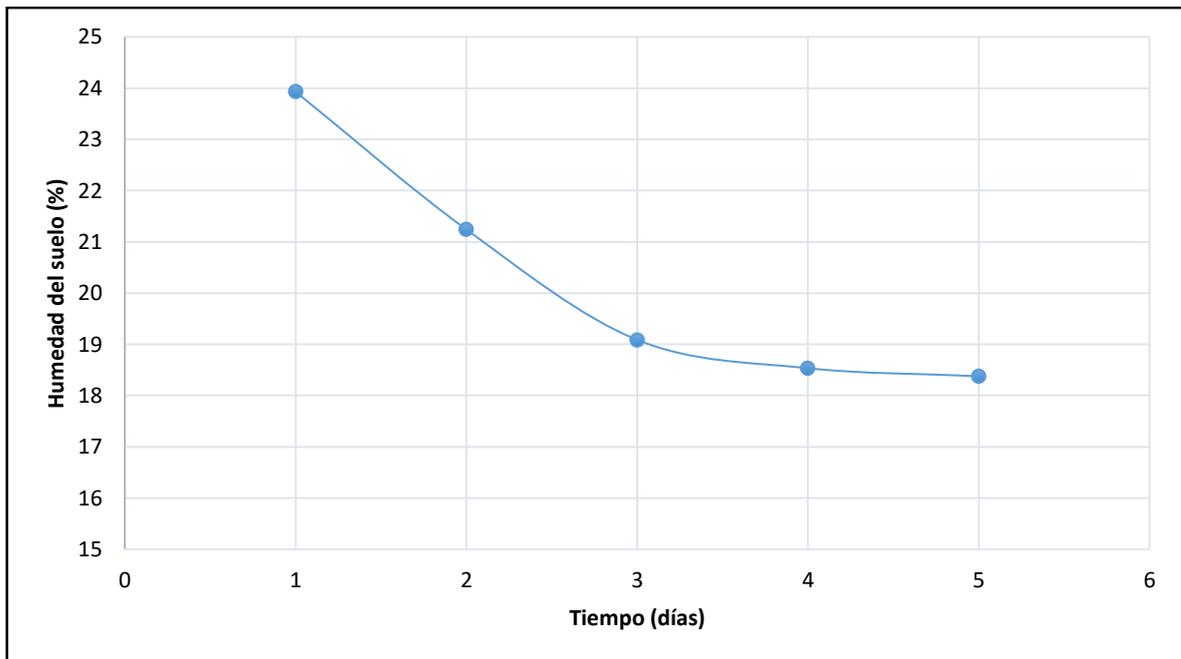


Figura 14: Variación de la humedad del suelo para estimar la CC

FUENTE: Elaboración propia

García *et al.* (2012), menciona que luego de saturar el suelo, este llega a un estado de capacidad de campo entre las 48 a 72 horas, es decir, entre el 2do y tercer día.

De la figura 14 se observa que la humedad gravimétrica del suelo va descendiendo hasta el tercer día que se hace casi constante, obteniendo un valor aproximado de **19.09 por ciento**.

De la misma manera, el punto de marchitez se obtiene de la siguiente ecuación (Silva *et al.*, 1988):

$$Pmp (\%) = (\% Cc \times 0.74) - 5$$

$$Pmp (\%) = 9.13 \%$$

- Cálculo del porcentaje de área mojada (am%)

Para calcular la lámina de riego bruta (Lr), se tuvo en cuenta el porcentaje de área mojada, para ello se estimó el diámetro del bulbo húmedo (D) según catálogo de la cinta Pathfinder 3000:

$$AM (\%) = \left(\frac{\text{Área Mojada}}{\text{Área Total}} \right) \times 100$$

$$AM (\%) = \left(\frac{\pi \times D^2 / 4}{\text{Dist. gótero} \times \text{Dist. lateral}} \right) \times 100 = \left(\frac{\pi \times 0.4^2 / 4}{0.2 \times 0.8} \right) \times 100 = 78.54 \%$$

3.3.2 Fase de campo

3.3.2.1 Preparación del terreno

Inició con la eliminación de la maleza que había dentro y en el lindero de la parcela experimental. Esta actividad se hizo manualmente con la ayuda de picos, lampas y un azadón. Debido a que el terreno estaba compactado y descansado, se optó por realizar un riego por machaco, que es un tipo de riego pesado por inundación con el fin de que las capas superficiales absorban el agua y deje el suelo más trabajable para el arado. Este riego favorece la germinación rápida y uniforme de las semillas. Este procedimiento duró aproximadamente 2 horas.

En la figura 15 se observa el laboreo primario, donde se utilizó el arado de rastras y discos, con el fin de cortar, desterronar, refinar, mullir y remover el suelo utilizando la fuerza de tracción de un tractor agrícola, además de darle esponjamiento y aireación al suelo. De esta manera se formó la cama de siembra.

Luego de ello, se prosiguió con la nivelación del terreno que se hizo de forma manual utilizando rastrillos y lampas, también se extrajo algunas piedras y desechos.

Por último, se realizó el replanteo considerando la delimitación del terreno y sus unidades experimentales, así como también las zonas donde se instalarían las tuberías.



Figura 15: Preparación del terreno

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.2 Instalación del sistema de riego

Una vez delimitado el terreno con cal, se procedió a la instalación del sistema de riego, partiendo de una toma que provenía del cabezal de riego de la facultad de Ingeniería Agrícola (ver figura 16).

Con ayuda de picos, palas y lampas se realizó la excavación para la tubería matriz a unos 50 cm de profundidad, asimismo para la tubería secundaria, arcos de riego y porta-laterales a unos 30 cm de profundidad del suelo. La elaboración de los arcos de riego se hizo de forma manual de tal forma que todos tengan las mismas medidas (ver figuras 17 y 18).

Utilizando un taladro, se perforaron los porta-laterales haciendo orificios de 16 mm para insertar la manguera ciega de polietileno, estos conectaban directamente a las cintas de riego mediante uniones cinta-manguera que iban a ser tendidas a lo largo de la parcela. Se colocaron tapones al final de las cintas para evitar la fuga de agua. En total se hicieron 5 perforaciones por porta-lateral.

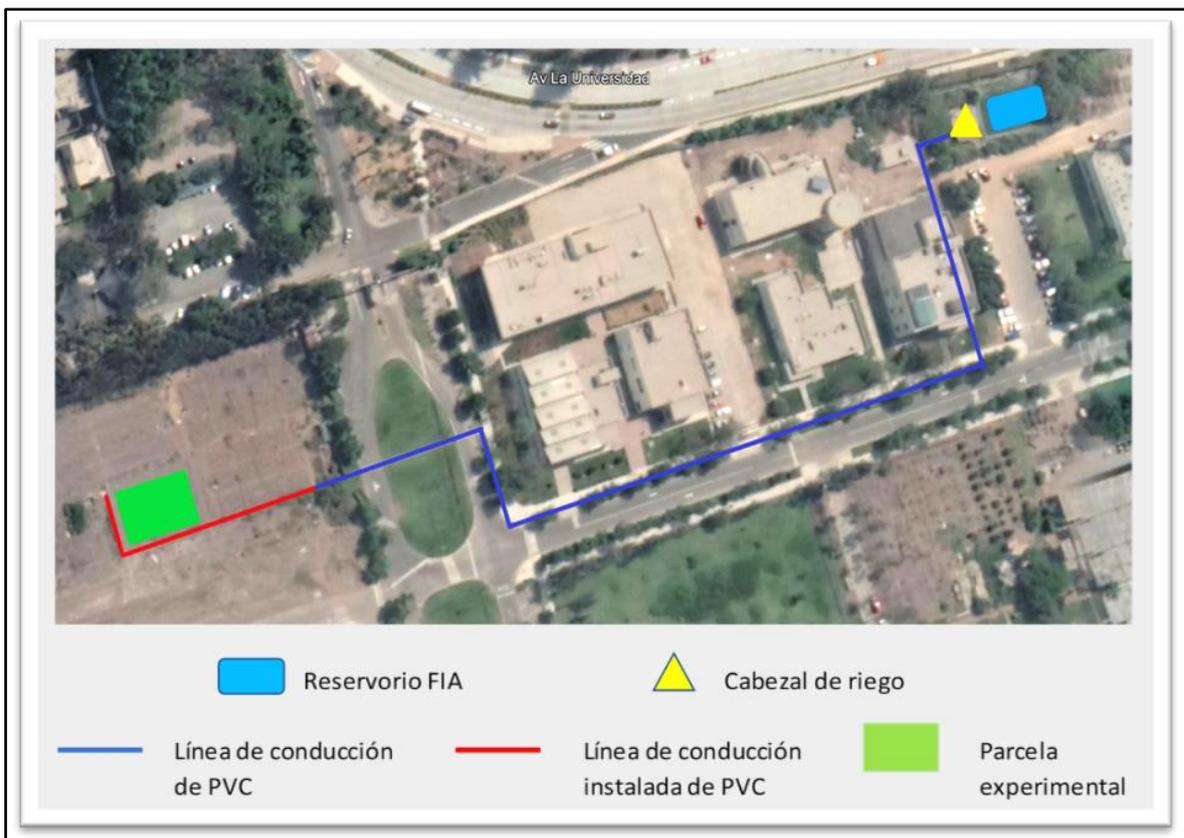


Figura 16: Línea de conducción de sistema de riego

FUENTE: Elaboración propia



Figura 17: Instalación de tubería principal y elaboración de arcos de riego
 FUENTE: Elaboración propia

Los materiales, instrumentos y accesorios que se utilizaron para el sistema de riego y su instalación fueron:

- Tuberías de 1 ½” - PVC - Clase 7.5 x 6 m
- Tuberías de 1” - PVC - Clase 7.5 x 6 m
- Válvulas de Bola Sanking - PVC - 1 ½”
- Filtro de Aire de 1”
- Accesorios de PVC de 1” y 1 ½”: Codos (45° y 90°), uniones T, UPR, tapones, etc.
- Manómetro de presión, 0 - 1 bar.
- Conectores iniciales y tapones - 16 Φ
- Manguera ciega - hdpe - 16 Φ
- Conectores manguera-cinta de - Φ (Miniválvulas)
- Cinta de riego Pathfinder de 16 Φ, @ 20 cm x 2000 m
- Pegamento para PVC Oatey.
- Collarines HDPE de 1 ½ x ¾”
- Cinta teflón



Figura 18: Instalación de arcos de riego, porta-laterales y laterales

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.3 Preparación e inserción del polímero

El polímero (poliacrilato de sodio) se obtuvo por bloques compactos de 0.5 kilogramos cada uno; por lo que se tuvo que triturar hasta hacerlo gránulos pequeños. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando una lima gruesa y una licuadora con el fin de hacerlo en menos tiempo.

Luego se tuvo que separar en cantidades como se indican en el ítem 3.3.1.2: 5, 10, 15 y 20 gramos. Para ello se colocó en bolsitas de plástico con el fin de diferenciarlas y tenerlas cuantificadas para llevarlas luego a campo (ver figura 19). Sabiendo que en cada unidad experimental había 5 hileras y por cada hilera cabían 26 plantas, se utilizó la siguiente cantidad de poliacrilato de sodio:

Para el T0 (0gr):	testigo	=	0 gr
Para el T1 (5gr):	5 x 13 x 5 x 3	=	975 gr
Para el T2 (10gr):	10 x 13 x 5 x 3	=	1950 gr
Para el T3 (15gr):	15 x 13 x 5 x 3	=	2925 gr

Para el T4 (20gr): $20 \times 13 \times 5 \times 3 = \underline{3900 \text{ gr}}$

TOTAL $\underline{9750 \text{ gr}}$

TOTAL 9.75 kg

Luego de tener el polímero separado en sus diferentes cantidades, se procedió a insertarlo en la parcela experimental haciendo una zanja de aproximadamente 20 cm de profundidad con respecto al nivel del terreno a lo largo de cada unidad experimental con excepción del T0 (testigo), de modo que el polímero este a esa distancia vertical y justo debajo de cada planta de frijol que luego se sembraría (ver figura 20). Esto se realizó de tal manera que, al efectuar el riego por goteo, el poliacrilato de sodio absorba el agua y forme la capa retenedora. El polímero se insertó cada 30 centímetros que es justo el espaciamiento entre plantas.

Luego se procedió a tapar con la tierra las zanjas de cada unidad experimental de tal manera que quedara lista para la siembra, indicando donde empezaba la primera planta de cada lateral para no perder la alineación entre el polímero y la semilla de frijol.



Figura 19: Cuantificación de poliacrilato de sodio en diferentes dosis

FUENTE: Elaboración propia



Figura 20: Inserción del poliacrilato de sodio en el suelo

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.4 Siembra

Luego de insertar el polímero en la tierra se procedió a sembrar la semilla de frijol canario variedad centenario, la cual se hizo a 2 centímetros de profundidad del suelo aproximadamente, de tal manera que esté alineado con el polímero como se explicó en el ítem 3.3.2.3.

Esta labor se realizó con el suelo parcialmente húmedo para facilitar la rápida germinación. La siembra se realizó el 4 de marzo del 2018. Como se optó por sembrar 2 semillas por golpe, se utilizó en total de 1950 semillas de frijol canario centenario, lo cual equivale aproximadamente a 1 kg de semillas.

3.3.2.5 Labores culturales

- Aporque:

Esta técnica agrícola se realizó con ayuda de picos, palas y azadón. El fin de esta labor cultural es mantener el tallo lo más recto posible, así como también darle estabilidad y fortaleza a la planta y facilitar el desarrollo de sus raíces. El aporque, como muestra la figura 21, tuvo un ancho de 30 cm y una altura máxima de 15 cm con respecto al nivel del suelo.



Figura 21: Aporque de la planta de frijol

FUENTE: Elaboración propia

- Fertilización y prevención de plagas y enfermedades:

Se utilizó un producto orgánico denominado Biolac, el cual proviene de fermentación de frutos en descomposición con microorganismos y melaza en un proceso anaeróbico (en ausencia de oxígeno). La proporción de la mezcla con agua fue la siguiente: Por cada litro de agua se echó 5 mililitros de Biolac. La segunda 6, la tercera 7 y así sucesivamente hasta llegar a 10 mililitros por litro de agua, donde se mantuvo constante. Esta mezcla se echó en la mochila de 20 litros para aplicar manualmente al cultivo. La frecuencia de aplicación fue de 2 veces por semana (ver figura 22).



Figura 22: Aplicación de Biolac al cultivo

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.6 Humedad del suelo

Al insertar el polímero en el suelo, produjo un efecto en su humedad mostrando diferentes valores a los que normalmente tendría con el transcurrir del experimento. Por por ello se tomó medidas de humedad con el TDR150 del departamento de recursos hídricos de la FIA-UNALM.

Para ello, luego de calibrar el sensor de humedad, se registró 5 medidas diferentes por cada unidad experimental, a fin de promediarlas y tener un valor representativo por unidad. Estas medidas se registraron antes de regar una profundidad efectiva según el calendario del cultivo del frijol y se muestran en los gráficos mediante las variaciones por tratamiento que toma a lo largo del experimento. La profundidad de medición depende de la zona radicular de raíces que va aumentando conforme se desarrolla el cultivo hasta llegar a su valor máximo. Este valor también se utilizaría al calcular la lámina de riego a aplicar al cultivo para llevar la humedad a CC. La lectura del TDR150 es en contenido volumétrico (figura 24), por ello, si se desea convertir en humedad gravimétrica, se tendría que dividir entre la densidad aparente hallada en el ítem 3.3.1.6, mediante la siguiente relación:

$$\% W_{volumétrico} = \rho \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \times \% W_{gravimétrico}$$

FAO (2006), precisa que el umbral de riego para el óptimo desarrollo del cultivo del frijol es de 0.45. Por lo tanto, la figura 23 muestra la humedad gravimétrica en la que debe que oscilar el suelo:

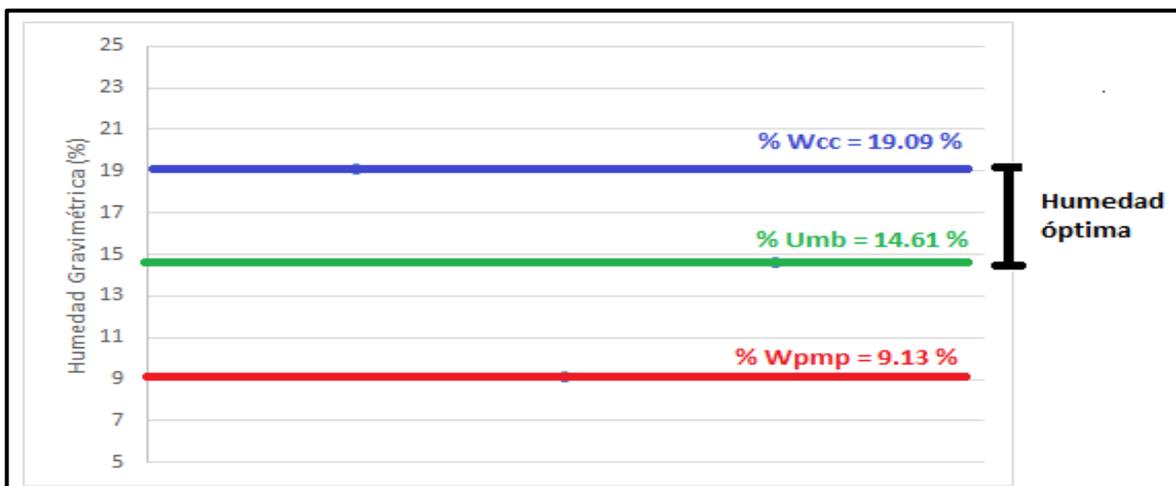


Figura 23: Intervalo de humedad gravimétrica óptima del suelo para el frijol

FUENTE: Elaboración propia



Figura 24: Medición de la humedad del suelo del cultivo de frijol
 FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.7 Lámina de agua aplicado

Al medir la humedad instantánea del suelo luego de un determinado número de días según calendario del cultivo, se procedió a regar cada unidad experimental de manera que todas lleguen a capacidad de campo. El riego que se aplicó a cada unidad experimental dependió de la humedad medida en con el TDR150 y se calculó de la siguiente manera:

$$Lr (mm) = \left(\frac{W\theta_{CC} - W\theta_{Lectura}}{100} \right) \times Prof\ rad (mm) \times \% AM$$

De esta manera, se aseguró que la humedad final luego del riego esté aproximadamente a capacidad de campo.

Asimismo, para aplicar una determinada lámina, la cual depende de las características del sistema de riego, se definió el tiempo para regar cada unidad experimental mediante la siguiente ecuación:

$$Tr (min) = Lr (mm) \times \left(\frac{Dist_{goteros} (m) \times Dist_{surcos} (m)}{Q_{gotero} (lph)} \right) \times 60$$

3.3.2.8 Evaluación de 4 fases fenológicas del cultivo

Para el desarrollo del cultivo del frijol canario centenario, se tomaron en cuenta 4 fases: la formación de hojas primarias, floración, formación de vainas y madurez de cosecha. Este parámetro se evaluó con respecto a los días de transcurridos hasta cada fase y hasta que el 50 por ciento de plantas de cada unidad experimental cumplan las características de la misma. La evaluación de esta variable se realizó de forma visual y se registró el promedio de las 3 repeticiones redondeando al entero superior en caso haya decimales.

3.3.2.9 Longitud de raíces

La longitud de raíces se midió al alcanzar la madurez de cosecha. Para ello se escogió 10 plantas al azar de cada unidad experimental como tamaño de muestra y se registró el promedio de estas como valor representativo de la unidad experimental. Estas se llevaron a laboratorio para medir con una wincha. Su unidad se expresa en centímetros.

3.3.2.10 Altura de planta

Se efectuó antes del final del período de crecimiento del cultivo, es decir, antes de alcanzar la madurez de cosecha. La medición que cuenta es desde la superficie del suelo hasta el ápice del tallo principal. Se escogieron 10 plantas al azar de cada unidad experimental como muestra y se registró el promedio de estas como valor representativo de la unidad experimental. La magnitud se expresa en centímetros y se usó una wincha como herramienta de medición.

3.3.2.11 Área foliar

El área foliar va en un aumento hasta los últimos días de la fase reproductiva, posteriormente decae debido a la madurez de sus hojas. Con ayuda de un tejido de nylon cuadrada de 2 x 2 cm cada cuadrado, se estimó el área foliar del frijol canario centenario antes de concluir el periodo de desarrollo (ver figura 25). El muestreo se hizo a 10 plantas al azar de cada unidad experimental como tamaño de muestra y se registró el promedio de estas como valor representativo. La unidad de medición se expresa en cm^2 .



Figura 25: Estimación del área foliar del frijol

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.12 Número de vainas

Al alcanzar la madurez de cosecha, se llevó a laboratorio 10 plantas al azar de cada unidad experimental como muestra y se realizó el conteo del número de vainas por planta. Se registró el promedio de estas como valor representativo (ver figura 26) y se redondeó al entero superior en caso haya decimales.



Figura 26: Extracción de plantas de frijol y conteo del número de vainas

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2.13 Cosecha

La cosecha se realizó el día 6 de junio del 2018 y se hizo de forma manual, extrayendo muestras de plantas para pesar la producción y procesarla en la fase de gabinete.



Figura 27: Cosecha

FUENTE: Elaboración propia

3.3.3 Fase de gabinete

Esta última fase consistió en procesar todos los datos obtenidos en la fase de campo que corresponden a:

- Humedad del suelo
- Lámina de riego
- Profundidad de raíces
- Altura de planta
- Área foliar
- Número de vainas

Asimismo, se procesó la información de las láminas de riego acumulada por cada tratamiento, así como también de la cosecha para cuantificar las siguientes variables:

3.3.3.1 Volumen de agua aplicado

El consumo de agua durante el riego acumulado se especifica en la siguiente ecuación:

$$Vol\ agua\ (m^3/Ha) = Lr\ (mm) \times 10$$

Camarena *et al.* (2009), precisa que el requerimiento de agua del frijol oscila entre los 2000 y 3000 m³/Ha, dependiendo del tipo y variedad de frijol, condiciones climáticas, evapotranspiración del cultivo, etc.

3.3.3.2 Rendimiento del cultivo

Se tomó el peso del total de granos secos de 10 plantas de cada unidad experimental seleccionadas al azar y se tomó el promedio para obtener un valor representativo. Sabiendo que hay 130 plantas por cada unidad experimental, cuya área es de 16.8 m², se realizó la siguiente conversión para llevarlo de gramos/planta a kg/hectárea mediante la siguiente relación:

$$Rendimiento\ \left(\frac{Kg}{ha}\right) = Rend.\ Prom.\ planta\ \left(\frac{gr}{planta}\right) \times \frac{\# plantas \times 10}{Area\ Subparcela(m^2)}$$

3.3.3.3 Huella hídrica

El cálculo de esta variable se efectuó relacionando los resultados de los ítems 3.3.3.1 y 3.3.3.2. Para ello se tiene el consumo de agua por tratamiento en m³/ha y el rendimiento en kg/ha, por lo que podría determinarse, mediante un cociente, el consumo de agua en metros cúbicos o litros que se necesita para la producción de 1 kilogramo de frijol canario centenario bajo las condiciones expuestas en la investigación.

$$Huella\ hídrica\ \left(\frac{L}{kg}\right) = \frac{Volumen\ de\ agua\ \left(\frac{m^3}{ha}\right)}{Rendimiento\ \left(\frac{kg}{ha}\right)} \times 1000$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Humedad del suelo

Para todos los tratamientos descritos anteriormente, se tomó lectura de las humedades del suelo antes del riego, de tal manera que esta oscile entre los límites del umbral y la capacidad de campo; es decir, que esté entre 14.61 y 19.09 por ciento. Los anexos 1, 2, 3, 4 y 5 muestran las lecturas del TDR150 que se registraron antes de cada riego, con las que se calculó la lámina de riego bruta (Lr) y el tiempo de riego (Tr) para cada unidad experimental.

Como se muestra en la figura 28, las humedades pico del suelo antes del riego para el tratamiento T0 o testigo estuvieron la mayor parte del experimento por debajo del umbral de riego (14.61 por ciento), pero aun así lejos del punto de marchitez (9.13 por ciento), obteniendo un valor mínimo de 13.1 por ciento en el día 47, lo cual es aceptable, ya que la diferencia no es mucha. Además, se puede observar que los valores pico de humedad van decreciendo conforme pasan los días, esto obedece a las necesidades hídricas del cultivo, ya que en la fase reproductiva es donde requiere más agua.

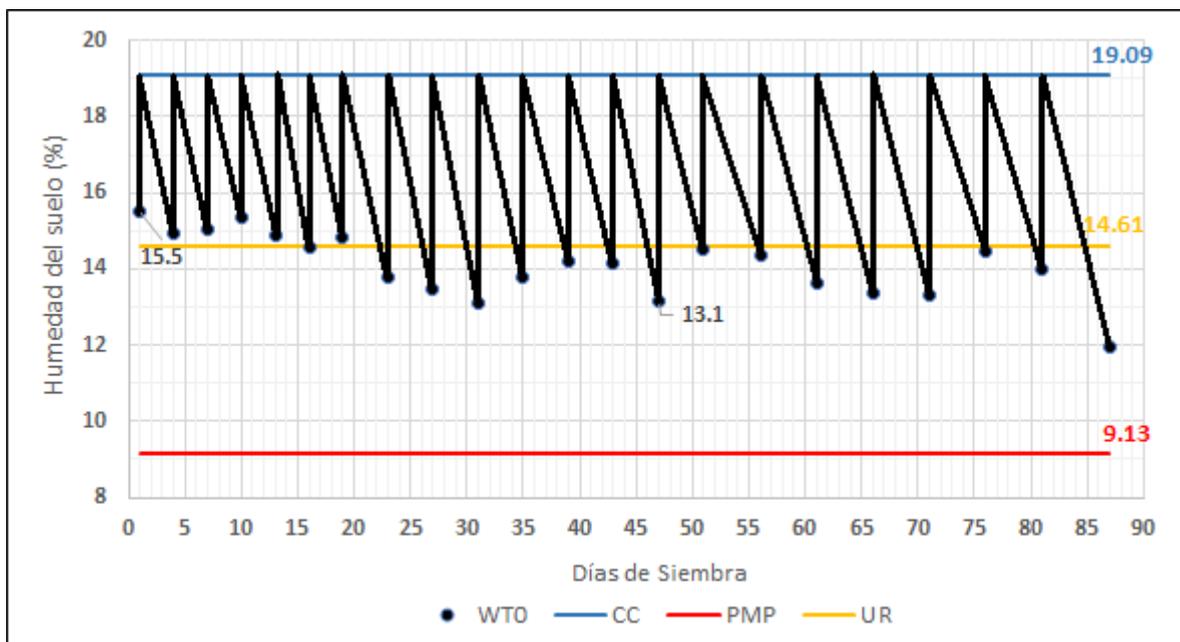


Figura 28: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T0

FUENTE: Elaboración propia

Para el tratamiento T1, cuya dosis de polímero es de 5 gramos por planta, las humedades pico del suelo antes del riego estuvieron la mayor parte del experimento por encima del umbral, salvo en dos ocasiones, alcanzando un valor mínimo de 14.4 por ciento en el día 61 como muestra en la figura 29, lo cual es despreciable, ya que la diferencia es mínima.

Además, se puede apreciar que los valores pico de humedad son más constantes conforme pasan los días; es decir, la variación no es destacada. Esto es debido a la presencia de poliacrilato de sodio cuya función retenedora de agua afecta positivamente a la humedad del suelo. Los valores mínimos de humedad se aprecian en la fase reproductiva, que es donde el cultivo requiere más agua.

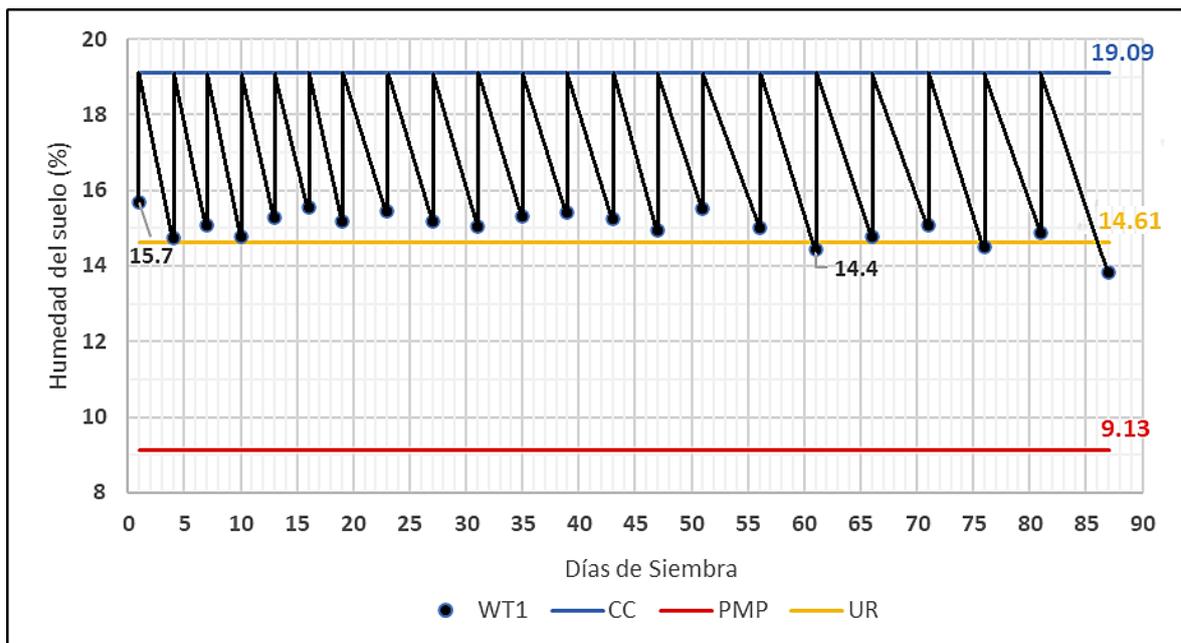


Figura 29: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T1

FUENTE: Elaboración propia

Para el tratamiento T2, cuya dosis de polímero es de 10 gramos por planta, las humedades pico del suelo antes del riego estuvieron la mayor parte del experimento por encima del umbral al igual que el tratamiento T1, salvo en una ocasión, obteniendo un valor mínimo de 14.3 por ciento en el día 76 como muestra la figura 30.

Además, se puede apreciar que los valores pico de humedades antes del riego no varían significativamente como sí se observa en la figura 28 del tratamiento T0.

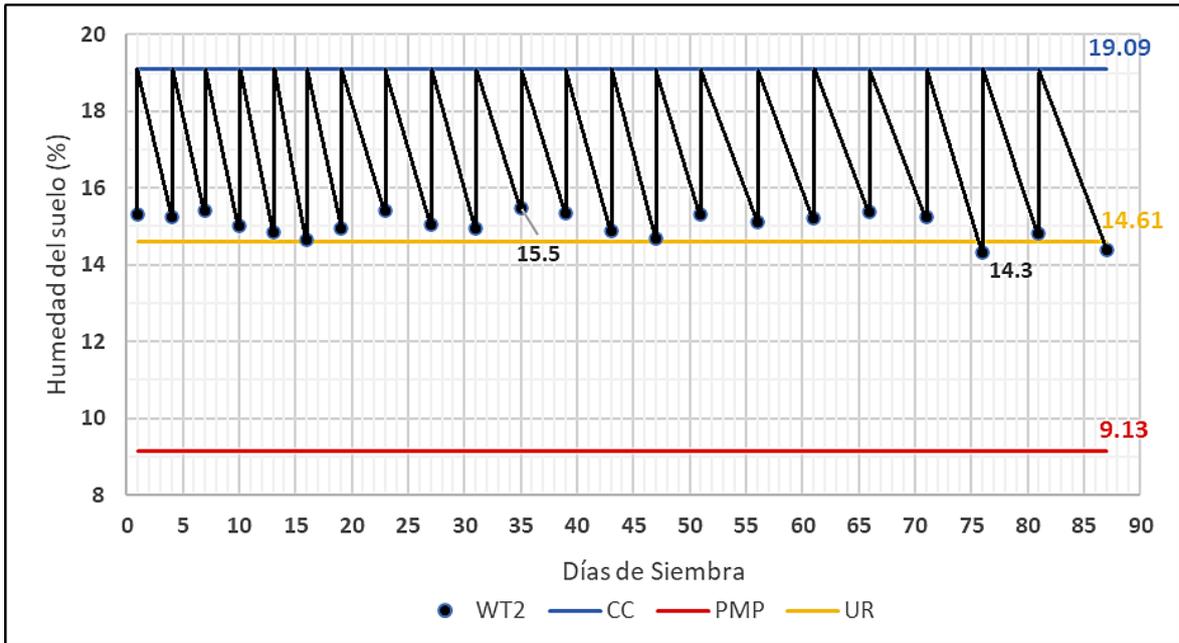


Figura 30: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T2

FUENTE: Elaboración propia

La figura 31 muestra las humedades gravimétricas del suelo antes de cada riego para el tratamiento T3. De ello se aprecia que las humedades pico del suelo antes del riego estuvieron por encima del umbral, obteniendo un valor mínimo de 14.3 por ciento en el día 56. Además, se puede observar que los valores de humedad antes del riego son levemente más elevados que los tratamientos T1 y T2.

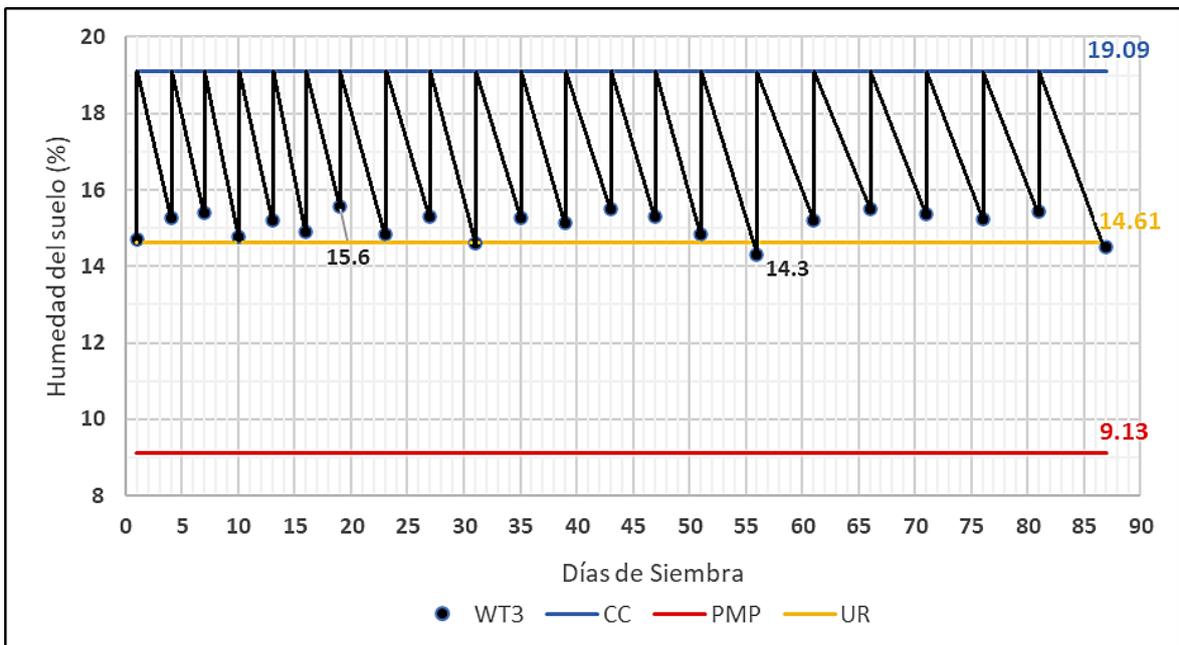


Figura 31: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T3

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, para el tratamiento T4, las humedades pico del suelo antes del riego estuvieron por encima del umbral al igual que todos los anteriores tratamientos con excepción del T0, obteniendo un valor mínimo de 14.2 por ciento en el día 47. La figura 32 muestra las humedades gravimétricas del suelo antes de cada riego para el tratamiento en mención.

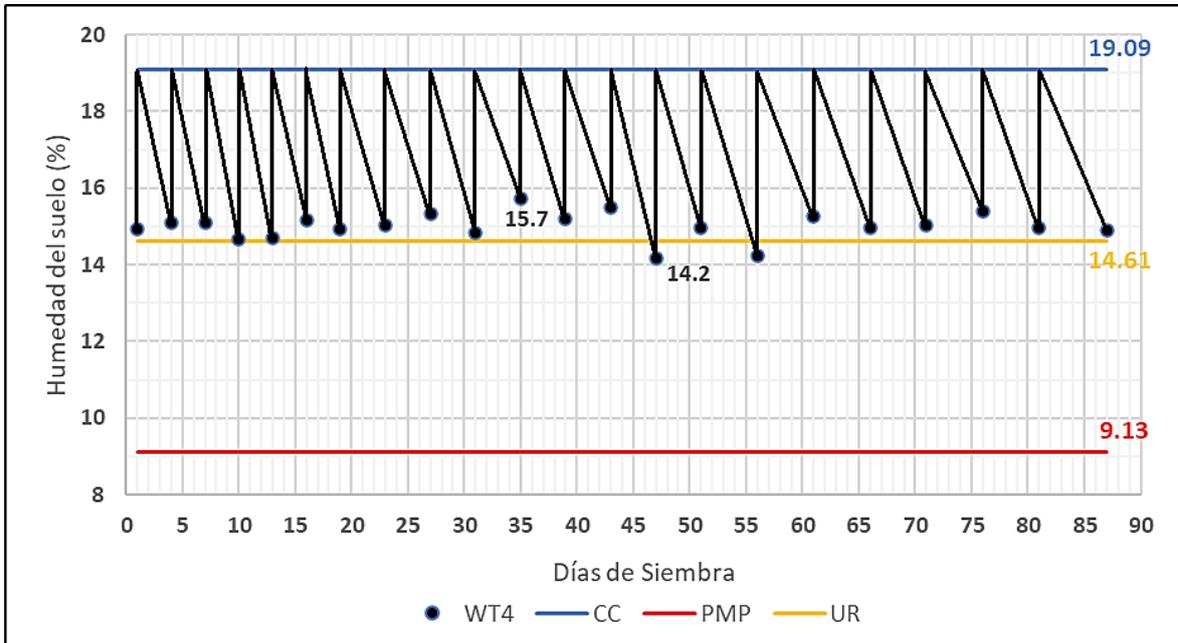


Figura 32: Variación de humedad gravimétrica del suelo para el tratamiento T4

FUENTE: Elaboración propia

Si contrastamos la variación de humedades del suelo antes del riego a lo largo de todo el periodo vegetativo del cultivo de frijol canario centenario de todos los tratamientos de la presente investigación, podemos diferenciar y concluir, de la figura 33, lo siguiente: Comparando solo los tratamientos que contienen polímero en el suelo (T1, T2, T3 y T4), se resume que no existe diferencia significativa, ya que su comportamiento es similar entre ellos, aunque el tratamiento T3 muestra valores de humedades levemente más elevadas que los tratamientos T1, T2 y T4. Es decir, se deduce que tuvieron un mejor comportamiento en cuanto se refiere a absorción de agua de riego y conservación de humedad en la zona radicular del suelo favoreciendo el desarrollo del cultivo. Sin embargo, al contrastar estos 4 últimos con el tratamiento T0 (testigo o control), se aprecia una diferencia significativa en sus valores de humedad. De esta manera se tendrían que regar menos que el tratamiento T0 y; consecuentemente, consumir menos cantidad de agua.

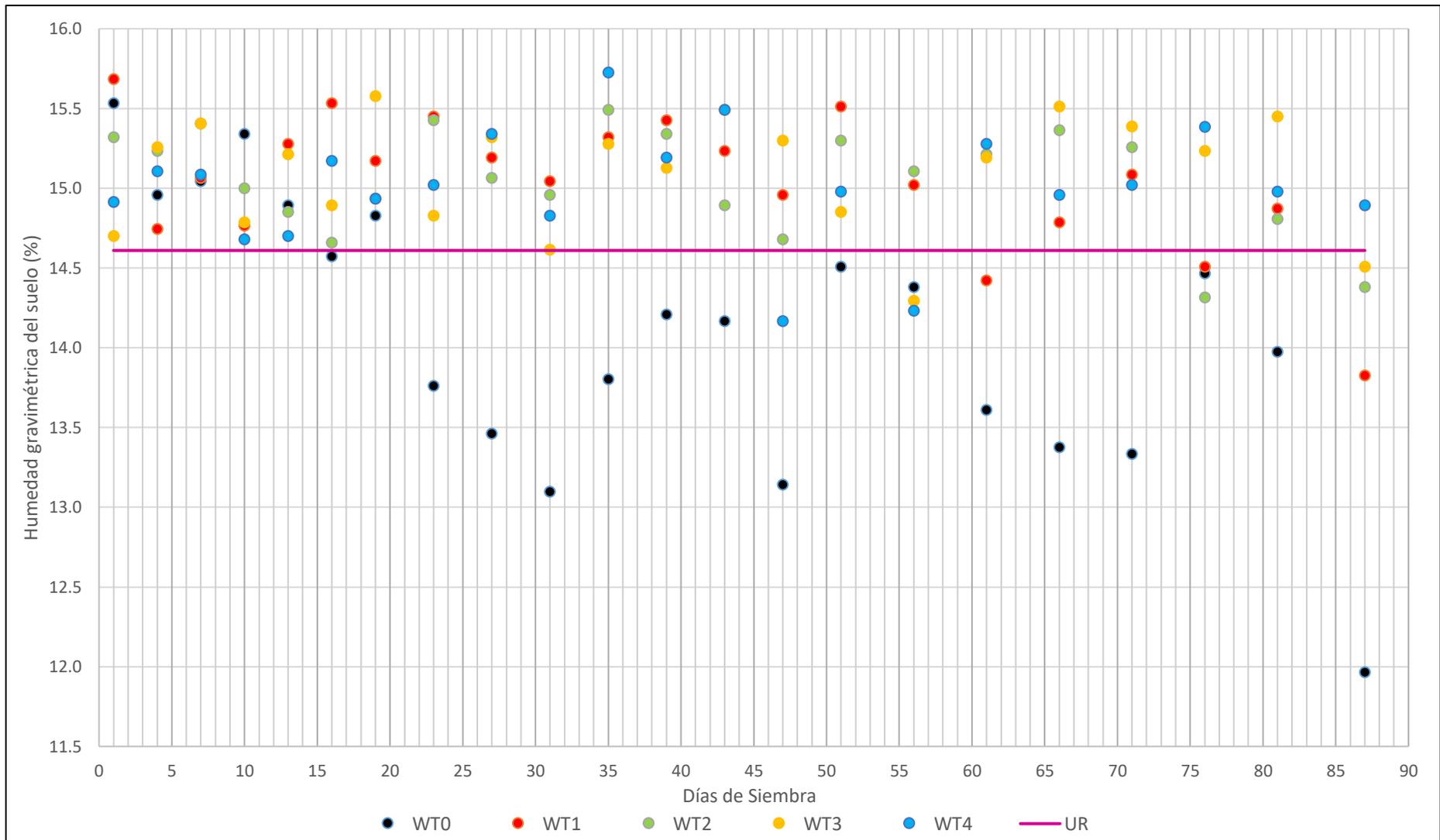


Figura 33: Variación de humedad gravimétrica del suelo de los tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

4.2 Volumen de agua aplicado

4.2.1 Lámina de riego

Todos los tratamientos se regaron a lo largo de la investigación de acuerdo a la humedad promedio de cada uno como se especificó en el ítem 3.3.3.1. Para apreciar y/o entender mejor las gráficas de las láminas de riego, estas se adjuntan a las de humedad de cada tratamiento, donde se puede observar que a mayor lectura del TDR150, se hizo una aplicación menor de lámina para llegar al estado de capacidad de campo, y viceversa. Pues la lámina de riego depende tanto de la humedad del suelo y de la profundidad radicular efectiva que va aumentando conforme al periodo vegetativo.

Las láminas de riego de todos los tratamientos fueron aumentando conforme al estado de desarrollo del cultivo, pues en su fase vegetativa fueron mucho menores que en su fase reproductiva.

En la figura 34 se muestra la lámina de riego bruta promedio aplicada durante todo el periodo vegetativo al tratamiento T0. Se observa que en el día 71 alcanzó su máximo valor de 21.16 mm.

Asimismo, de las figuras 35, 36, 37 y 38, nos muestran que se obtuvieron valores máximos de 17.15, 17.55, 17.63 y 17.86 mm; en los días 61, 76, 56 y 56; para los tratamientos T1, T2, T3 y T4; respectivamente.

Si comparamos las láminas de riego bruta máximas aplicadas de cada uno de los tratamientos, concluimos que el tratamiento T0 obtiene una ventaja aproximada de 2.5 a 3 mm sobre los demás, esto es debido a la presencia del poliacrilato de sodio en los tratamientos T1, T2, T3 y T4, pues al absorber el agua forma una capa retenedora manteniendo húmedo el suelo por más tiempo y; por lo tanto, requiere menos agua de riego.

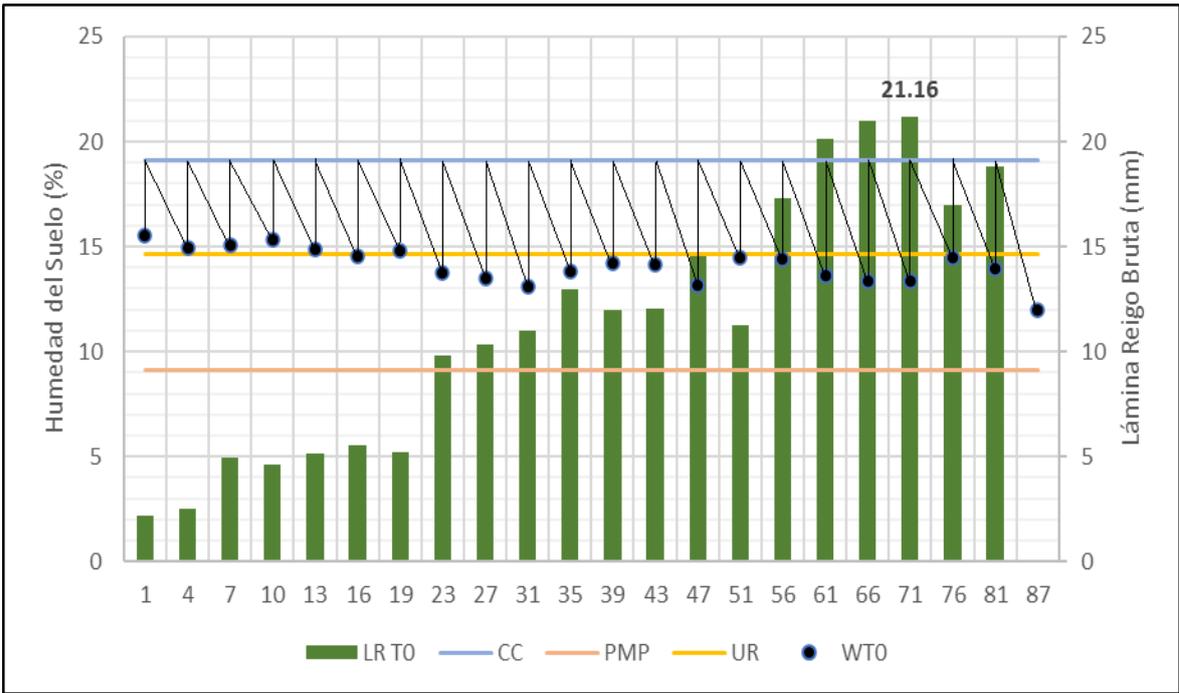


Figura 34: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T0
 FUENTE: Elaboración propia

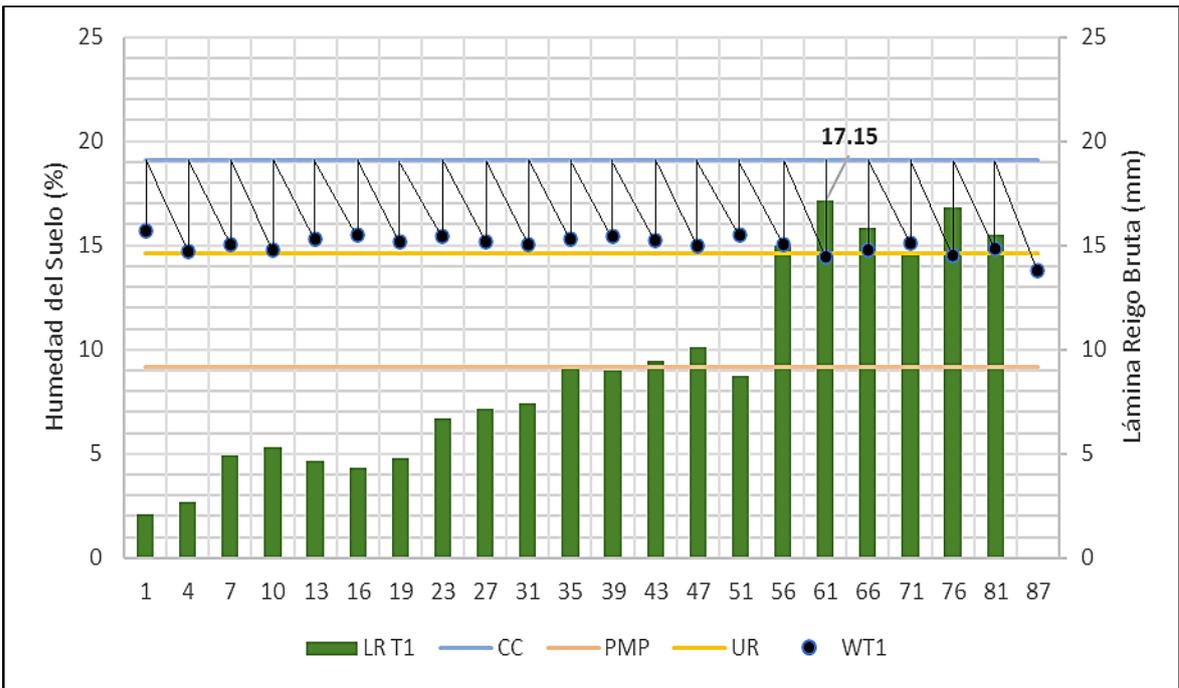


Figura 35: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T1
 FUENTE: Elaboración propia

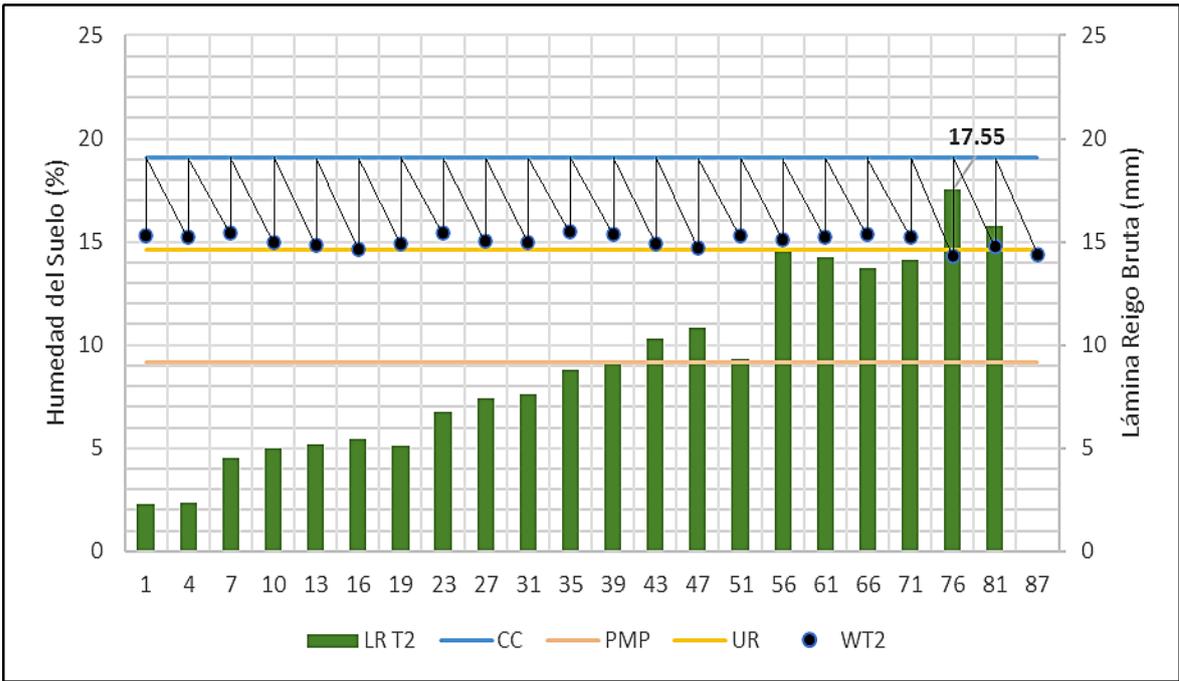


Figura 36: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T2

FUENTE: Elaboración propia

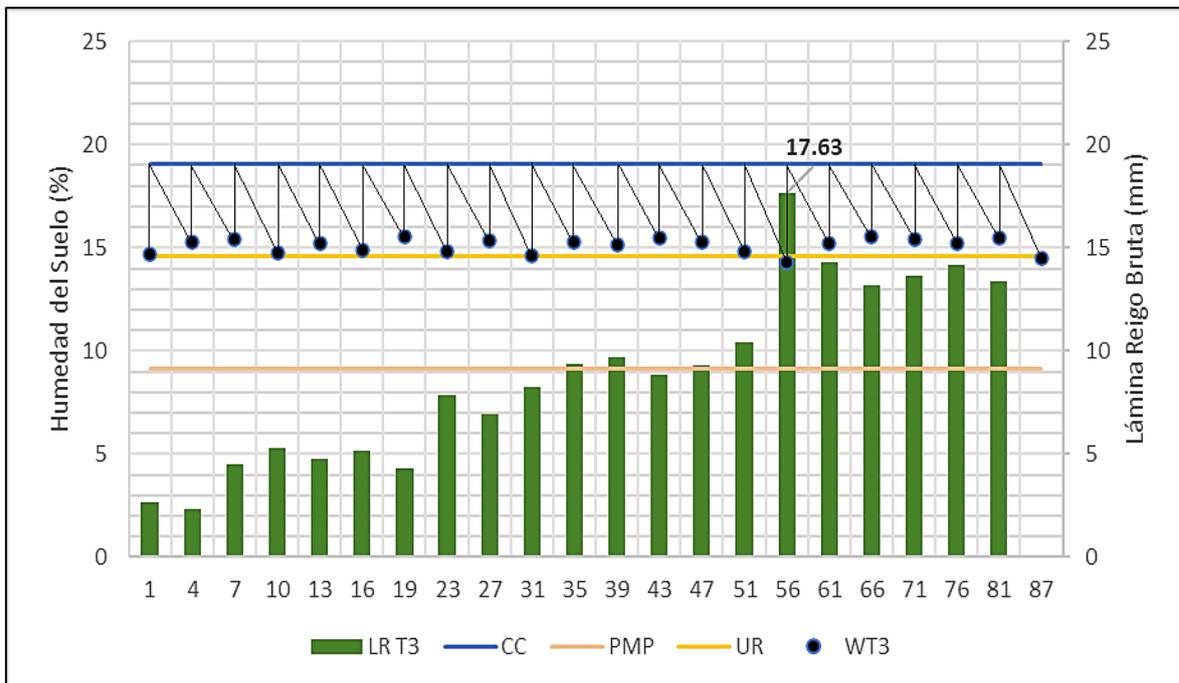


Figura 37: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T3

FUENTE: Elaboración propia

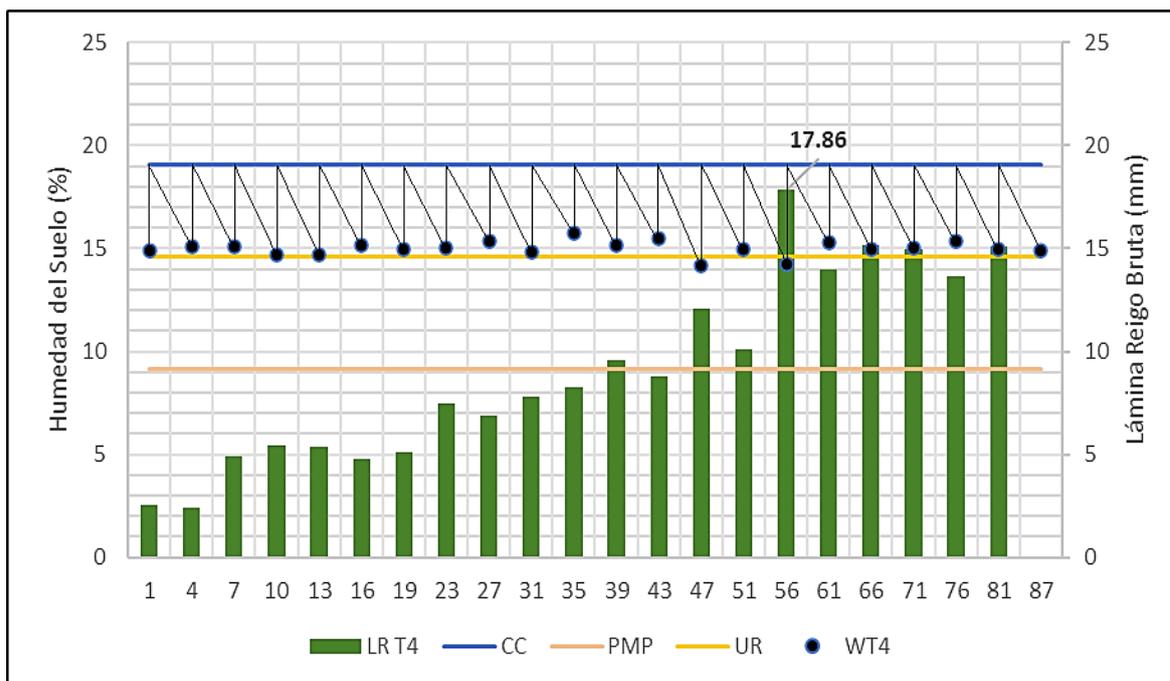


Figura 38: Láminas de riego bruta aplicada al tratamiento T4

FUENTE: Elaboración propia

Si analizamos la variación de láminas de riego bruta a lo largo de todo el periodo vegetativo del cultivo de frijol canario centenario de todos los tratamientos de la presente investigación, podemos discutir, de la figura 39, lo siguiente:

Comparando solo los tratamientos que contienen polímero en el suelo (T1, T2, T3 y T4), se puede acotar que no existe una tendencia definida entre ellos en lo que refiere a esta variable; es decir, el hecho de contener más dosis de polímero por planta en el suelo, no garantiza que se obtenga una mayor o menor lámina.

No obstante, al contrastar estos 4 últimos con el tratamiento T0 (testigo o control), se acota que: si bien hasta los primeros 19 días del cultivo, las láminas de riego fueron casi iguales para ambos, a partir del día 23 hay una diferencia cada vez más pronunciada entre ellos, siendo el tratamiento T0 el que requirió de más lámina. Por consiguiente, el poliacrilato de sodio cumplió el efecto ahorrador de agua para el cultivo del frijol canario centenario.

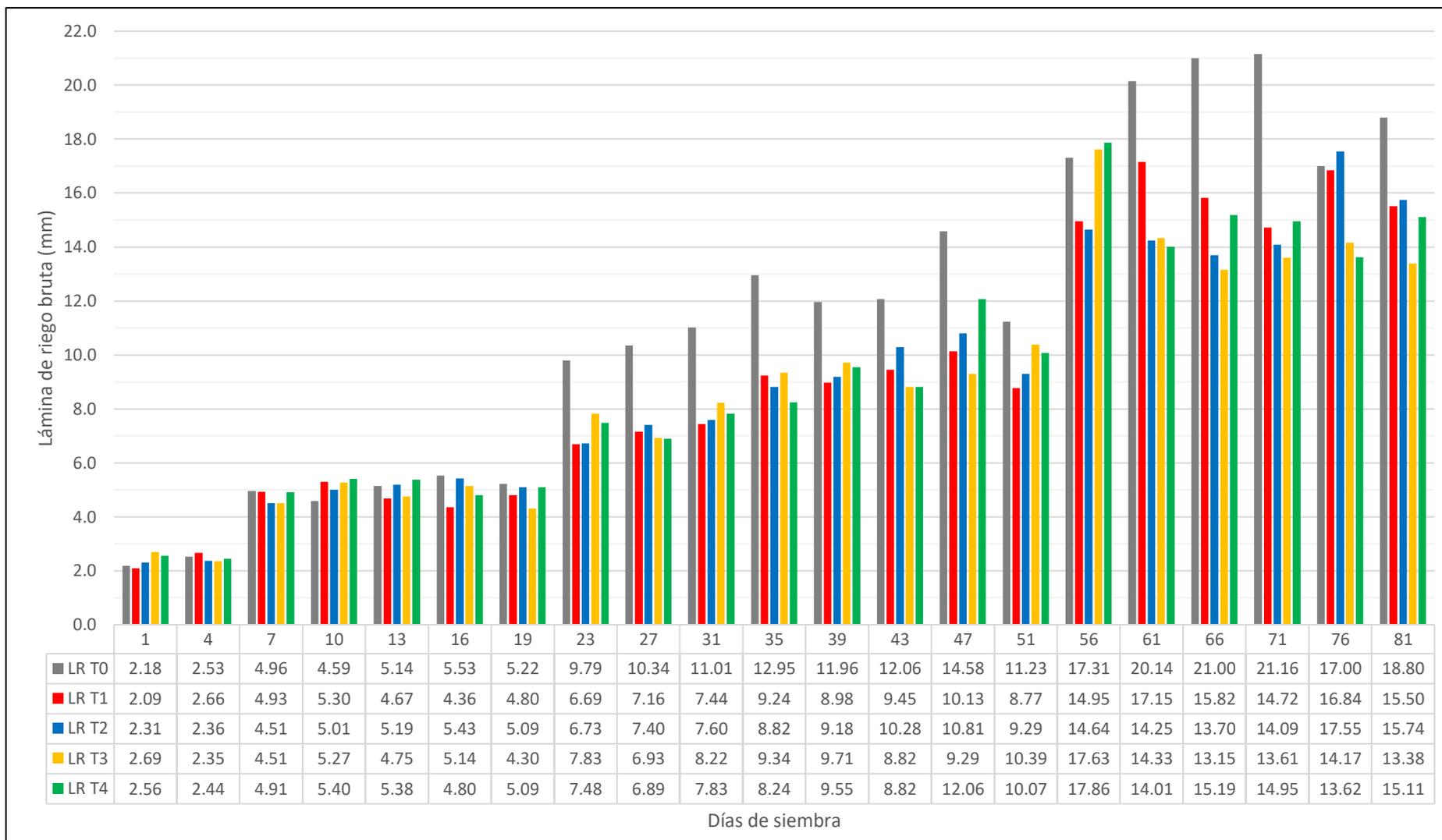


Figura 39: Láminas de riego bruta aplicada a los tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

4.2.2 Lámina de riego acumulada

La tabla 21 y figura 40 muestran los valores y gráficos de las láminas de riego aplicadas en los diferentes tratamientos para cada fase del desarrollo del cultivo de frijol canario centenario. El mayor riego aplicado ocurrió en la fase reproductiva (a partir del día 40 en adelante), siendo el tratamiento T0 el que más riego solicitó con 239.5 mm, seguidos por los T4, T1, T2 y T3; con 192.28, 191.65, 189.98 y 185.81 mm, respectivamente.

Camarena *et al.* (2009), señala que durante la fase vegetativa el frijol común bajo riego tecnificado por goteo requiere de 82.11 mm, mientras que en la fase reproductiva consume 141.89 mm, lo que hace un total de 224 mm. Cabe señalar que el experimento se realizó entre los meses marzo-junio donde los factores climáticos influyen en el riego. Pese a ello, la lámina total de los tratamientos que contienen poliacrilato de sodio (T1, T2, T3 y T4) es menor a la de la bibliografía consultada.

Tabla 21: Lámina de riego bruta total (mm) para el frijol canario centenario

	T0	T1	T2	T3	T4
Fase vegetativa	86.22	68.32	69.63	71.05	70.57
Fase reproductiva	153.28	123.33	120.35	114.76	121.71
Acumulado	239.50	191.65	189.98	185.81	192.28

FUENTE: Elaboración propia

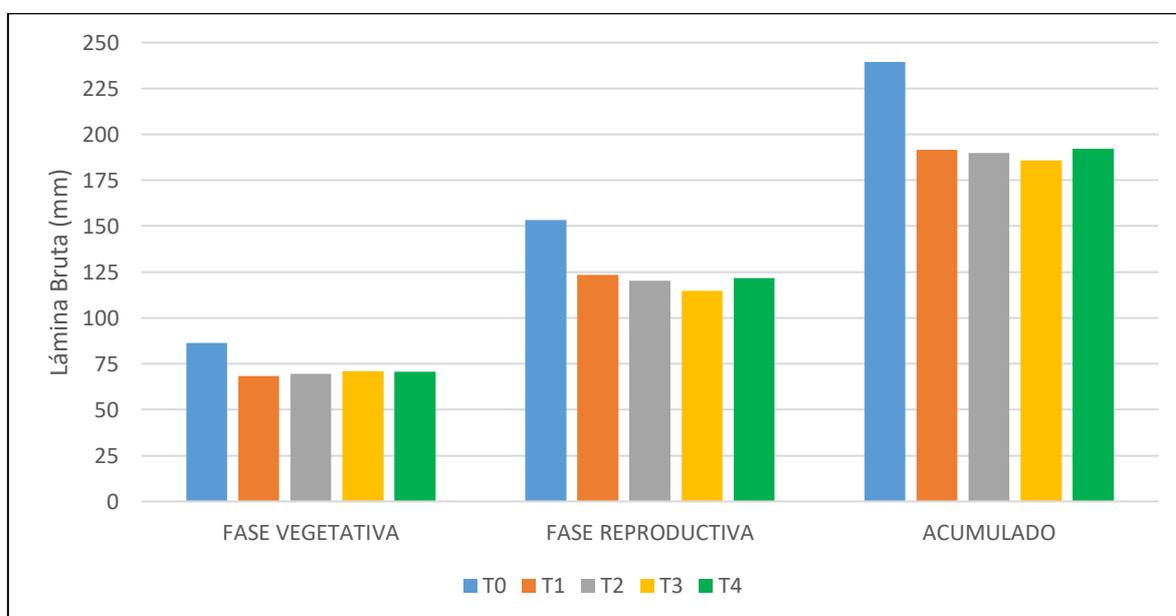


Figura 40: Láminas de riego bruta total acumulada para el frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 22: Análisis de varianza de la lámina acumulada

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R ²	Aj	CV	
Lámina Acum.	15	0.98	0.96	2.01	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6057.99	6	1009.67	62.68	<0.0001
Tratamiento	5974.40	4	1493.60	92.72	<0.0001
Bloque	83.59	2	41.80	2.59	0.1354
Error	128.87	8	16.11		
Total	6186.86	14			

FUENTE: Elaboración propia

La tabla 22 presenta el análisis de varianzas de la lámina de riego acumulada, donde existe una alta diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor $p < 0.0001$, es menor a 0.01 del valor de significación; por el contrario, entre los bloques no existe diferencia significativa, ya que el valor $p = 0.1354$ es mayor a 0.05 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 2.01 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

La tabla 23 presenta el teste de Shapiro-Wilks, cuyo valor de p es 0.75, el cual es mayor a 0.05. Asimismo, la recta de la regresión en la figura 41 muestra que los puntos se alinean sobre la recta; es decir, existe una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.969. Consecuentemente, se acepta la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, concluyendo que los residuos de la variable se distribuyen normalmente.

Tabla 23: Prueba Shapiro – Wilks de la lámina acumulada

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Lámina acum.	15	0.00	3.03	0.95	0.75

FUENTE: Elaboración propia

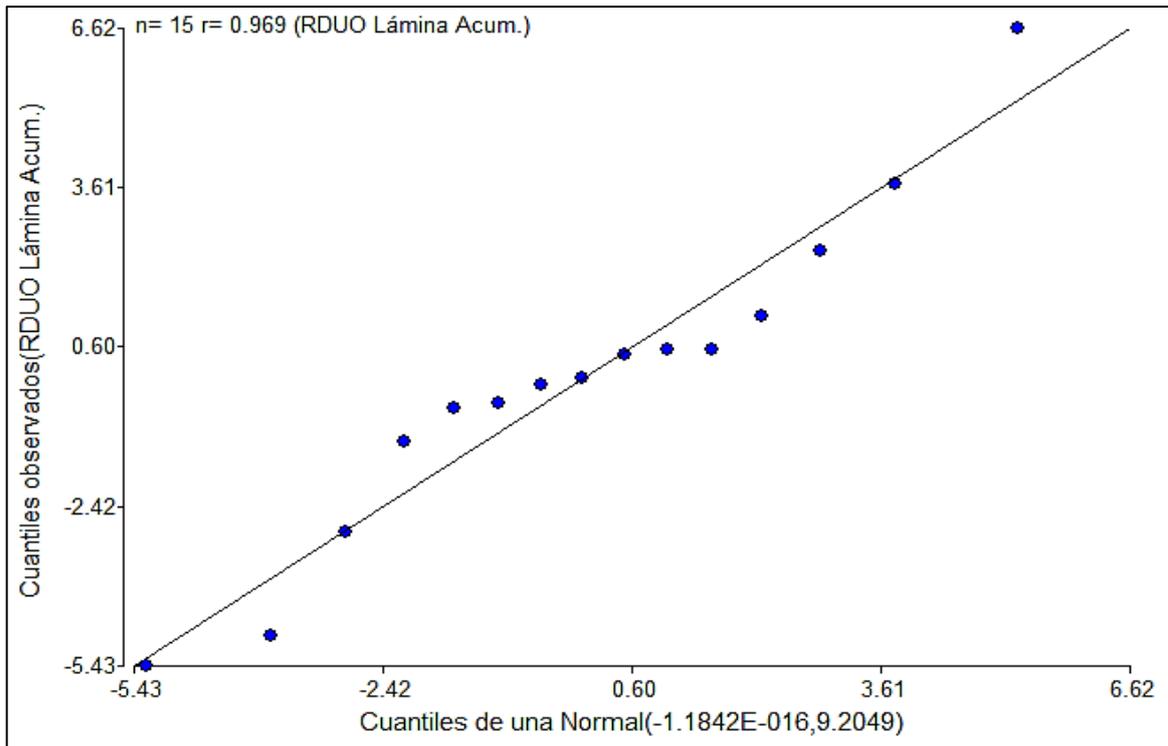


Figura 41: Q-q plot de los residuos de la lámina acumulada

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

Si bien la prueba de Levene en la tabla 24 presenta un valor de p igual a 0.0109 entre los tratamientos, en cual está entre 0.01 y 0.05, la figura 42 muestra que los puntos no forman un cono o campana marcado. Por lo descrito anteriormente, se concluye que los datos satisfacen las hipótesis de linealidad y no existen problemas de heterocedasticidad o desigualdad de varianzas; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son correctos.

Tabla 24: Prueba de Levene de la lámina acumulada

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RABS Lámina Acum.	15	0.83	0.70	56.98	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53.66	6	8.94	6.44	0.0097
Tratamiento	37.76	4	9.44	6.80	0.0109
Bloque	15.90	2	7.95	5.73	0.0286
Error	11.10	8	1.39		
Total	64.76	14			

FUENTE: Elaboración propia

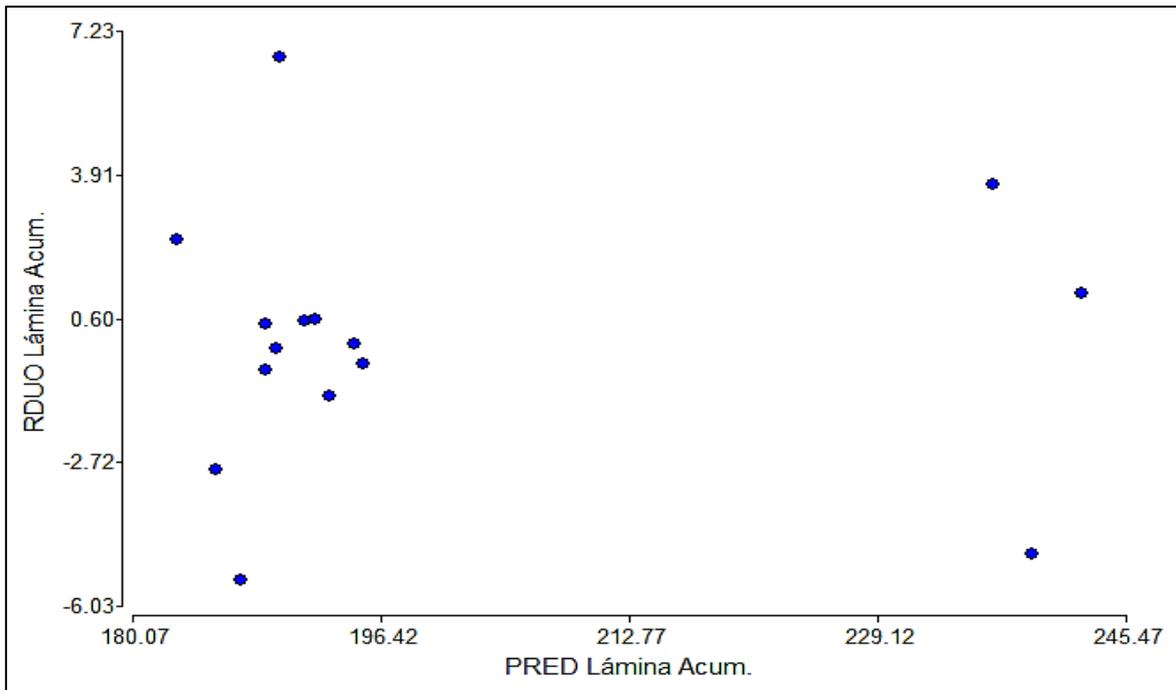


Figura 42: Prueba de homogeneidad de varianzas de la lámina acumulada
 FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

En la tabla 25, el test de comparación de medias de Tukey muestra un DMS de 11.3214, el cual precisa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, ya que poseen una clasificación B; no obstante, estos tratamientos con respecto al tratamiento T0, si hay diferencia significativa al obtener una clasificación tipo A (ver figura 43). Además, se presenta el diagrama de cajas en la figura 44, donde se observa como se distribuyen sus valores extremos de cada tratamiento y la posición de la media y mediana

Tabla 25: Prueba de Tukey para la lámina acumulada

Test: Tukey		Alfa=0.05	DMS=11.3214	
Error: 16.1086		Gl: 8		
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	239.51	3	2.32	A
T4	192.28	3	2.32	B
T1	191.65	3	2.32	B
T2	189.99	3	2.32	B
T3	185.82	3	2.32	B

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

FUENTE: Elaboración propia

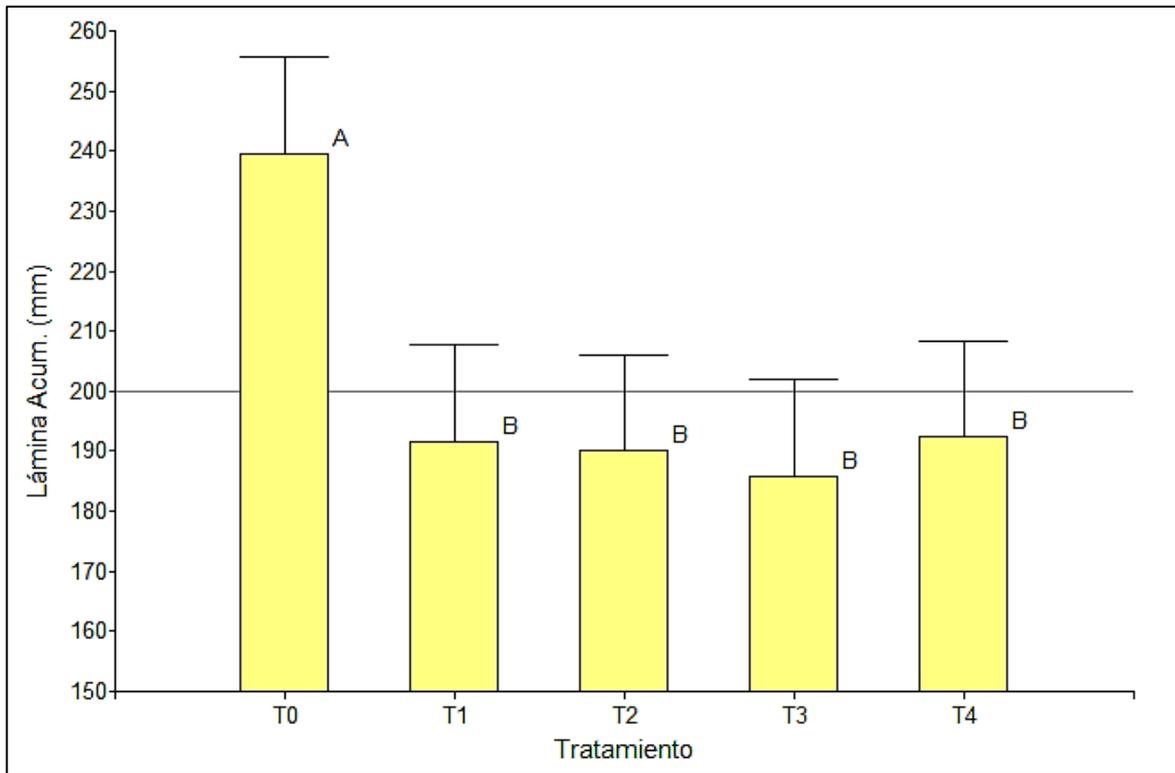


Figura 43: Análisis de medias de la lámina acumulada

FUENTE: Elaboración propia

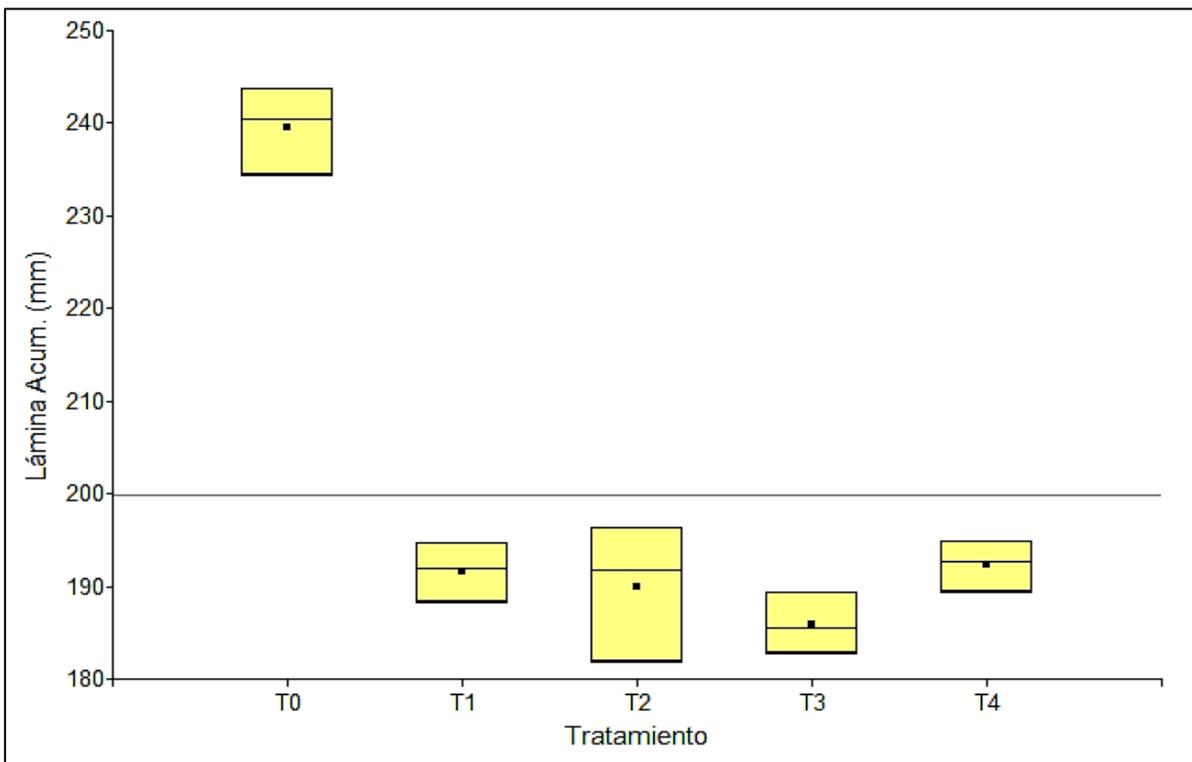


Figura 44: Diagrama de cajas de la lámina acumulada

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.3 Cuantificación de consumo de agua

Los valores de consumo de agua del cultivo de frijol canario centenario se muestran en la tabla 26 y figura 45. El mayor gasto se registró en el tratamiento T0, el cual requirió un valor promedio de 2395 m³/ha, seguidos por los tratamientos T4, T1, T2 y T3; con 1922.8, 1916.5, 1899.8 y 1858.1 m³/ha, respectivamente. Si contrastamos el tratamiento T0, se calcula que el ahorro del recurso hídrico fue de 19.98, 20.68, 22.42 y 19.72 por ciento, con los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente.

Camarena *et al.* (2009), sostiene que el frijol común bajo riego tecnificado por goteo requiere 2240 m³/ha aproximadamente. Sin embargo, el consumo de agua de los tratamientos que contienen polímero (T1, T2, T3 y T4) es menor a la de la bibliografía consultada.

Tabla 26: Consumo de agua total (m³/ha) del frijol canario centenario

	T0	T1	T2	T3	T4
Fase vegetativa	862.2	683.2	696.3	710.5	705.7
Fase reproductiva	1532.8	1233.3	1203.5	1147.6	1217.1
Acumulado	2395.0	1916.5	1899.8	1858.1	1922.8

FUENTE: Elaboración propia

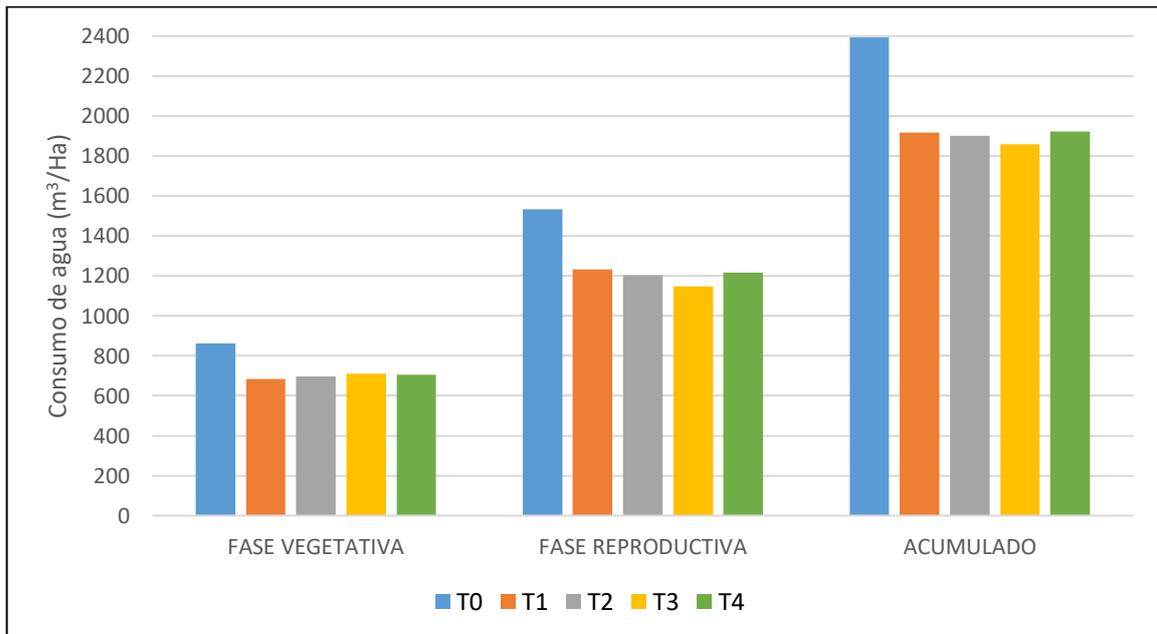


Figura 45: Consumo de agua total por fase y acumulada del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

4.3 Fases fenológicas del frijol

La toma de datos de 4 estados de desarrollo del cultivo del frijol se detalla en el anexo 11, de ellos se deriva:

4.3.1 Formación de hojas primarias

Este estado del desarrollo de la planta del frijol pertenece a la tercera etapa de la fase vegetativa (V_2). Es donde se forma la mayor parte de su estructura vegetativa y como se aprecia en la figura 46 tuvo un valor promedio de: 12 días para el tratamiento T0, 11 días para los tratamientos T2, T3 y T4, y, finalmente, 10 días para el tratamiento T1.

De ello se puede observar que, a este número de días, no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

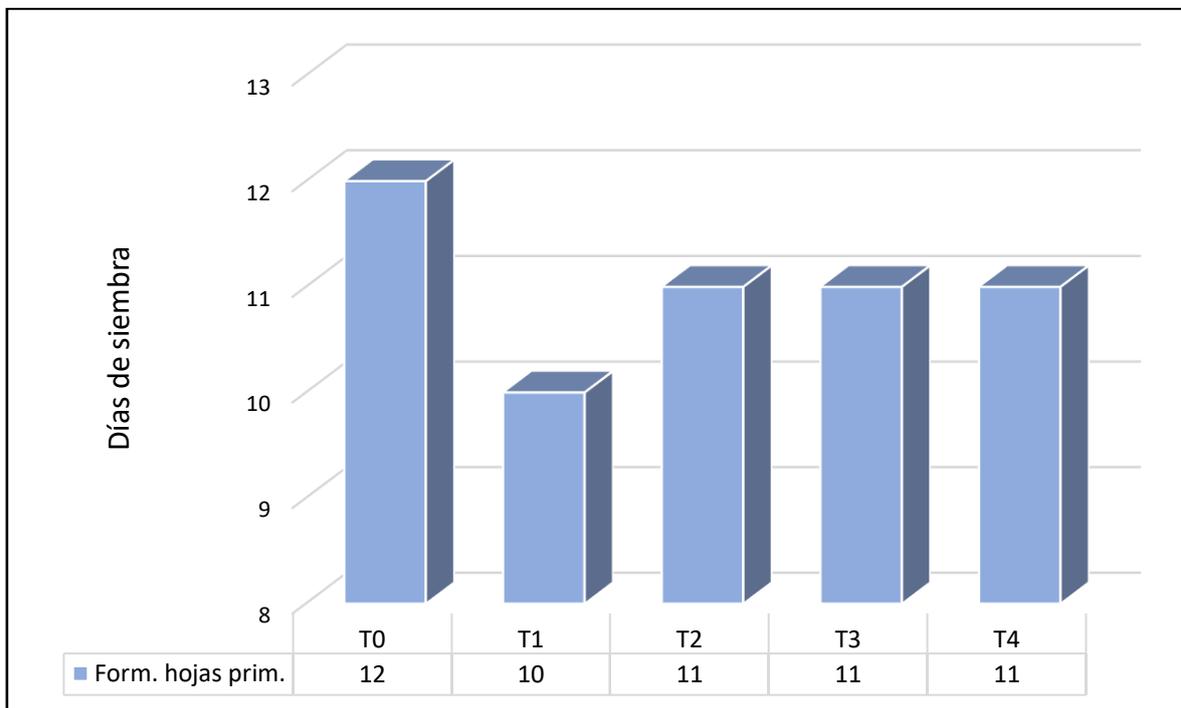


Figura 46: Formación de hojas primarias del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

4.3.2 Floración

La floración se inicia cuando aparece la primera flor abierta y la flor es fecundada (Camarena *et al.*, 2009) y pertenece a la segunda etapa de la fase reproductiva (R_6), dándose después de la prefloración (R_5), (CIAT, 1982). La figura 47 indica que los primeros que llegaron al estado de la floración en promedio fueron los tratamientos T1, T2 y T3 con 39 días después de la siembra, seguidos de T4 y T0 con 40 y 42 días, respectivamente. El PLGO (2008), precisa que la floración promedio del frijol canario es de 40 días después de la siembra.

En este resultado se puede apreciar que el tratamiento T0 difiere de los demás en 2 o 3 días aproximadamente. Cabe señalar que la diferencia de humedad del suelo causado por la presencia de poliacrilato de sodio ha influenciado en el resultado de alguna manera, puesto que las condiciones climáticas y agronómicas fueron por igual para todos los tratamientos.

Además, se estima que no hay diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4 a los días de floración de las plantas de frijol canario centenario.

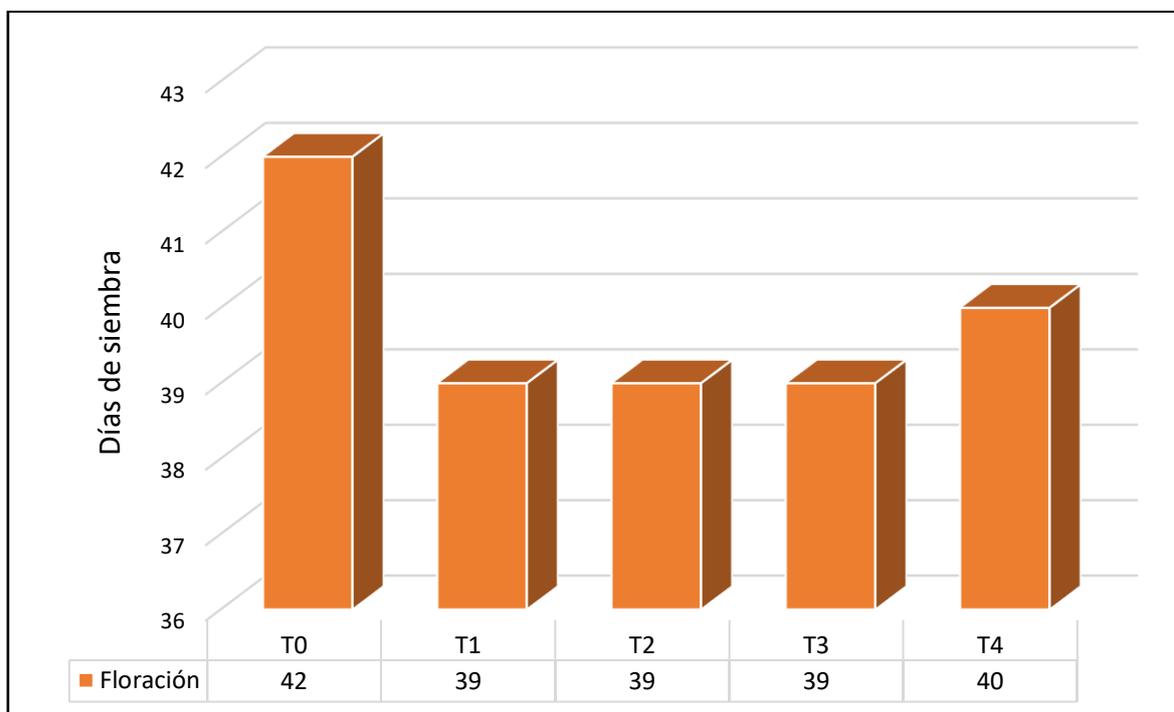


Figura 47: Floración del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

4.3.3 Formación de vainas

Esta fase inicia cuando la planta presenta la primera vaina (Camarena *et al.*,2009) y pertenece a la tercera etapa de la fase reproductiva (R_7), dándose después de la floración (R_6), (CIAT, 1982). En la figura 48 se observa que los primeros que llegaron al estado de la formación de vainas en promedio fueron los tratamientos T1, T2 y T3 con 46 días después de la siembra, seguido del T4 con 47 días, y, por último, el tratamiento T0 con 50 días después de la siembra.

El PLGO (2008), precisa que la formación de vainas promedio del frijol canario es de 45 días después de la siembra. Este resultado es en consecuencia del ítem 4.3.2., ya que se puede precisar que el tratamiento T0 difiere de los demás en 3 o 4 días aproximadamente, es decir, la diferencia de días se asentó a favor de los tratamientos con polímero.

Cabe señalar que la diferencia de humedad del suelo causado por la presencia de poliacrilato de sodio en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 ha influenciado en este resultado. Además, se observa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en mención a los días de formación de vainas.

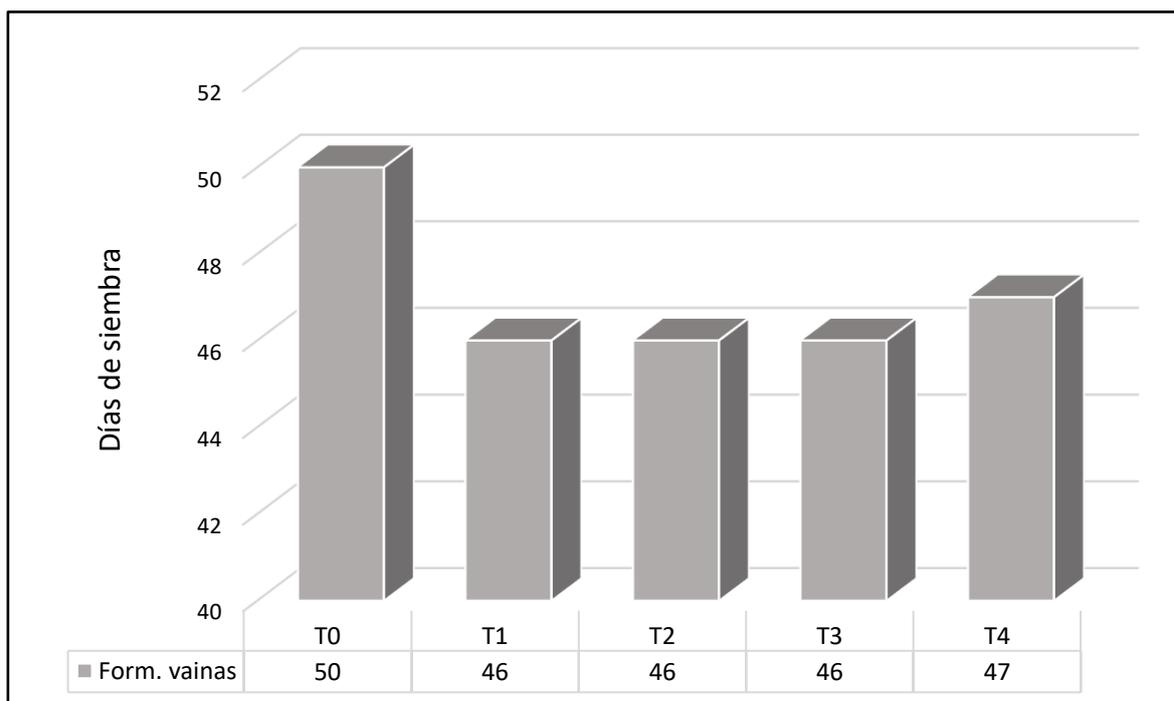


Figura 48: Formación de vainas del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

4.3.4 Madurez de cosecha

La maduración se caracteriza por la decoloración y el secado de vainas. Todas las partes de la planta se secan (Camarena *et al.*,2009) y pertenece a la quinta etapa de la fase reproductiva (R₉), dándose después de la formación de vainas (R₇) y el llenado de vainas (R₈), (CIAT, 1982). La figura 49 indica que el primero que llegó al estado de maduración en promedio fueron el tratamiento T4 con 88 días después de la siembra, seguidos de los tratamientos T1, T2 y T3 con 89 días, y, por último, el tratamiento T0 con 94 días después de la siembra. El PLGO (2008), sostiene que la maduración promedio del frijol canario es de 91 días.

Del resultado se puede concluir que el tratamiento T0 difiere de los demás en 5 o 6 días, es decir, la diferencia de días fue finalmente a favor de los tratamientos T1, T2, T3 y T4; los cuales mostraron una mayor precocidad.

Cabe destacar que la diferencia de humedad del suelo causado por la presencia de poliacrilato de sodio en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 ha influenciado en el estado de desarrollo del cultivo de frijol canario centenario. Conjuntamente, se observa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con polímero a los días de maduración.

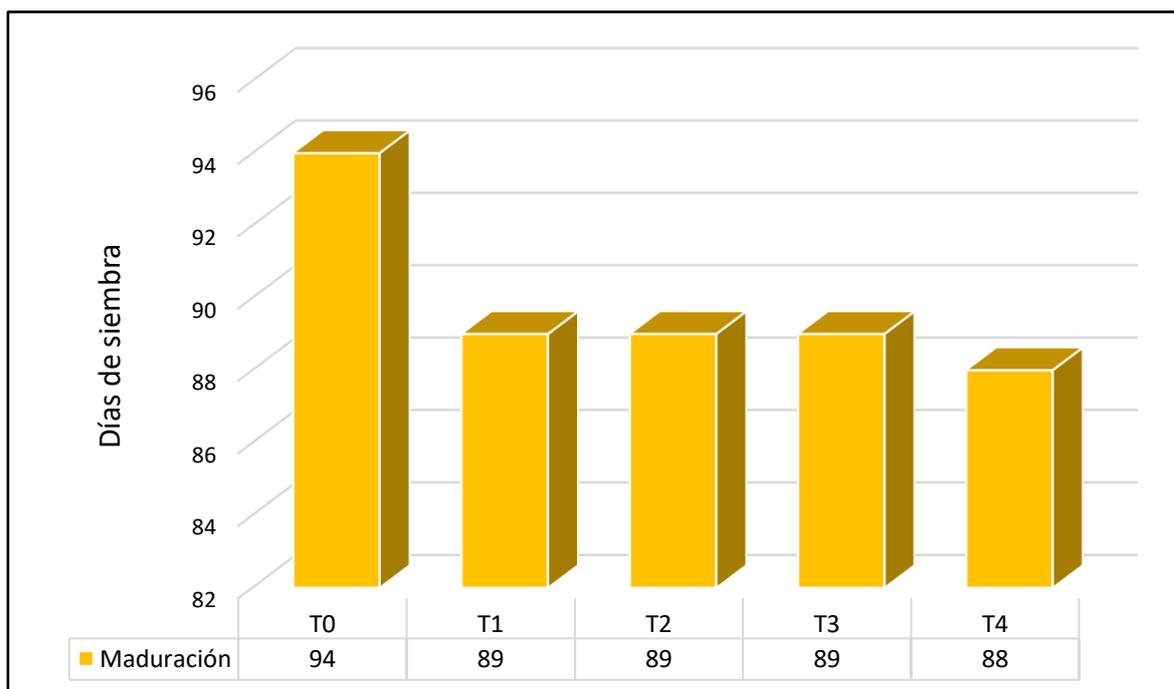


Figura 49: Maduración del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Si hacemos un resumen de los resultados de los estados mencionados anteriormente, de la figura 50 podemos concluir que los tratamientos T1, T2, T3 y T4; llegan a la maduración (R₉) entre los días 88 y 89 después de la siembra; es decir, no hay diferencia significativa en ninguno de los estados mencionados en los ítems 4.3.1., 4.3.2., 4.3.3. y 4.3.4. para deducir que la cantidad de poliacrilato de sodio influye en el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol canario centenario.

Sin embargo, al comparar cada uno de los tratamientos que contienen poliacrilato de sodio (T1, T2, T3 y T4) con el tratamiento T0 (testigo), la diferencia fue aumentando conforme fueron pasando los días de siembra. De tal manera que, para el estado de formación de hojas primarias estaban relativamente iguales; para la floración, la diferencia fue de 2 a 3 días; en el estado de formación de vainas, de 3 a 5 días y; finalmente, para la maduración, de 5 a 6 días.

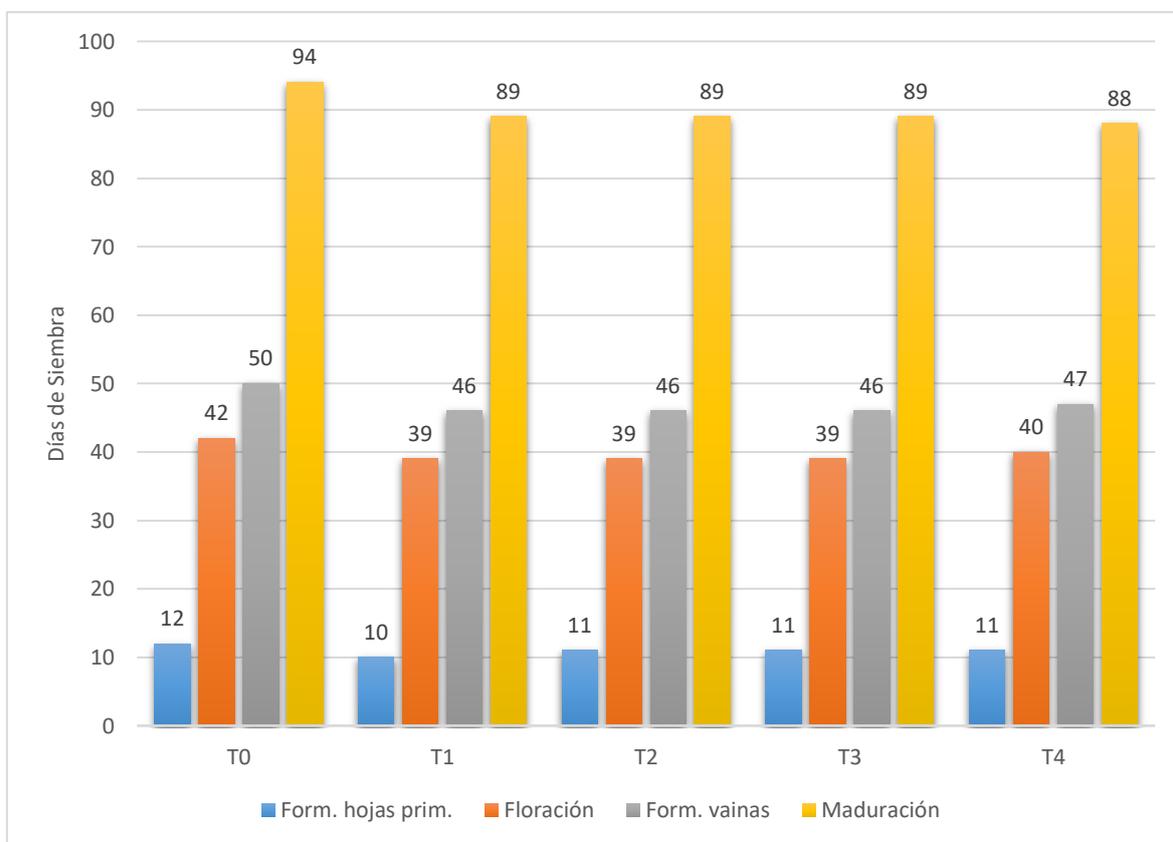


Figura 50: Fases de desarrollo del cultivo de frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

4.4 Longitud de raíces

Los resultados de las longitudes de raíces se muestran en la figura 51, estas se midieron en el último día de campaña de frijol canario centenario.

Comparando los tratamientos que contienen polímero en el suelo, el tratamiento T4 obtuvo la mayor media con 29.5 cm, seguidos por los tratamientos T3 y T2 con 28.9 y 27.4 cm respectivamente, y finalmente el tratamiento T1 con 27.1 cm. No obstante, el test de Tukey indica que no hay diferencia significativa entre estos tratamientos.

El tratamiento T0 obtuvo el menor valor para esta variable alcanzando los 25.3 cm, teniendo diferencias significativas con los tratamientos T3 y T4 según el análisis de medias.

La longitud de raíces de la planta muestra una notoria tendencia creciente conforme aumenta la dosificación de poliacrilato de sodio. Esto se puede aducir a que las raíces han necesitado un mayor esfuerzo para hallar y sustraer los nutrientes del suelo debido a que el polímero forma una capa impermeable, lo cual ocasiona que se expandan más en sentido horizontal para alcanzar los nutrientes.

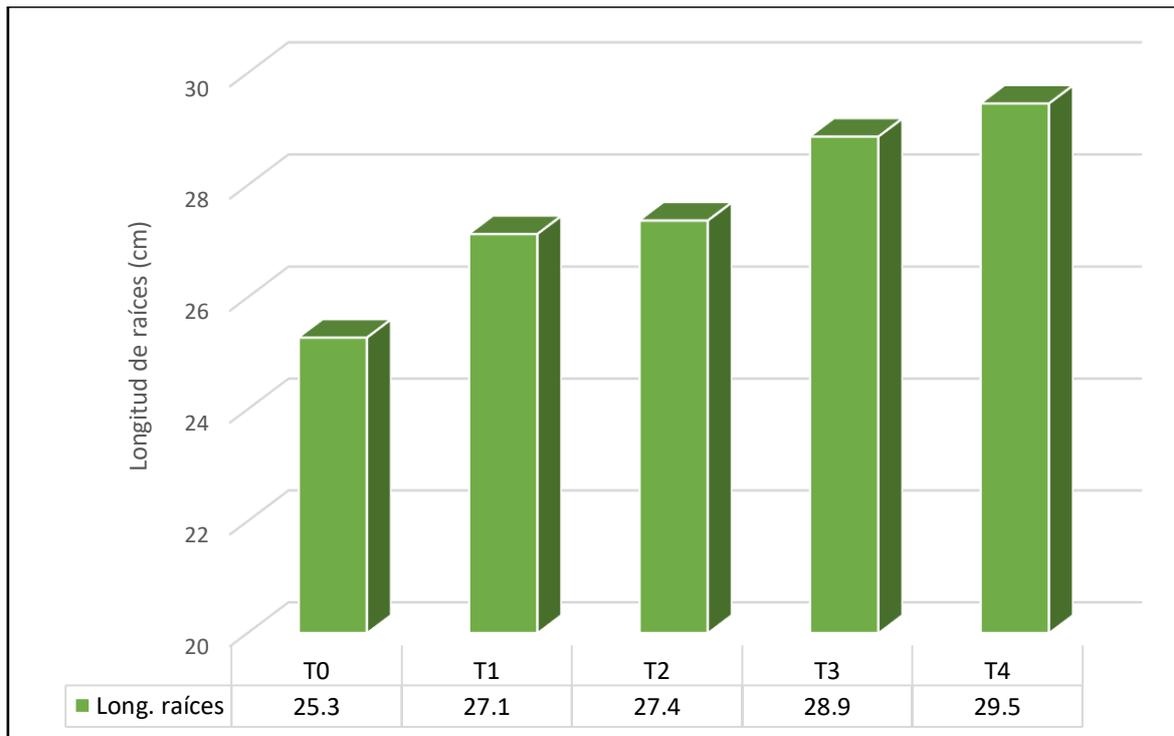


Figura 51: Longitud de raíces del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 27: Análisis de varianza de la longitud de raíces

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R ²	Aj	CV	
Long. Raíces	15	0.81	0.68	4.14	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45.86	6	7.64	5.86	0.0129
Tratamiento	32.07	4	8.02	6.14	0.0146
Bloque	13.79	2	6.90	5.28	0.0345
Error	10.44	8	1.31		
Total	56.30	14			

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa de la tabla 27, hay una diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor $p=0.0146$, es menor a 0.05 pero mayor a 0.01 del valor de significación; así como también en los bloques existe una diferencia significativa, pues el valor $p=0.0345$ se encuentra en el rango de 0.01 a 0.05 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 4.14 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

La tabla 28 muestra la prueba Shapiro-Wilks, donde el valor de p es 0.6874, valor mayor a 0.05. Así como también la recta de la regresión en la figura 52 muestra que los puntos se distribuyen sobre la recta, es decir, existe una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.983. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, concluyendo que los residuos de la variable se distribuyen con normalidad.

Tabla 28: Prueba Shapiro – Wilks de la longitud de raíces

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Long. Raíces	15	0	0.86	0.95	0.6874

FUENTE: Elaboración propia

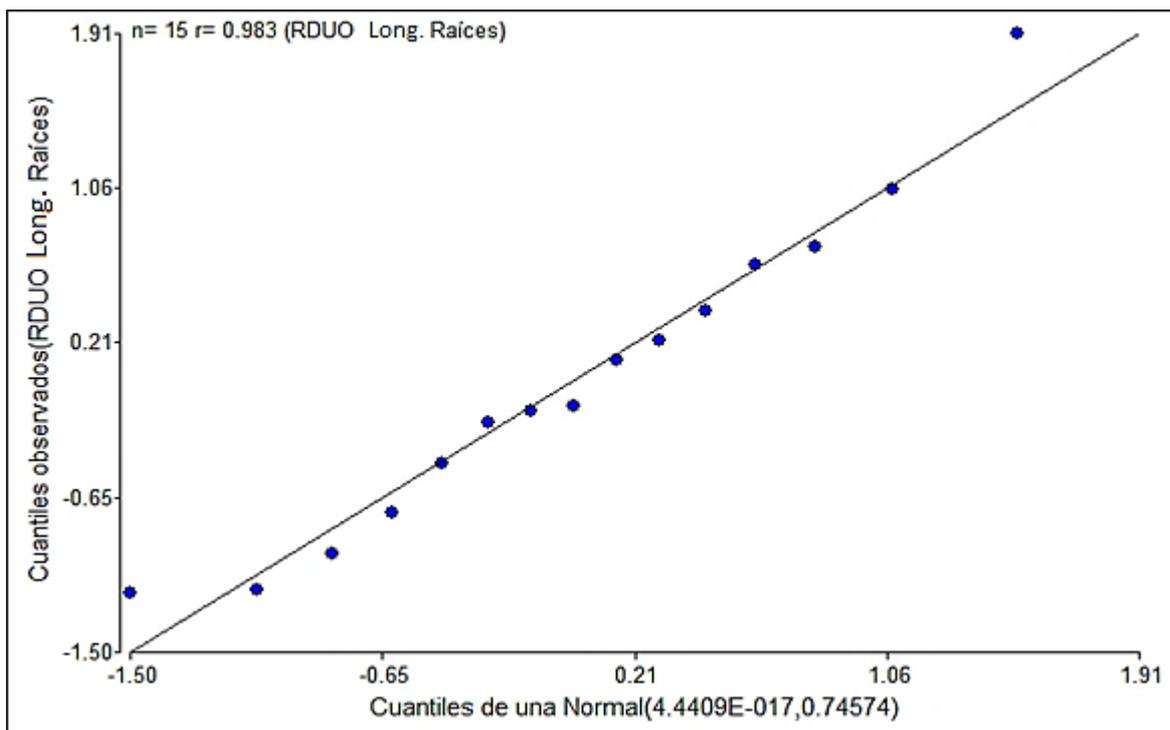


Figura 52: Q-q plot de los residuos de la longitud de raíces

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

La tabla 29 presenta la prueba de Levene, en el cual se obtiene un valor de p igual a 0.0672 entre los tratamientos y de 0.1317 entre bloques, por lo que las varianzas son homogéneas o constantes. Adicionalmente, la figura 53 muestra que los puntos no forman un cono o campana marcado. Por lo tanto, los datos satisfacen las hipótesis de linealidad y homocedasticidad o igualdad de varianzas; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son correctos.

Tabla 29: Prueba de Levene de la longitud de raíces

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RABS Long. Raíces	15	0.70	0.48	54.60	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.54	6	0.42	3.13	0.0694
Tratamiento	1.83	4	0.46	3.38	0.0672
Bloque	0.71	2	0.36	2.64	0.1317
Error	1.08	8	0.14		
Total	3.63	14			

FUENTE: Elaboración propia

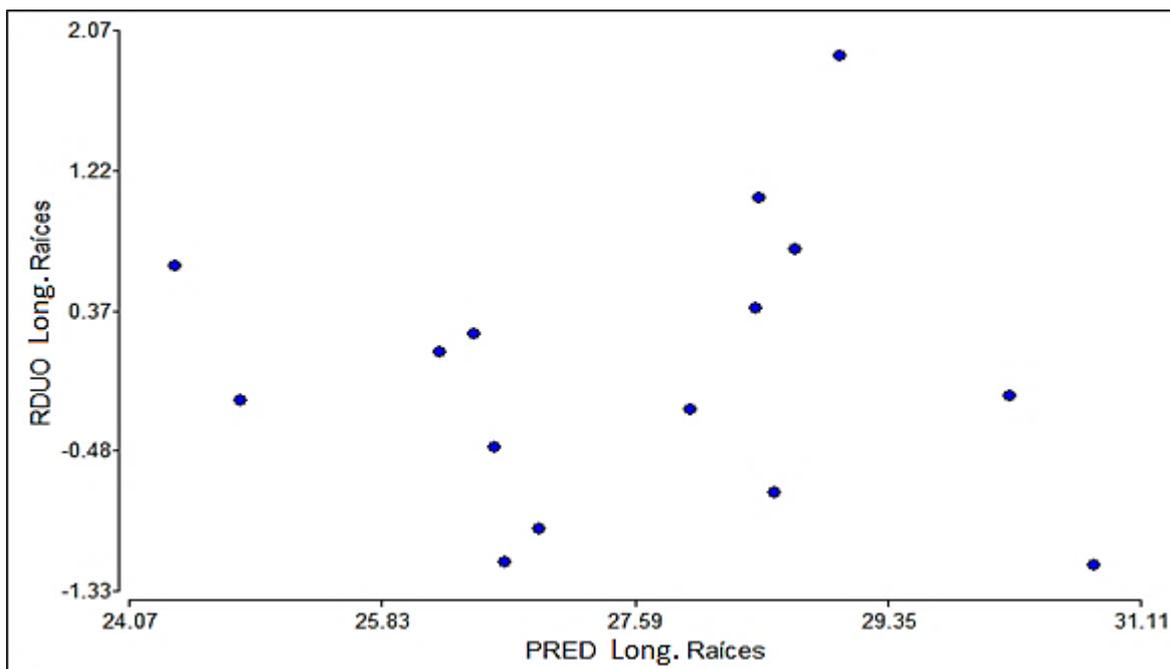


Figura 53: Prueba de homogeneidad de varianzas de la longitud de raíces

FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

El DMS obtenido en el test de Tukey es de 3.22244. En la tabla 30, la prueba de comparación de medias expone que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, ya que poseen una clasificación A. Sin embargo, los tratamiento T3 y T4 con respecto al T0, si existe diferencia significativa al obtener este último una clasificación tipo B (ver figura 54). Adicionalmente, se presenta el diagrama de cajas en la figura 55 donde se visualiza como se distribuyen sus valores extremos y posición de la media y mediana.

Tabla 30: Prueba de Tukey para la longitud de raíces

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.22244				
Error: 1.3050	Gl: 8			
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	29.46	3	0.66	A
T3	28.87	3	0.66	A
T2	27.37	3	0.66	A B
T1	27.13	3	0.66	A B
T0	25.28	3	0.66	B

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

FUENTE: Elaboración propia

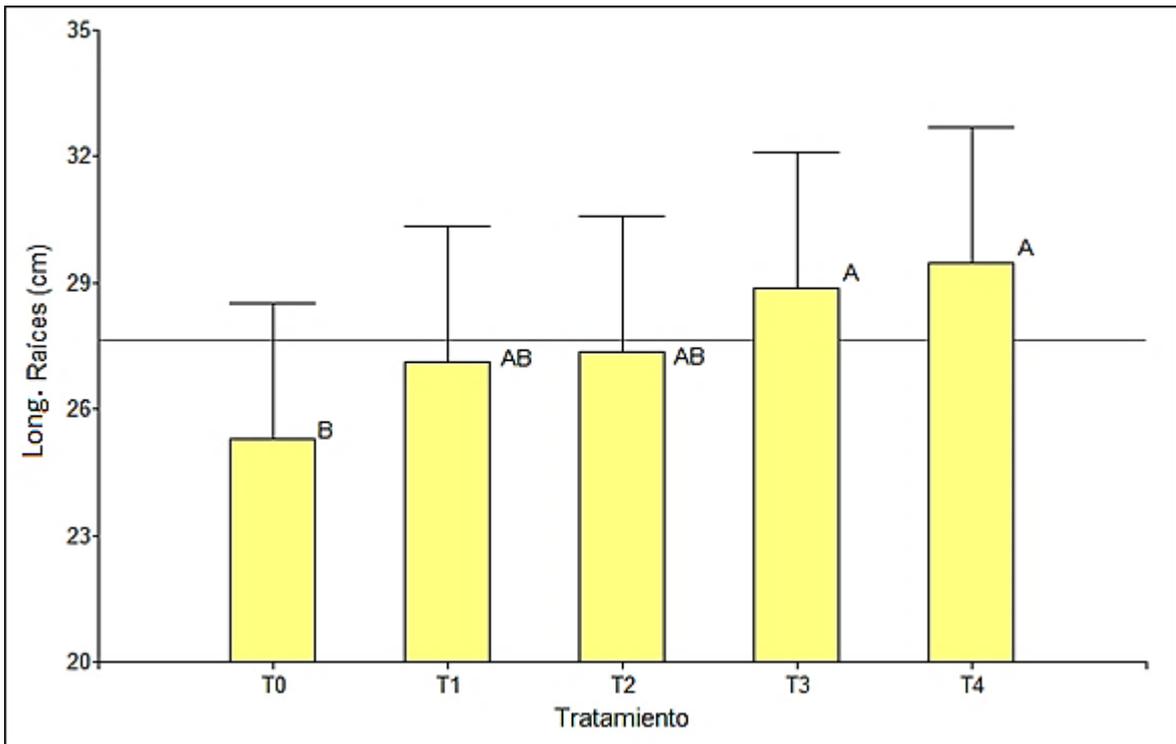


Figura 54: Análisis de medias de la longitud de raíces

FUENTE: Elaboración propia

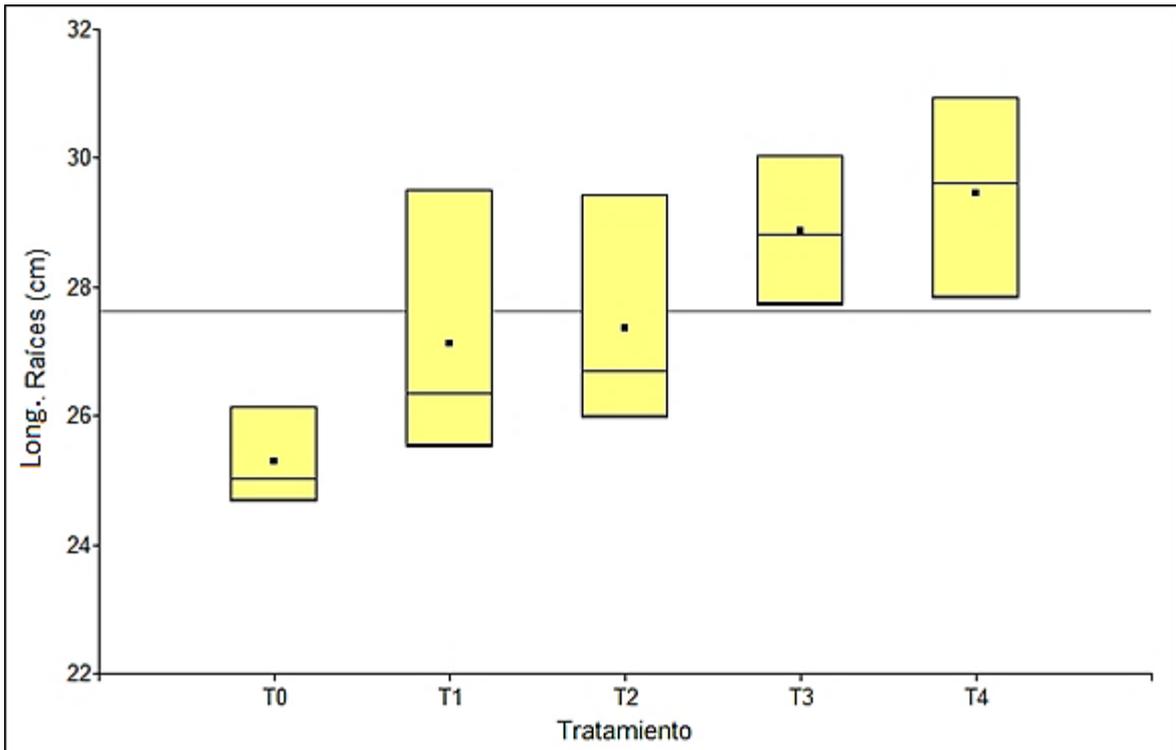


Figura 55: Diagrama de cajas de la longitud de raíces

Fuente: Elaboración propia

4.5 Altura de planta

La figura 56 presenta la altura de la planta de los tratamientos del cultivo de frijol canario centenario, siendo el tratamiento T3 el que obtiene el mayor promedio con 52.1 cm, seguido por el tratamiento T4, el cual alcanzó una altura promedio de 51.7 cm, asimismo los T1 y T2 obtuvieron 51.0 y 50.6 cm, respectivamente. Por último, el promedio más bajo fue para el tratamiento T0 con 49.1 cm.

Al analizar solo los tratamientos que contienen polímero (T1, T2, T3 y T4), podemos deducir que no hay diferencia significativa entre los tratamientos; es decir, la diferencia de dosis de poliacrilato de sodio no obtiene influencia significativa en el parámetro altura de planta según la prueba de Tukey. Sin embargo, el tratamiento T0 tiene diferencias significativas solo con el tratamiento T3, mas no con los demás. El de sembrar 2 semillas por golpe pudo estimular la competencia entre plantas, por lo que el crecimiento de ellas fue similar.

Bedoya (1996) y Falcón (2001) precisan que el promedio de altura de planta para el frijol canario centenario es de 50 cm. Así como también el PLGO (2008) establece que este parámetro varía entre 50 y 60 cm; por lo que el resultado de la presente investigación está dentro de lo que determina la bibliografía consultada.

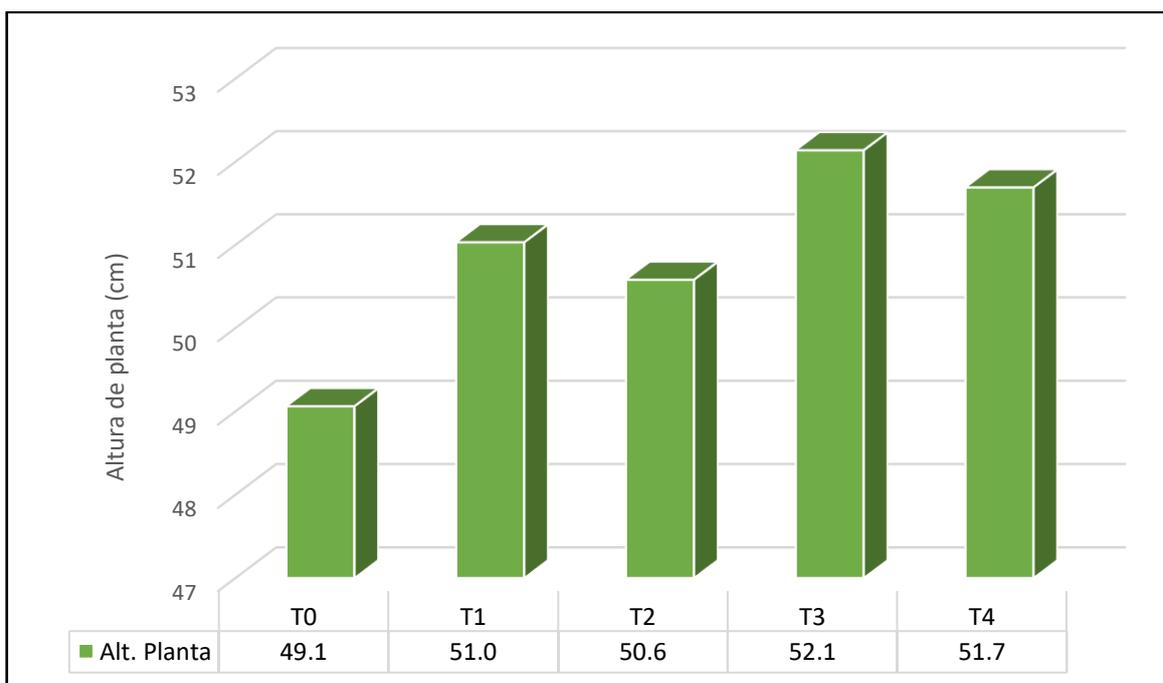


Figura 56: Altura de planta del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 31: Análisis de varianza de la altura de planta

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R²	Aj	CV	
Alt. Planta	15	0.86	0.76	1.92	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47.83	6	7.97	8.32	0.0043
Tratamiento	16.98	4	4.24	4.43	0.0351
Bloque	30.85	2	15.43	16.11	0.0016
Error	7.66	8	0.96		
Total	55.49	14			

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa de la tabla 31, hay ciertas diferencias significativas entre los tratamientos, ya que el valor $p=0.0351$, es menor a 0.05 y mayor a 0.01 del valor de significación, no obstante, entre los bloques existe una alta diferencia significativa, pues el valor $p=0.0016$ es menor a 0.01 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 1.92 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

En la tabla 32 se aprecia la prueba Shapiro-Wilks, donde el valor de p es 0.0380, valor inferior a 0.05 pero mayor a 0.01. Sin embargo, la recta de regresión en la figura 57 muestra que los puntos se ordenan sobre la recta, vale decir, existe una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.953. Consecuentemente, se acepta la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, afirmando que los residuos del modelo de la variable se distribuyen normalmente.

Tabla 32: Prueba Shapiro–Wilks de la altura de planta

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Alt. Planta	15	0.00	0.74	0.86	0.0380

FUENTE: Elaboración propia

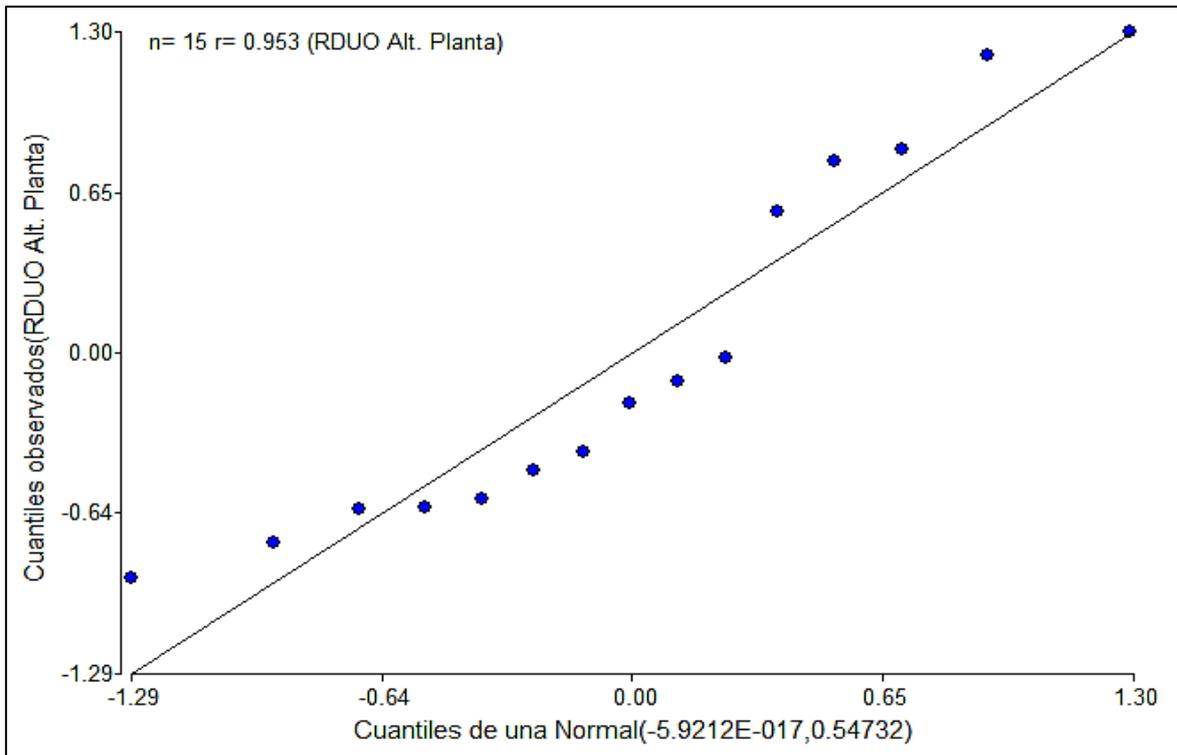


Figura 57: Q-q plot de los residuos de la altura de planta

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

La tabla 33 presenta la prueba de Levene, donde se obtiene un valor de p igual a 0.5632 entre los tratamientos y un valor de 0.7491 entre bloques, entonces se afirma que las varianzas son homogéneas o constantes. Consiguientemente, en la figura 58 se observa que los puntos no forman un cono marcado. Por lo que se afirma que los valores de las varianzas se distribuyen homogéneamente y no hay problemas de heteroscedasticidad; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son acertados.

Tabla 33: Prueba de Levene de la altura de planta

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RABS Alt. Planta	15	0.32	0.00	63.65	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.59	6	0.10	0.63	0.7071
Tratamiento	0.50	4	0.12	0.79	0.5632
Bloque	0.09	2	0.05	0.30	0.7491
Error	1.26	8	0.16		
Total	1.85	14			

FUENTE: Elaboración propia

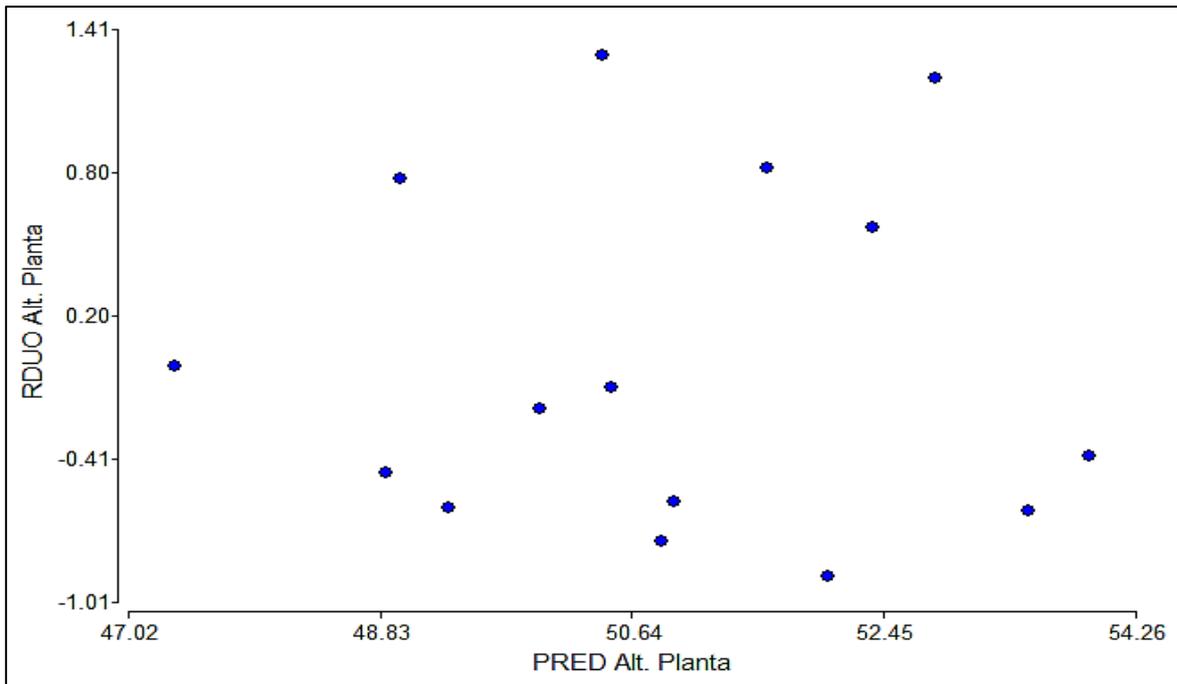


Figura 58: Prueba de homogeneidad de varianzas de la altura de planta

FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

La tabla 34 muestra la prueba de comparación de medias de Tukey, obteniendo un DMS igual a 2.76066. Este precisa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, puesto que poseen la misma clasificación A. Pero si comparamos los tratamientos T0 con T3, deducimos que hay una diferencia significativa entre ellos, ya que este último tiene una clasificación B (ver figura 59). Además, se presenta el diagrama de cajas en la figura 60 donde se observa como se distribuyen sus valores extremos y posición de la media y mediana.

Tabla 34: Prueba de Tukey para la altura de planta

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.76066				
Error: 0.9578	Gl: 8			
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T3	52.14	3	0.57	A
T4	51.69	3	0.57	A B
T1	51.03	3	0.57	A B
T2	50.58	3	0.57	A B
T0	49.06	3	0.57	B

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

FUENTE: Elaboración propia

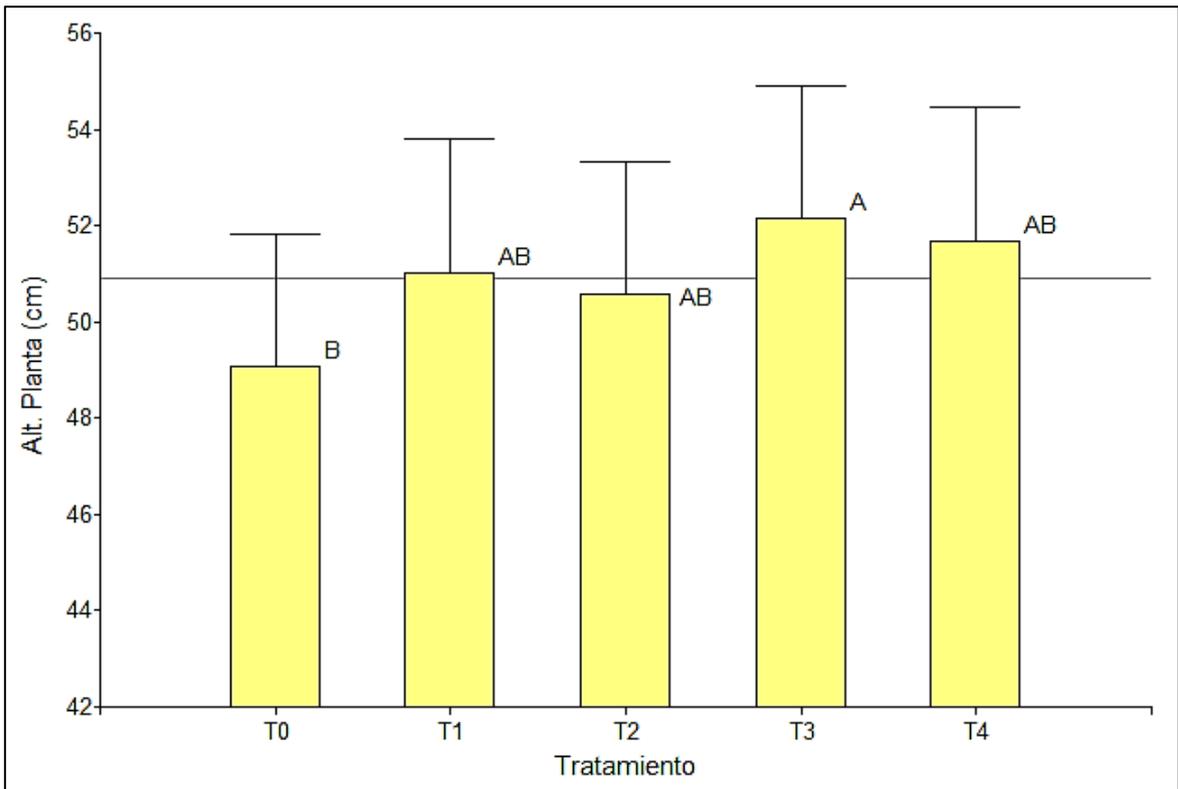


Figura 59: Análisis de medias de la altura de planta

FUENTE: Elaboración propia

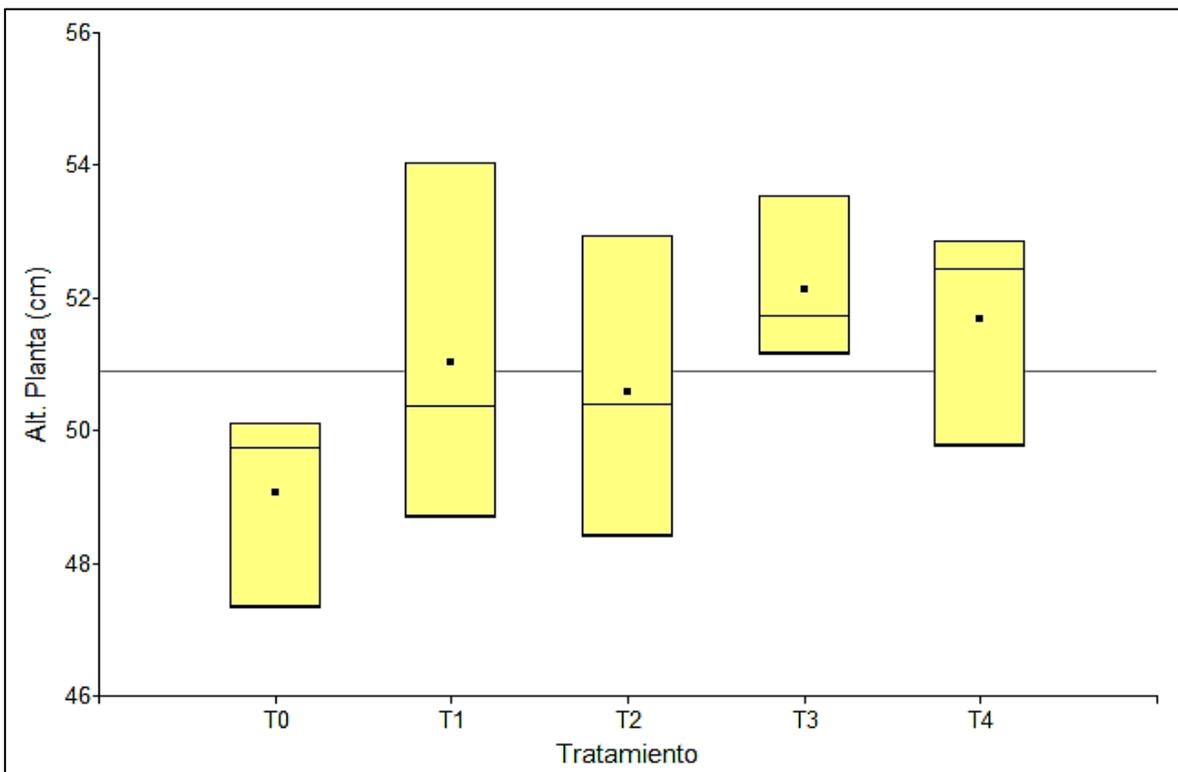


Figura 60: Diagrama de cajas de la altura de planta

FUENTE: Elaboración propia

4.6 Área foliar

A primera vista, un cultivo se ve reflejado en el desarrollo, estado, color y cantidad de hojas. Para relacionarlo, la figura 61 grafica los resultados obtenidos del área foliar bajo riego por goteo del cultivo del frijol canario centenario, siendo el tratamiento T1 el que obtuvo la mayor media con 1443 cm², seguido por el T4, el cual alcanzó los 1426 cm², asimismo, los tratamientos T2 y T3 obtuvieron 1406 y 1369 cm² respectivamente. Por último, el promedio más bajo fue para el tratamiento T0 con 1310 cm².

Comparando los tratamientos que contienen polímero (T1, T2, T3 y T4), podemos deducir según el test de Tukey que no hay diferencias significativas entre ellos, es decir, la cantidad de poliacrilato de sodio en el suelo no tiene influencia significativa para esta variable.

No obstante, el análisis de medias precisa que el tratamiento T0 (testigo), tiene diferencia significativa con los tratamientos T1 y T4, puesto que estos resultaron favorecidos en el desarrollo de hojas y su mejor captación de luz para la fotosíntesis, así como también para la respiración y transpiración de la planta. Esta diferencia es debido a que el poliacrilato de sodio en el suelo favorece la mejor absorción de agua para la planta y condiciona el desarrollo de sus hojas.

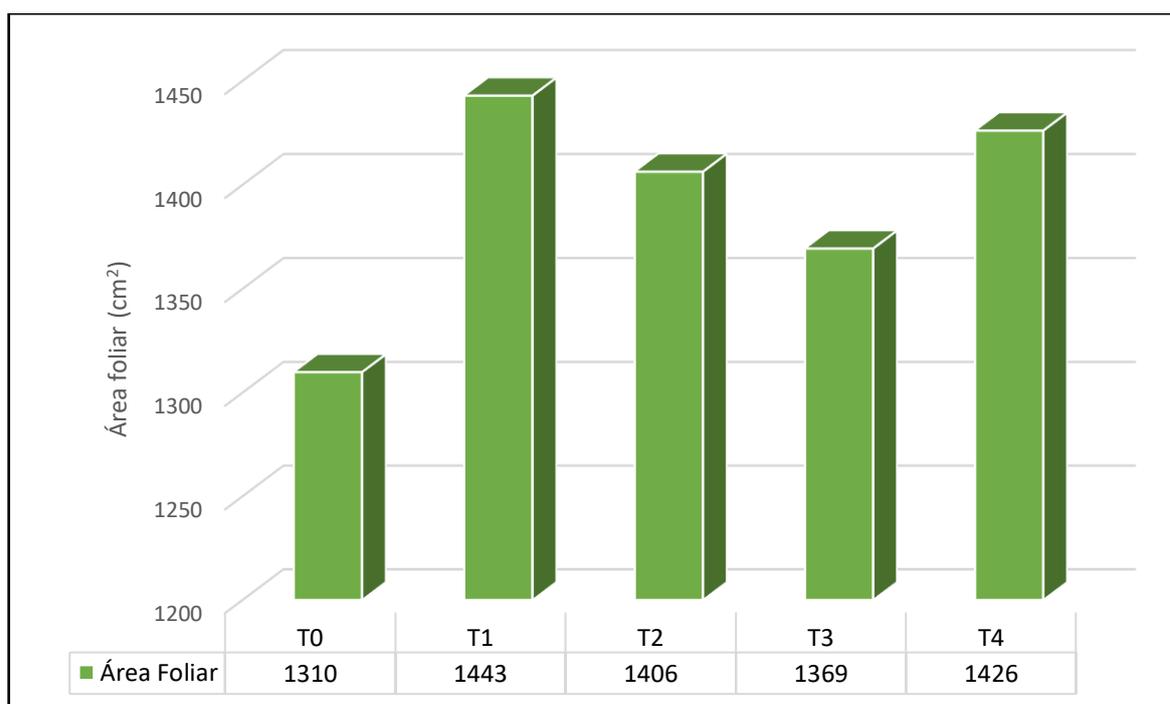


Figura 61: Área foliar del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 35: Análisis de varianza del área foliar

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R ²	Aj	CV	
Área Foliar	15	0.79	0.63	2.95	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50863.12	6	8477.19	5.04	0.0199
Tratamiento	33606.16	4	8401.54	5.00	0.0258
Bloque	17256.96	2	8628.48	5.13	0.0368
Error	13453.44	8	1681.68		
Total	64316.56	14			

FUENTE: Elaboración propia

Como se distingue en la tabla 35, existe cierta diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor de $p=0.0258$ es menor a 0.05 y mayor a 0.01 del valor de significación; al igual que en los bloques también existe una diferencia significativa, puesto que el valor $p=0.0368$ es menor a 0.05 y mayor a 0.01 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 2.95 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

La tabla 36 presenta la prueba Shapiro-Wilks, donde el valor de p es 0.8898, valor superior a 0.05. Además de ello, la recta de regresión en la figura 62 muestra que los puntos se distribuyen sobre la recta; por lo tanto, existe una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.985. Por lo anunciado anteriormente, no se rechaza la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, concluyendo que los residuos de la variable se distribuyen con normalidad.

Tabla 36: Prueba Shapiro–Wilks del área foliar

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Área Foliar	15	0.00	31.00	0.97	0.8898

FUENTE: Elaboración propia

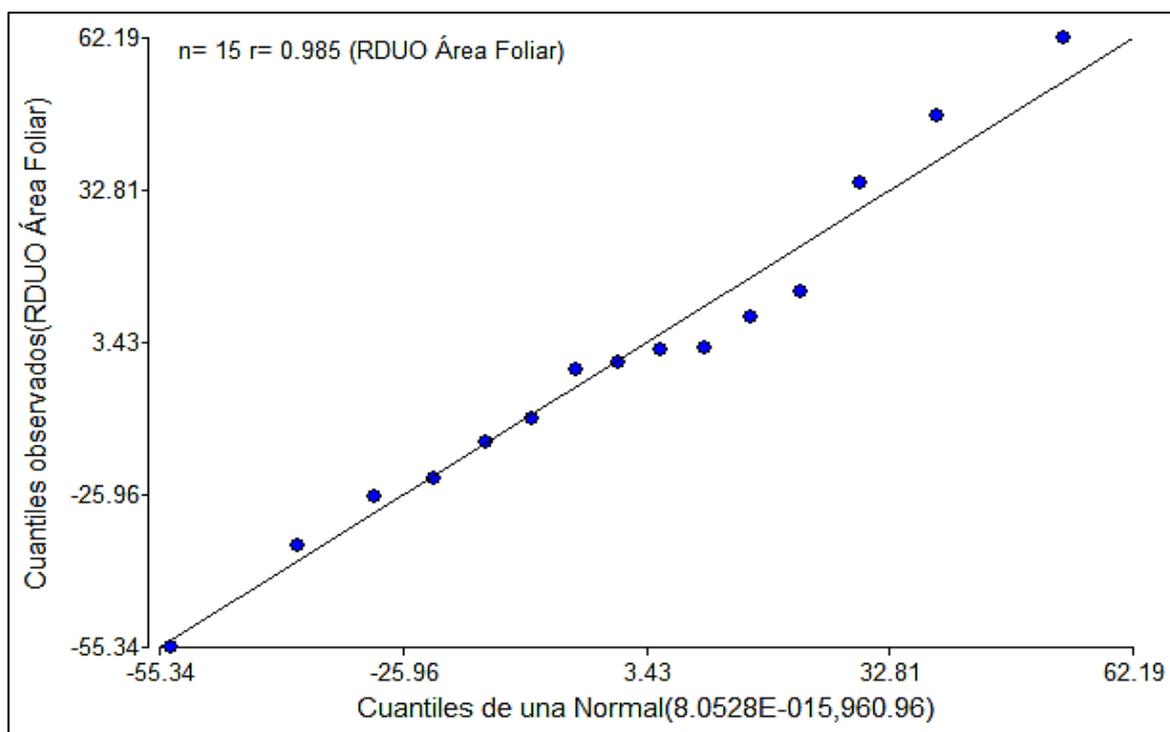


Figura 62: Q-q plot de los residuos del área foliar

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

La tabla 37 presenta la prueba de Levene, en el cual se obtiene un valor de p igual a 0.0683 entre los tratamientos, así como también de 0.0683 entre los bloques, por lo que las varianzas son homogéneas o constantes. Además, la figura 63 muestra que los puntos no forman un cono o campana marcado. Por lo tanto, se concluye que los datos satisfacen las hipótesis de linealidad y homocedasticidad; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son correctos.

Tabla 37: Prueba de Levene del área foliar

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RABS Área Foliar	15	0.64	0.37	71.03	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3714.34	6	619.06	2.40	0.1255
Tratamiento	3461.78	4	865.44	3.35	0.0683
Bloque	252.56	2	126.28	0.49	0.6303
Error	2064.98	8	258.12		
Total	5779.31	14			

FUENTE: Elaboración propia

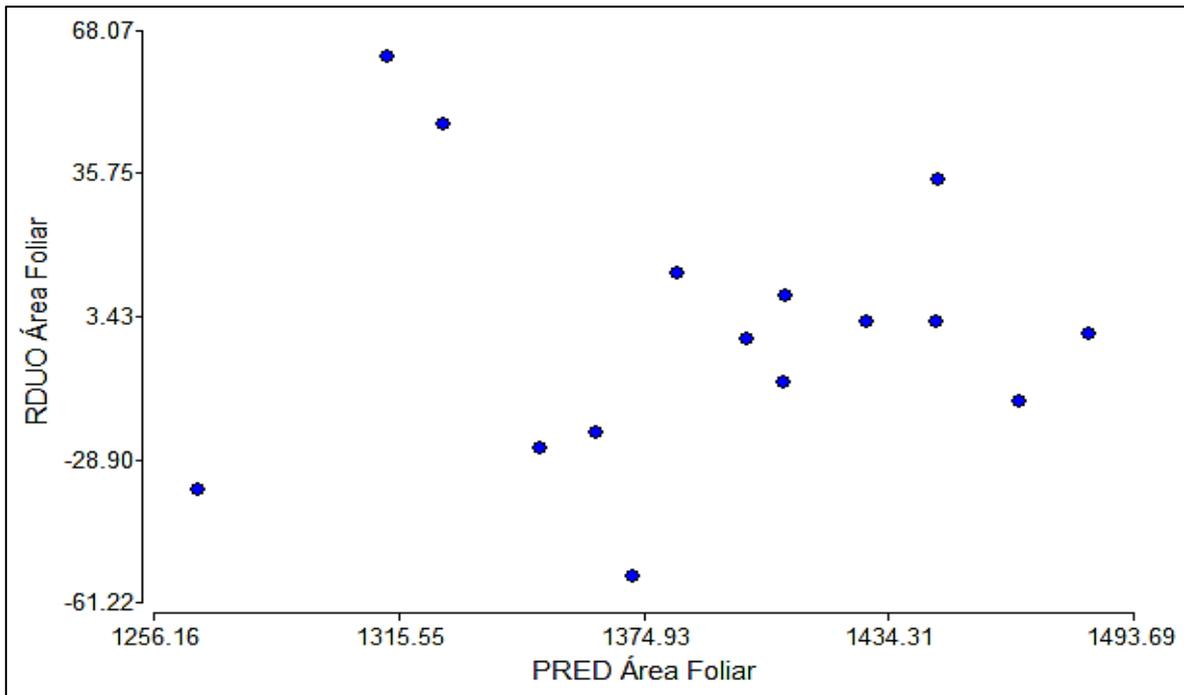


Figura 63: Prueba de homogeneidad de varianzas del área foliar

FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

El DMS obtenido en el test de Tukey es de 115.67583. En la tabla 38, la prueba de comparación de medias, muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, ya que todos poseen una clasificación A. No obstante, si comparamos los tratamientos T0 con T1 y T4, deducimos que hay una diferencia significativa entre ellos, ya que este último tiene una clasificación B (ver figura 64). Adicionalmente, se presenta el diagrama de cajas en la figura 65 donde se visualiza como se distribuyen sus valores extremos por tratamiento y posición de la media y mediana.

Tabla 38: Prueba de Tukey del área foliar

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=115.67583				
Error: 1681.6795	Gl: 8			
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	1442.84	3	23.68	A
T4	1426.01	3	23.68	A
T2	1406.28	3	23.68	A B
T3	1369.33	3	23.68	A B
T0	1309.85	3	23.68	B

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

FUENTE: Elaboración propia

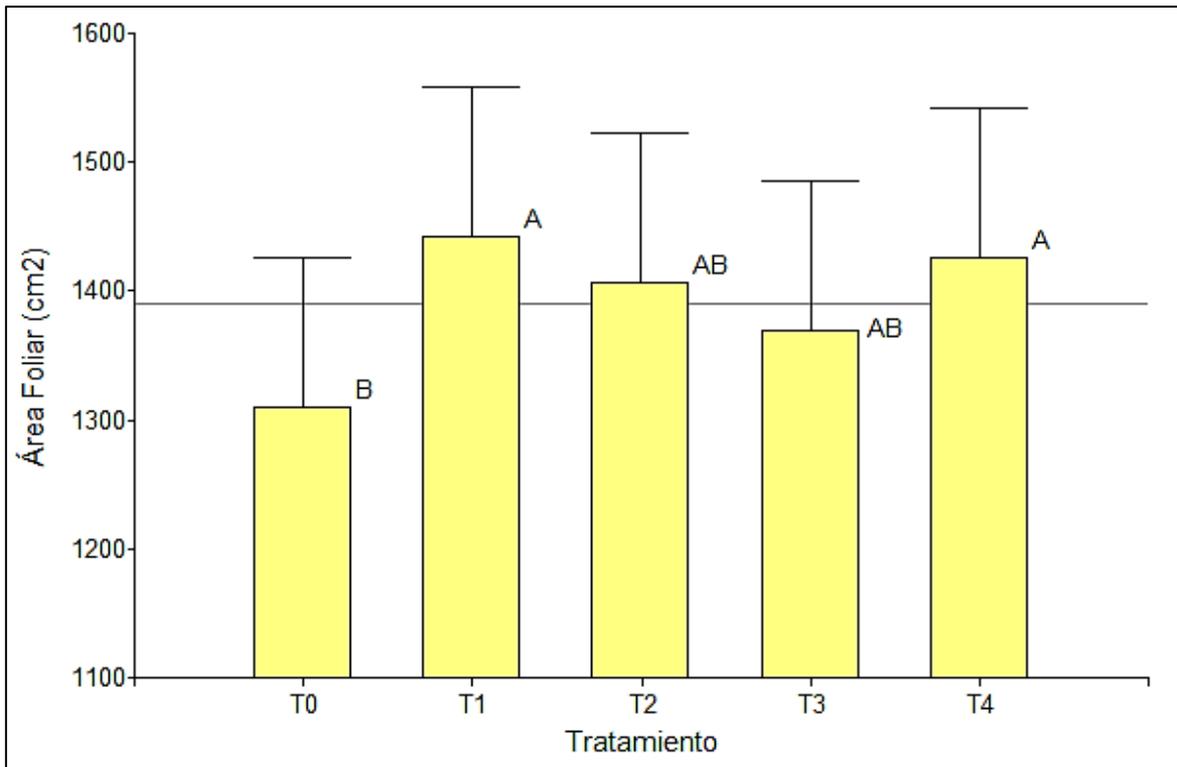


Figura 64. Análisis de medias del área foliar

FUENTE: Elaboración propia

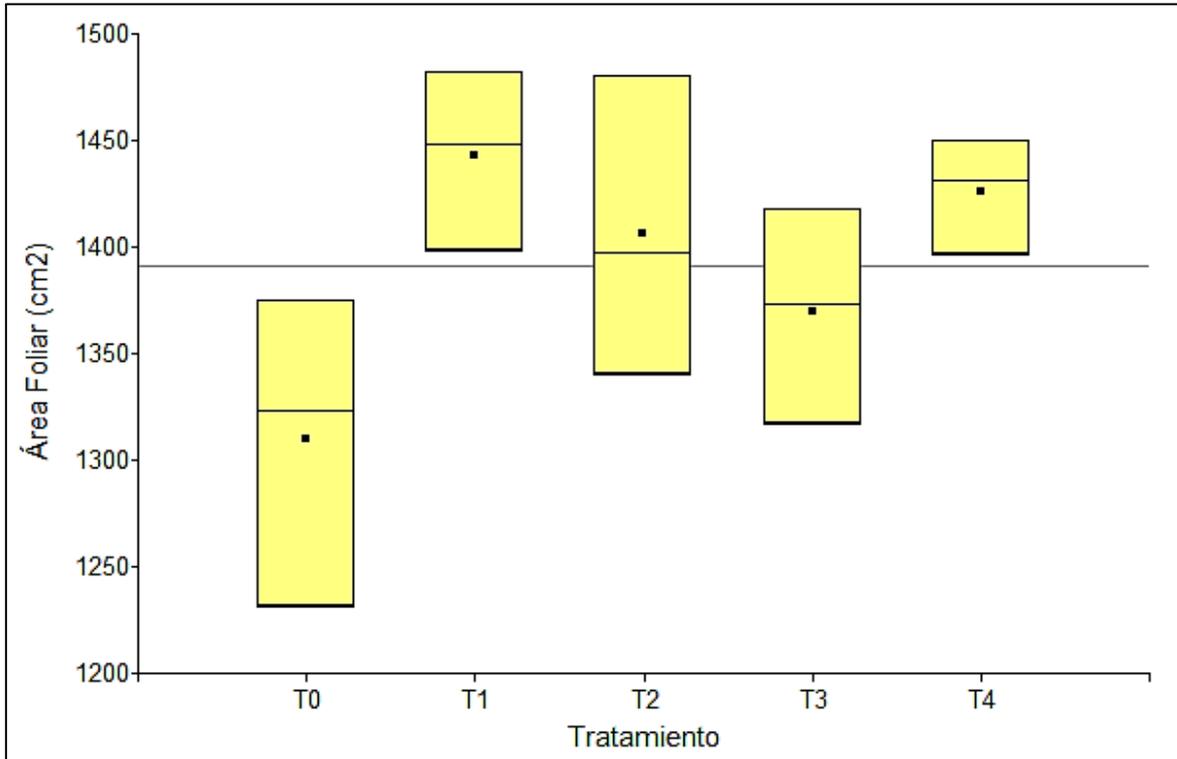


Figura 65: Diagrama de cajas del área foliar

FUENTE: Elaboración propia

4.7 Número de vainas

La figura 66 muestra los valores alcanzados de cada tratamiento concerniente al número de vainas del cultivo de frijol canario centenario, el cual registró sus máximos valores en los tratamientos T2, T1, T4 y T3 con 29, 28, 28 y 27 vainas/planta, respectivamente, superando todos los anteriores al tratamiento T0 (testigo), que registró un promedio de 24 vainas/planta.

Se destaca que los tratamientos T1, T2, T3 y T4, los cuales contienen polímero en el suelo, no tienen diferencias significativas entre ellos según la prueba de Tukey, pero los tratamientos T2 y T1 si lo determinan sobre el T0, superándolo hasta en un 21 por ciento. De esta manera, se reafirma lo sustentado por Rico (2014), ya que el polímero insertado en el suelo, favorece el desarrollo del cultivo, incluyendo a sus parámetros biométricos de producción como es el número de vainas.

El PLGO (2008) precisa que el frijol canario centenario alcanza un total de número de vainas que oscila en el rango de 15-30 vainas/planta. Por lo tanto, el resultado obtenido está dentro de lo que sustenta la bibliografía consultada, situándose en un promedio alto dentro del rango.

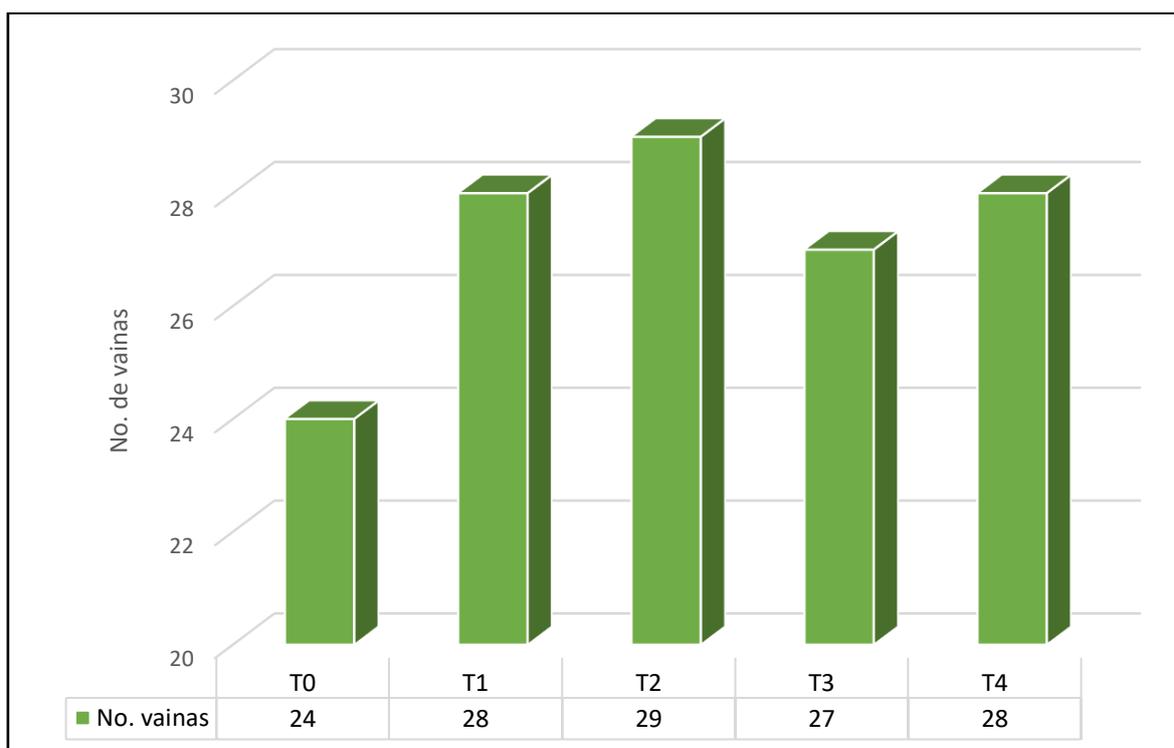


Figura 66: Número de vainas del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 39: Análisis de varianza del No. de vainas

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R²	Aj	CV	
No. de Vainas	15	0.82	0.69	6.02	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	96.16	6	16.03	6.17	0.0110
Tratamiento	55.30	4	13.83	5.33	0.0217
Bloque	40.86	2	20.43	7.87	0.0129
Error	20.77	8	2.60		
Total	116.93	14			

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa de la tabla 39, hay cierta diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor $p=0.0217$, es menor a 0.05 pero mayor a 0.01 del valor de significación, y así como entre los bloques existe una diferencia significativa, puesto que el valor $p=0.0129$ se encuentra en el rango de 0.01 a 0.05 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 6.02 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

En la tabla 40 se aprecia la prueba Shapiro-Wilks, en donde el valor de p es 0.2481, el cual es mayor a 0.05. Adicionalmente, la recta de regresión de la figura 67 grafica que los puntos se alinean sobre la recta; por lo que existe una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.979. Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, dado que los residuos de la variable se distribuyen normalmente.

Tabla 40: Prueba Shapiro–Wilks del No. de vainas

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO No. de Vainas	15	0.00	1.22	0.91	0.2481

FUENTE: Elaboración propia

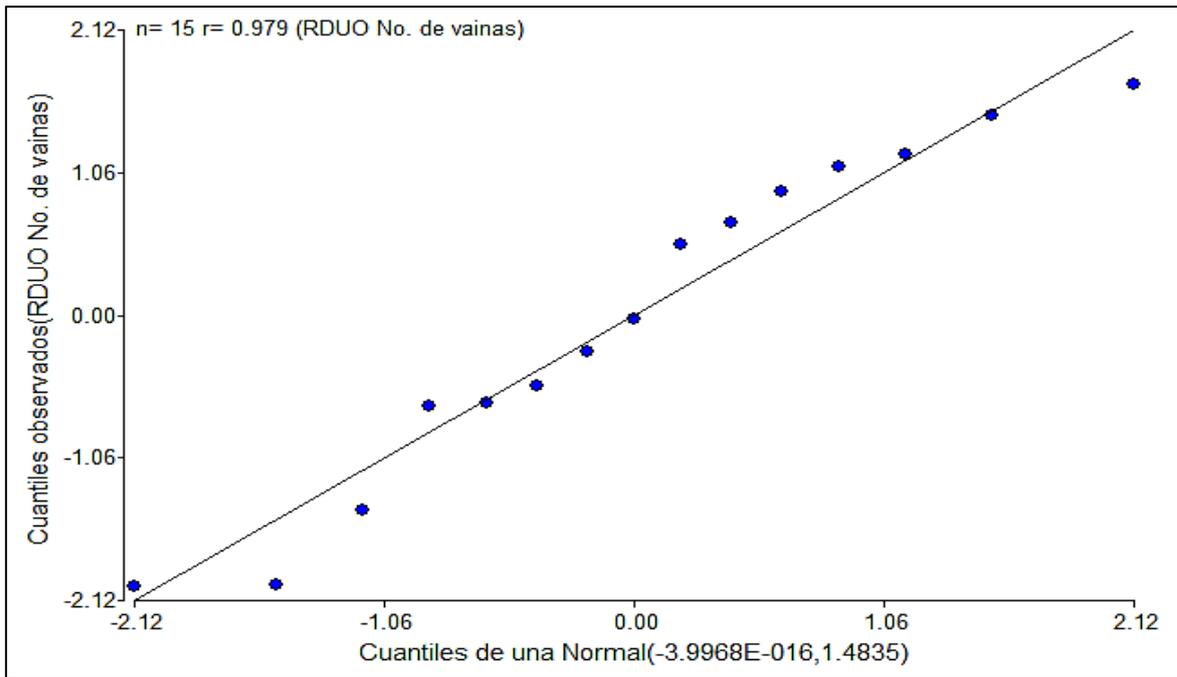


Figura 67: Q-q plot de los residuos del No. de vainas

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

La tabla 41 muestra el test de Levene, en el cual se tiene un valor de p igual a 0.3942 entre los tratamientos, y 0.5260 entre los bloques; esto quiere decir que las varianzas son homogéneas o constantes. Adicionalmente, la figura 68 grafica que, los puntos no forman un cono o campana marcado; de lo cual, se afirma que los valores de las varianzas se distribuyen homogéneamente y no hay problemas de heteroscedasticidad; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son acertados.

Tabla 41: Prueba de Levene del No. de vainas

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RABS No. de Vainas	15	0.43	0.00	60.36	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.28	6	0.38	1.01	0.4807
Tratamiento	1.75	4	0.44	1.17	0.3942
Bloque	0.52	2	0.26	0.70	0.5260
Error	3.01	8	0.38		
Total	5.29	14			

FUENTE: Elaboración propia

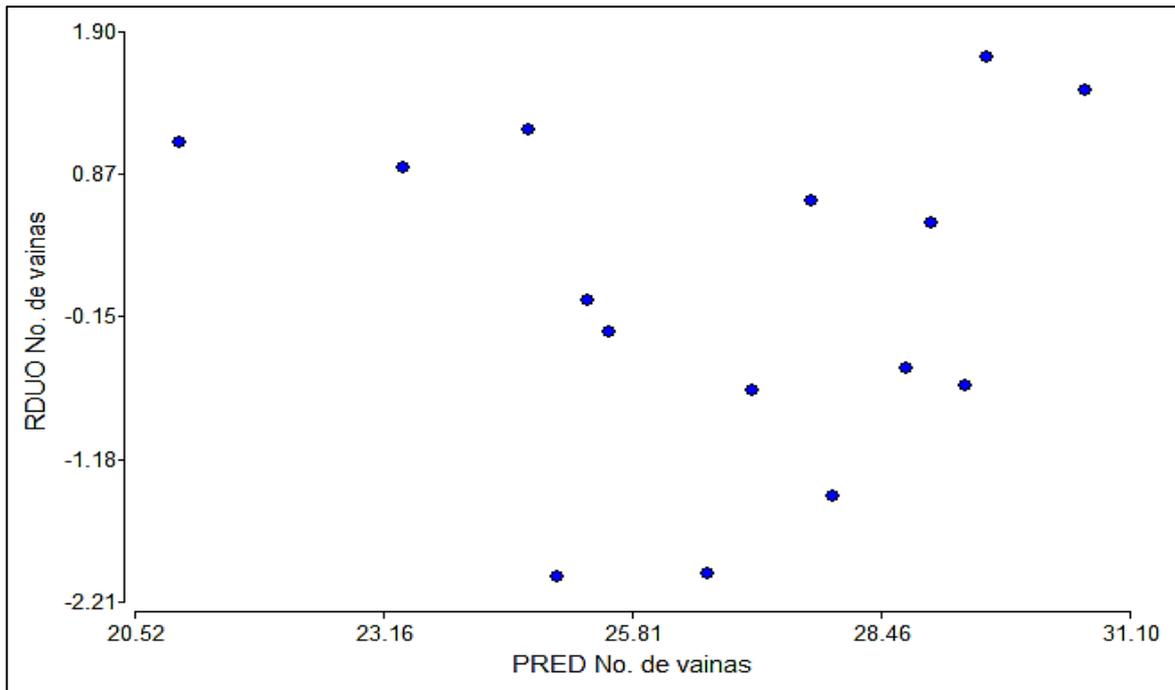


Figura 68: Prueba de homogeneidad de varianzas del No. de vainas

FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

La tabla 42 muestra la prueba de comparación de medias de Tukey, donde el DMS obtenido es de 3.77972. Este resume que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4; puesto que poseen la misma clasificación A. No obstante, los tratamientos T3 y T4 también tienen la letra B, esto quiere decir que no tienen diferencia significativa con el tratamiento T0, que tiene la clasificación más baja (ver figura 69). Además, se presenta el diagrama de cajas en la figura 70 donde se observa como se distribuyen sus valores extremos por tratamiento y posición de la media y mediana.

Tabla 42: Prueba de Tukey del No. de vainas

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.77972				
Error: 1.7955	Gl: 8			
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	28.73	3	0.93	A
T1	27.70	3	0.93	A
T4	27.47	3	0.93	A B
T3	26.83	3	0.93	A B
T0	23.13	3	0.93	B

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

FUENTE: Elaboración propia

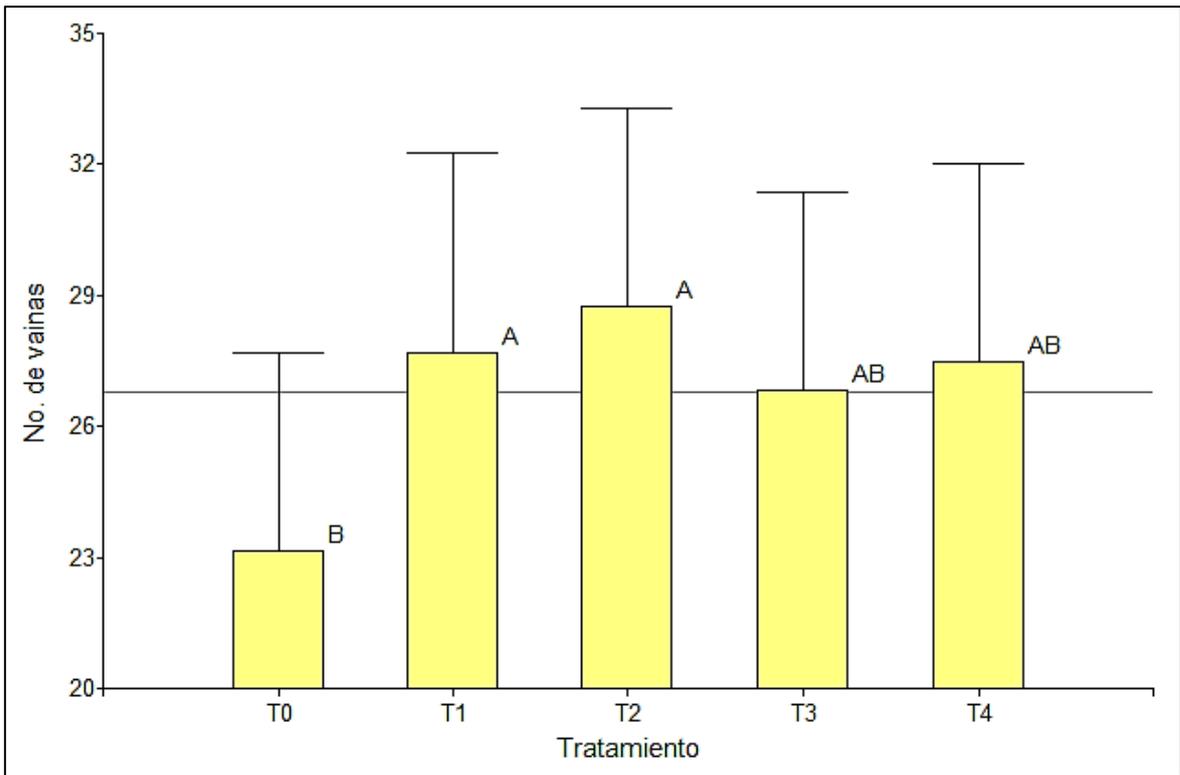


Figura 69: Análisis de medias del No. de Vainas

FUENTE: Elaboración propia

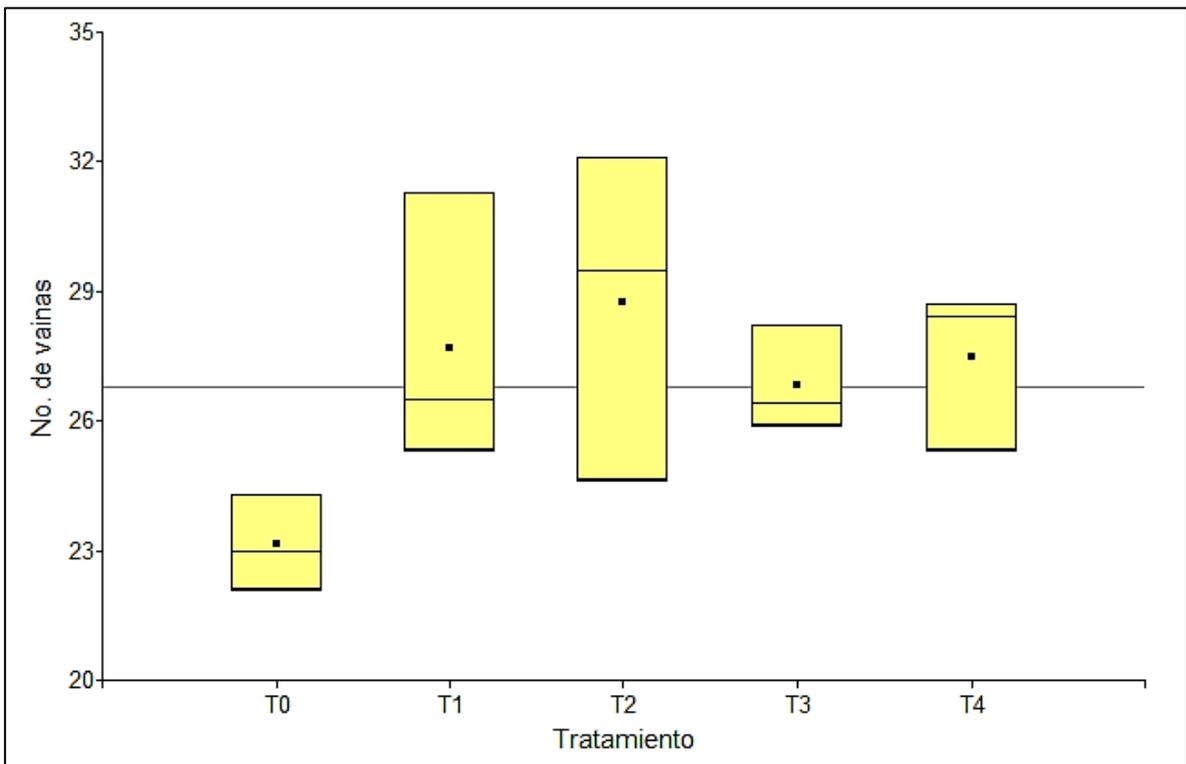


Figura 70: Diagrama de cajas del No. de vainas

FUENTE: Elaboración propia

4.8 Rendimiento del cultivo

El rendimiento del frijol canario variedad centenario se muestra en la figura 71. El tratamiento T0 obtuvo un total de 3004 kg/ha; el tratamiento T1, 3771 kg/ha; asimismo T2, T3 y T4 registraron 3804, 3700 y 3724 kg/ha, respectivamente.

Cabe resaltar que los tratamientos T1, T2, T3 y T4, los cuales contienen poliacrilato de sodio, no tienen diferencias significativas entre sí, mas si lo marcan sobre el tratamiento T0 según el test de Tukey, llegando a superarlo por 25.5, 26.6, 23.2 y 24 por ciento, respectivamente. De esta manera se reafirma lo expuesto por Rico (2014), ya que el polímero insertado en el suelo, mejoró la producción de frijol canario centenario, aumentando el rendimiento hasta en un 26.6 por ciento.

Por otro lado, el PLGO (2008) y Camarena *et al.* (2009), precisan que el rendimiento del frijol canario centenario oscila entre los valores de 2000-2500 y 2500-3000 kg/ha, respectivamente. Si comparamos con el tratamiento T0, este último superó los valores de las bibliografías consultadas. Este resultado se puede aducir a que el riego por goteo fue controlado y sostenido dentro de los regímenes de humedad descrito (umbral) por la FAO. Además, las condiciones de agua y suelo, tales como: textura, NPK, Ph, salinidad, CE y sodicidad, satisficieron los requerimientos nutricionales del cultivo favoreciendo su rendimiento. El bajo contenido de M.O. (1.64%) fue compensado con la aplicación foliar del producto Biolac, así como también para prevenir plagas y/o enfermedades que los afecten.

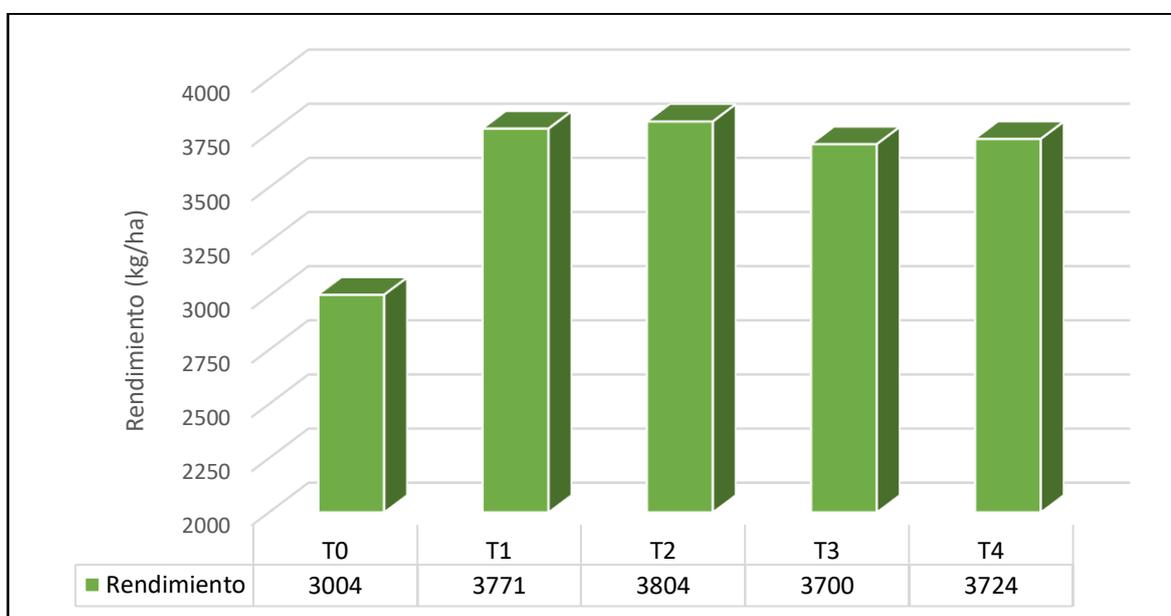


Figura 71: Rendimiento del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia.

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 43: Análisis de varianza del rendimiento

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R²	Aj	CV	
Rendimiento	15	0.84	0.73	6.82	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2607640.78	6	434606.80	7.20	0.0069
Tratamiento	1353963.53	4	338490.88	5.61	0.0189
Bloque	1253677.25	2	626838.63	10.38	0.0060
Error	483010.05	8	60376.26		
Total	3090650.83	14			

FUENTE: Elaboración propia

La tabla 43 muestra que existe cierta diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor $p=0.0189$, es menor a 0.05 pero mayor a 0.01 del valor de significación, y así como entre los bloques existe una alta diferencia significativa, puesto que el valor $p=0.0060$ es menor que 0.01 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 6.82 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

En la tabla 44 se aprecia el test de Shapiro-Wilks, donde el valor de p es 0.5954, el cual es mayor a 0.05. Además, la recta de regresión en la figura 72 muestra que los puntos se distribuyen sobre la recta; por lo que hay una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.986. Consecuentemente, no se rechaza la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, dado que los residuos de la variable se distribuyen con normalidad.

Tabla 44: Prueba Shapiro-Wilks del rendimiento

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Rendimiento	15	0.00	185.74	0.94	0.5954

FUENTE: Elaboración propia

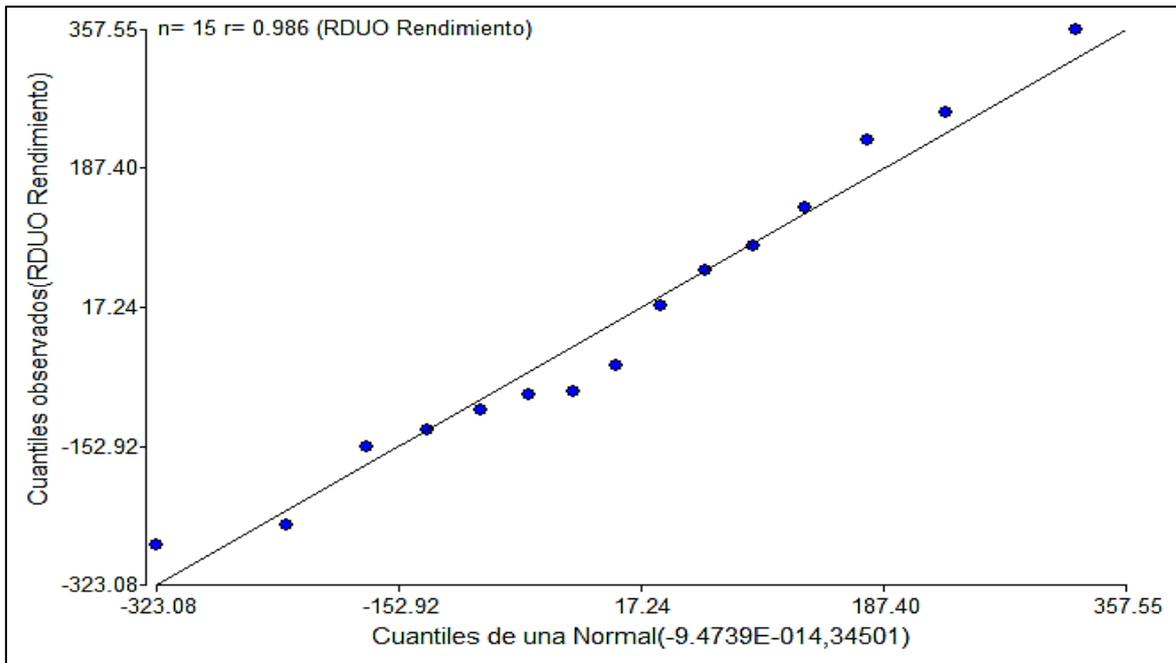


Figura 72: Q-q plot de los residuos del rendimiento

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

La tabla 45 presenta la prueba de Levene, en el cual se obtiene un valor de p igual a 0.4344 entre los tratamientos y de 0.6631 entre los bloques, por lo que las varianzas son homogéneas o constantes. Adicionalmente, la figura 73 muestra que los puntos no forman un cono o campana marcado. Por lo tanto, se concluye que los datos satisfacen las hipótesis de linealidad y homocedasticidad o igualdad de varianzas; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son correctos.

Tabla 45: Prueba de Levene del rendimiento

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RABS Rendimiento	15	0.39	0.00	65.59	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	51486.70	6	8581.12	0.85	0.5651
Tratamiento	42774.46	4	10693.62	1.06	0.4344
Bloque	8712.23	2	4356.12	0.43	0.6631
Error	80541.33	8	10067.67		
Total	132028.03	14			

FUENTE: Elaboración propia

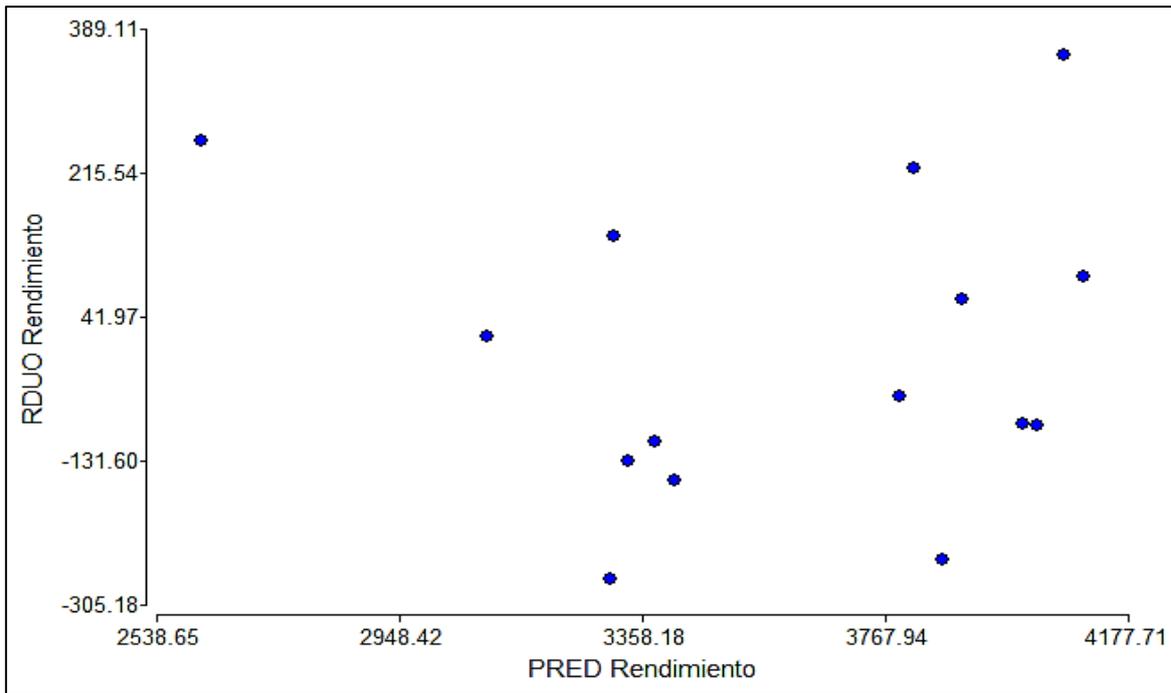


Figura 73: Prueba de homogeneidad de varianzas del rendimiento

FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

El DMS obtenido en el test de Tukey es de 693.11306. En la tabla 46, la prueba de comparación de medias muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos T0 y los demás (T1, T2, T3 y T4), ya que estos últimos poseen una clasificación A, mientras que el primero una de tipo B (ver figura 74). Adicionalmente, se presenta el diagrama de cajas en la figura 75, en el cual se visualiza como se distribuyen sus valores extremos por tratamiento y posición de la media y mediana.

Tabla 46: Prueba de Tukey del rendimiento

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=693.11306				
Error: 60376.2557		Gl: 8		
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	3804.31	3	141.86	A
T1	3771.29	3	141.86	A
T4	3723.83	3	141.86	A
T3	3699.59	3	141.86	A
T0	3004.19	3	141.86	B

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

FUENTE: Elaboración propia

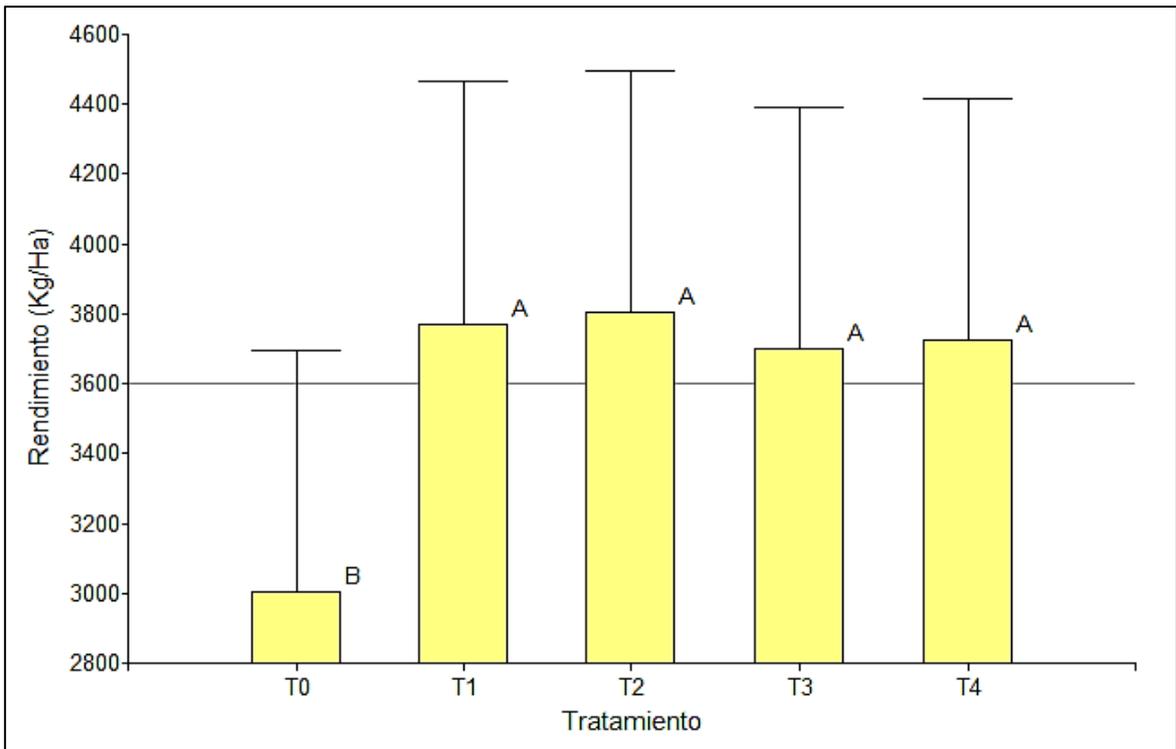


Figura 74: Análisis de medias del rendimiento de frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

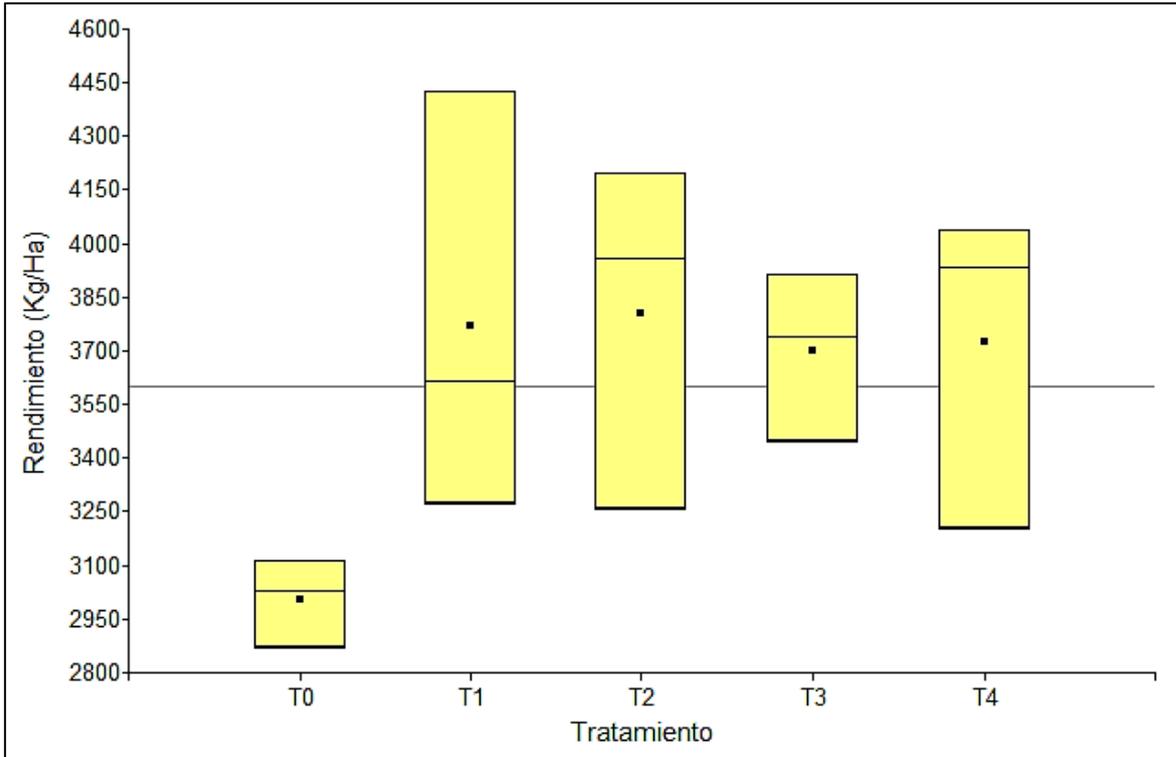


Figura 75: Diagrama de cajas del rendimiento de frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

4.9 Huella hídrica

El requerimiento de agua para producir 1 kilogramo de frijol canario centenario bajo condiciones del experimento, se obtuvo del cociente resultante del consumo de agua total (m^3/ha) y el rendimiento (kg/ha). Este se transformó a (L/kg) por cuestiones de precisión y distinguimiento.

La figura 76 muestra que el tratamiento T0 requirió un total de 798 litros de agua para producir 1 kilogramo de frijol canario centenario; seguidos por los tratamientos T4, T1, T2 y T3, los cuales registraron 522, 517, 507 y 503 L/kg, respectivamente.

Los tratamientos T1, T2, T3 y T4, los cuales contienen poliacrilato de sodio, no tienen diferencias significativas entre sí, más si lo marcan sobre el tratamiento T0 según el test de medias de Tukey, llegando a tener un ahorro de 35.2, 36.5, 36.9 y 34.6 por ciento, respectivamente. De esta manera se afirma que el polímero insertado en el suelo, causa un efecto ahorro en la huella hídrica, pues el requerimiento de agua para producir un kilogramo de frijol canario centenario es menor, llegando a economizarlo hasta en un 36.9 por ciento.

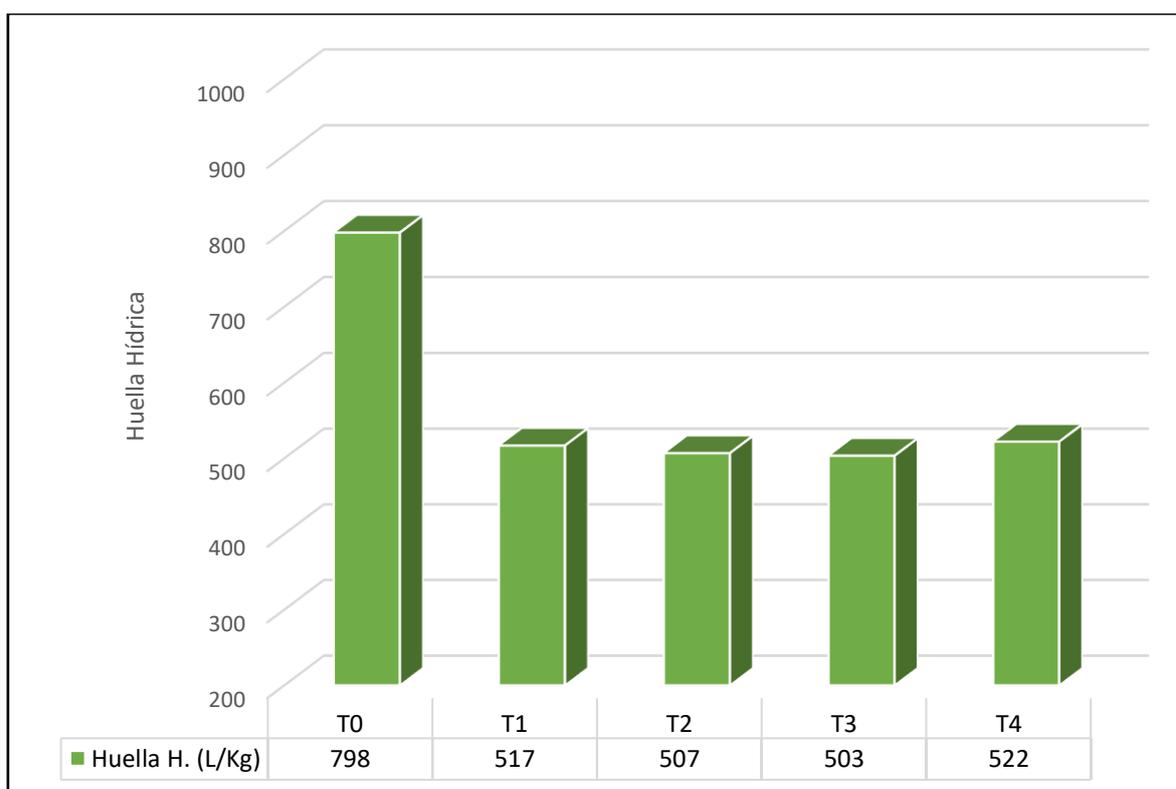


Figura 76: Huella hídrica del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 47: Análisis de varianza de la huella hídrica

Análisis de la Varianza					
Variable	N	R²	Aj	CV	
Huella hídrica	15	0.95	0.91	6.70	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	225235.83	6	37539.31	25.82	0.0001
Tratamiento	196255.34	4	49063.84	33.74	<0.0001
Bloque	28980.49	2	14490.24	9.97	0.0067
Error	11631.72	8	1453.96		
Total	236867.55	14			

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa de la tabla 47, hay bastante diferencia significativa entre los tratamientos, ya que el valor $p < 0.0001$, así como también entre los bloques, puesto que el valor $p = 0.0067$ es menor a 0.01 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad de 6.70 por ciento.

Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizadas para esta prueba son:

- **Distribución normal (Shapiro-Wilks)**

En la tabla 48 se aprecia la prueba Shapiro-Wilks, en donde el valor de p es 0.2428, siendo mayor a 0.05. Adicionalmente, la recta de regresión de la figura 77 grafica que los puntos se alinean sobre la recta; por lo que existe una correlación entre los valores observados y los cuantiles de una normal de 0.980. Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada (H_p) o hipótesis nula, dado que los residuos de la variable se distribuyen normalmente.

Tabla 48: Prueba Shapiro–Wilks de la huella hídrica

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Huella hídrica	15	0.00	28.82	0.91	0.2428

FUENTE: Elaboración propia

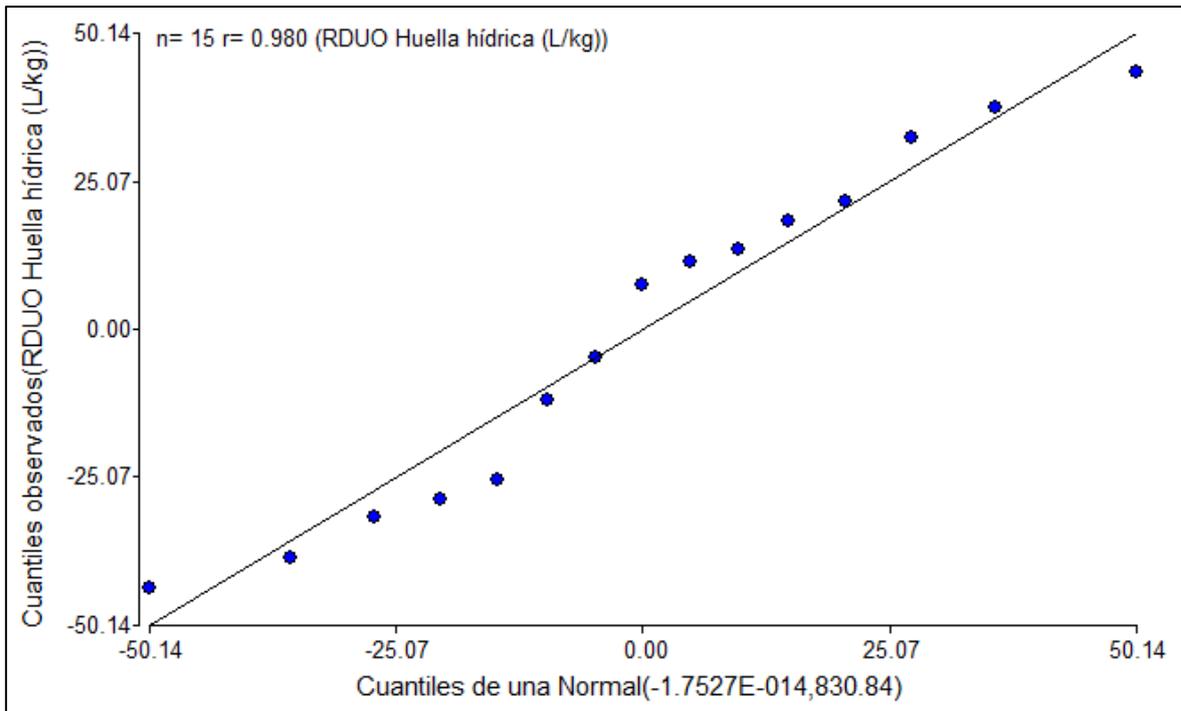


Figura 77: Q-q plot de los residuos de la huella hídrica

FUENTE: Elaboración propia

- **Homogeneidad de varianzas (Levene)**

La tabla 49 muestra el test de Levene, en el cual se tiene un valor de p igual a 0.8957 entre los tratamientos, y de 0.5347 entre los bloques; esto quiere decir que las varianzas son homogéneas o constantes. Adicionalmente, la figura 78 grafica que, los puntos no forman un cono o campana marcado; de lo cual, se afirma que los valores de las varianzas se distribuyen homogéneamente y no hay signos de heteroscedasticidad; es decir, los resultados y conclusiones que se obtienen en función del ANOVA, son acertados.

Tabla 49: Prueba de Levene de la huella hídrica

Análisis de la varianza de Levene					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Huella hídrica	15	0.23	0.00	61.61	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	558.00	6	93.00	0.40	0.8604
Tratamiento	242.18	4	60.54	0.26	0.8957
Bloque	315.82	2	157.91	0.68	0.5347
Error	1864.31	8	233.04		
Total	2422.31	14			

FUENTE: Elaboración propia

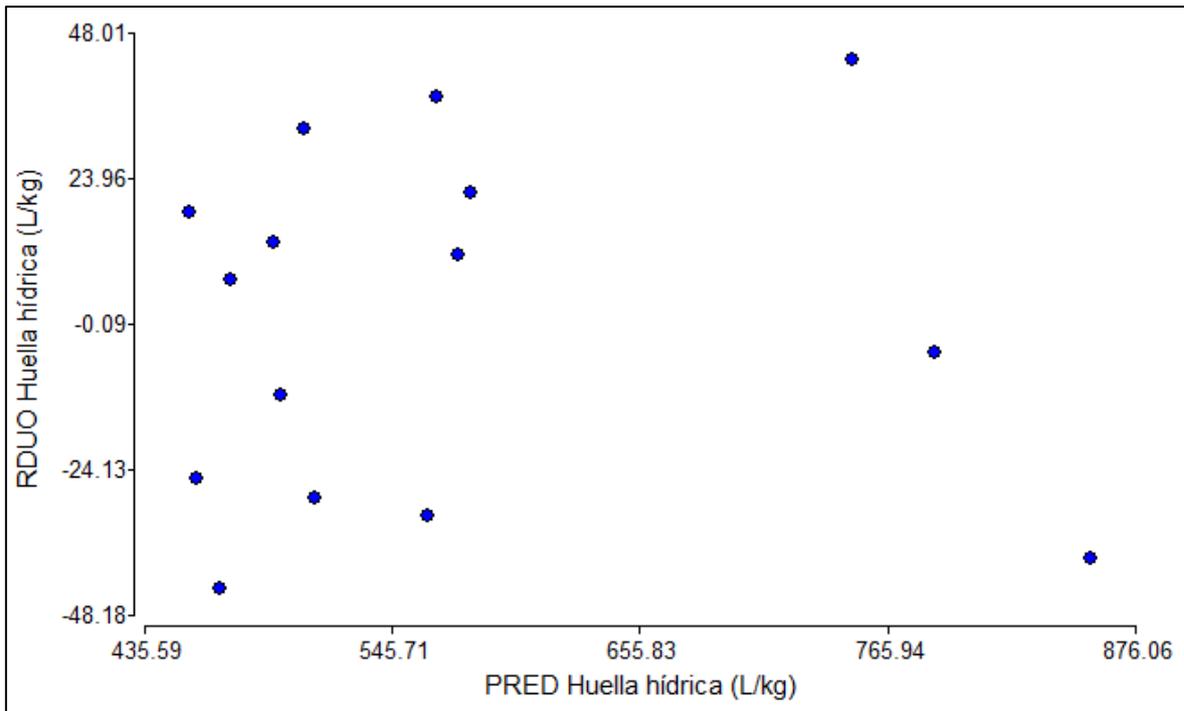


Figura 78: Prueba de homogeneidad de varianzas de la huella hídrica

FUENTE: Elaboración propia

Prueba de Tukey

La tabla 50 muestra la prueba de comparación de medias de Tukey, donde el DMS obtenido es de 107.55929. Este resume existe una gran diferencia significativa del tratamiento T0, hacia los tratamientos T1, T2, T3 y T4; puesto que el primero posee una clasificación tipo A, mientras los demás obtienen una tipo B (ver figura 79). Además, se presenta el diagrama de cajas en la figura 80 donde se observa como se distribuyen sus valores extremos por tratamiento y posición de la media y mediana.

Tabla 50: Prueba de Tukey de la huella hídrica

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=107.55929				
Error: 1453.9646		Gl: 8		
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	797.73	3	22.01	A
T4	521.94	3	22.01	B
T1	516.87	3	22.01	B
T2	506.80	3	22.01	B
T3	503.41	3	22.01	B

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

FUENTE: Elaboración propia

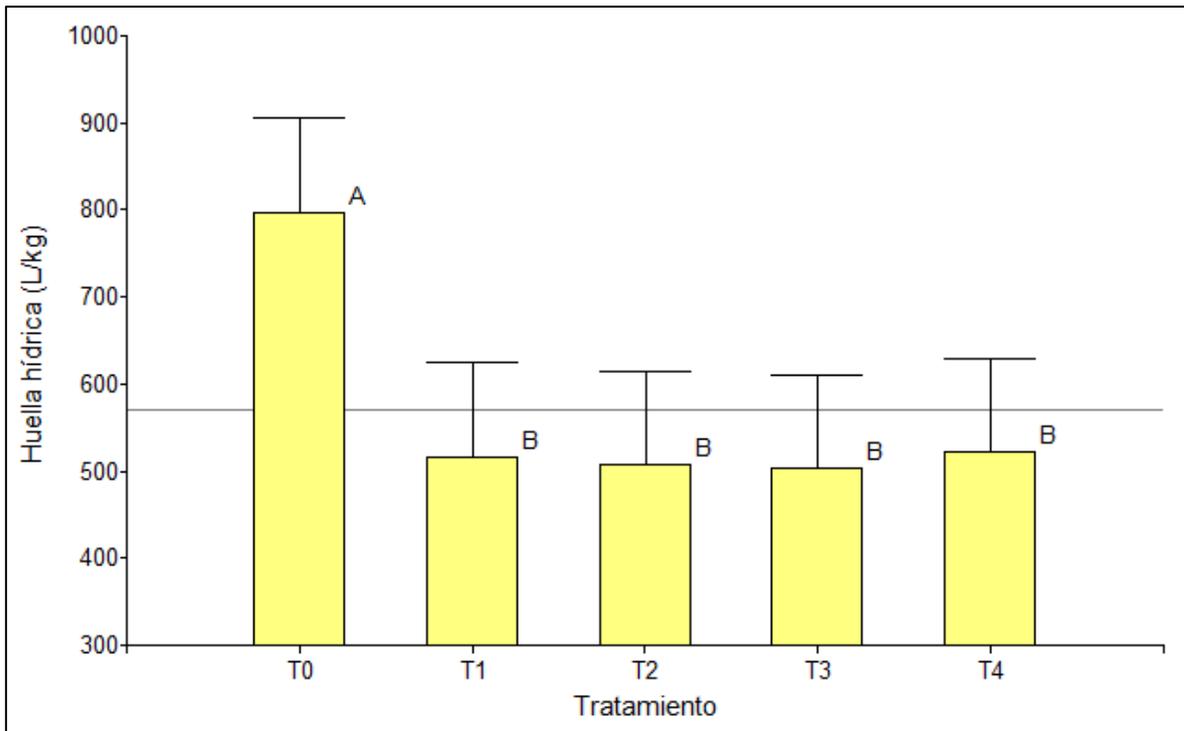


Figura 79: Análisis de medias de la huella hídrica del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

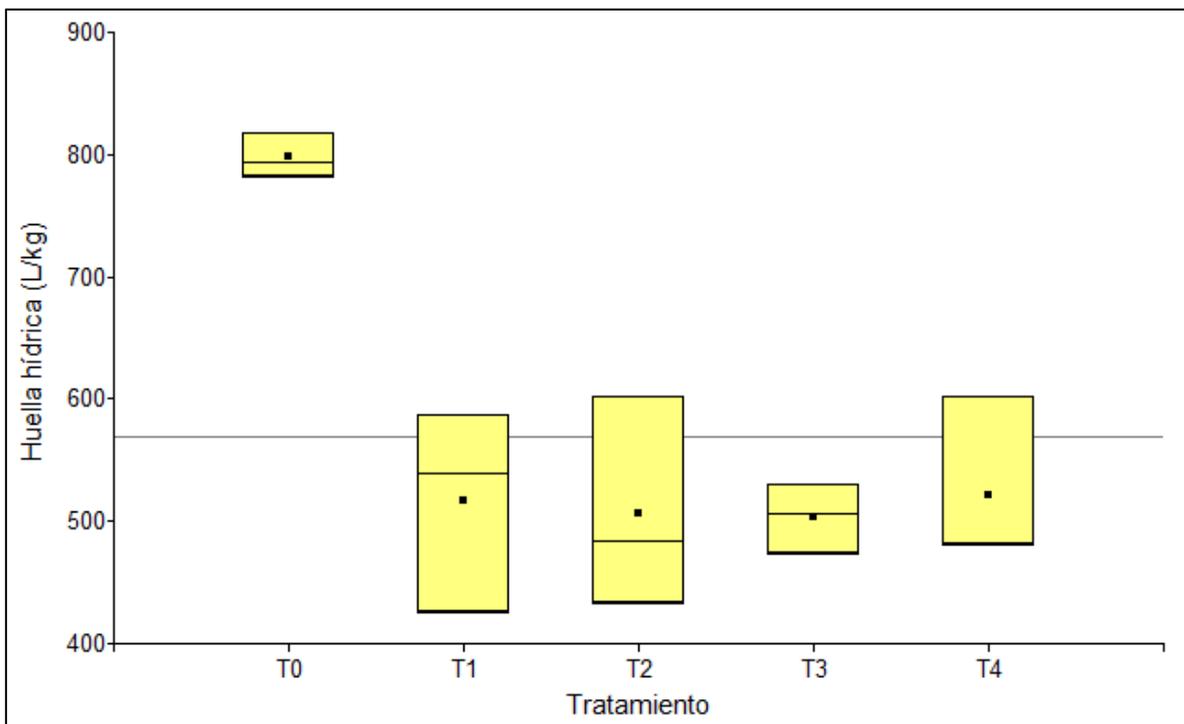


Figura 80: Diagrama de cajas de la huella hídrica del frijol canario centenario

FUENTE: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

En la presente investigación realizado para determinar la influencia del poliacrilato de sodio en la retención de humedad del suelo, se detallan los siguientes tratamientos: T0, sin polímero; los tratamientos T1, T2, T3 y T4 con 5, 10, 15 y 20 gramos de poliacrilato de sodio, respectivamente; cuyas conclusiones son las siguientes:

- Considerando la humedad fácilmente disponible entre la capacidad de campo (19.1% bss) y el umbral de riego (14.6% bss), dentro de los primeros 20 días de siembra, la variación de humedad antes de cada riego no tuvo diferencias significativas en los tratamientos. Luego de ello, se notó la diferencia, principalmente en el tratamiento T0, que tuvo descensos inferiores al umbral de riego. Por el contrario, los tratamientos T1, T2, T3 y T4, mostraron humedades por encima del umbral antes de cada riego. Por lo que se observó, que el poliacrilato de sodio contribuyó a la retención de agua en el suelo.
- En los tratamientos con poliacrilato de sodio, T1, T2, T3 y T4, se observó una mayor retención de humedad comparado con el tratamiento T0, lo cual originó, el consumo de 1858 m³/ha en el tratamiento T3 y 2395 m³/ha en el tratamiento T0, obteniendo un ahorro del 22.4 por ciento del recurso hídrico.
- En los parámetros biométricos: longitud de raíces, altura de planta y área foliar, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con y sin polímero. Por el contrario, respecto al número de vainas, se registró una diferencia significativa entre los tratamientos con y sin polímero. Así, en el tratamiento T2, se obtuvo un promedio de 29 vainas por planta, mientras que en el tratamiento T0, se tuvo 23. Por lo que se constató, que el poliacrilato de sodio influyó en el número de vainas del cultivo del frijol canario centenario.
- Los tratamientos con poliacrilato de sodio, tuvieron un mayor rendimiento respecto al tratamiento T0, obteniendo 3805 kg/ha en el tratamiento T2 y 3004 kg/ha en el tratamiento T0, que representa una diferencia del 26.6 %, observando la influencia del poliacrilato de sodio en el rendimiento del cultivo del frijol canario centenario.

- Respecto a la cantidad de agua requerida para la producción de 1 kilogramo de frijol canario centenario, se determinó que el tratamiento T2, requirió 507 litros, mientras que el tratamiento T0, 798 litros de agua, obteniendo un ahorro del 37 por ciento, afirmando que el poliacrilato de sodio influye en la retención del agua y la producción del cultivo frijol canario centenario.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda efectuar investigaciones con diferentes dosis de polímero a los que se realizó en el presente experimento, de tal manera que pueda encontrarse una relación entre la producción y la dosis óptima de polímero.
- Con la finalidad de buscar la relación entre la lámina de riego y la dosis de poliacrilato de sodio, es importante realizar experimentos aplicando diferentes láminas y dosis de polímero.
- Realizar experimentos de este tipo en diferentes épocas del año, en zonas donde el recurso hídrico sea un factor limitante y en condiciones de suelo de poca retención de humedad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azzam, R.A.I. (11 de noviembre de 2008). Polymeric conditioner gels for desert soils. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14(8): 739-760. doi: 10.1080/00103628309367404.
2. Bedoya, J. (1996). Incorporación de Gen I de Resistencia al Virus Mosaico Común (BCMCV) en Frijol (*Phaseolus vulgaris* L) Canario Cv. Camanejo (Tesis de maestría). UNALM, Lima, Perú.
3. Beltrán, M. & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
4. Besednjak, A. (2009). *Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
5. Cabildo, M.; Claramunt, R.; Cornago, M.; Escolástico, C.; Esteban, S.; Farrán, M.; ... Sanz, D. (2010). *Reciclado y Tratamiento de Residuos*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
6. Camarena, M.F.; Huaranga J.A.; Mostacero, N.E. (2009). *Innovación Tecnológica para el Incremento de la Producción de Frijol Común (Phaseolus Vulgaris L)*. Lima, Perú: Ediciones AGRUM.
7. Celis, M.T.; Calderón, J.; Manchego, L.; Mercado, R.; Avendaño, J.; Salager, J.L. (2009). Inversión de emulsiones incluyendo acrilatos en la formulación. *Revista Ciencia e Ingeniería* 30(3): 201-210. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277074485_Inversion_de_emulsiones_incluyendo_acrilatos_en_la_formulacion
8. CIAT. (1980). *Diversidad genética de las especies cultivadas del género Phaseolus: Guía de estudio*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

9. CIAT. (1982). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Díaz, T.; Espí, E.; Fontecha, A.; Jiménez, J.; López, J.; Salmerón, A. (2001). Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. Madrid, España: Mundi-Prensa.
10. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP) - Dirección de Estadística Agraria (DEA). 2018. Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2017. MINAGRI. Recuperado de http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario-produccion-agricola-2017_171218_0.pdf
11. Díaz, T.; Espí, E.; Fontecha, A.; Jiménez, J.; López, J.; Salmerón, A. (2001). Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. Madrid, España: Mundi-Prensa.
12. Estrada, R.; Lemus, D.; Mendoza, D.; Rodríguez, V. (2010). Hidrogeles Biopoliméricos potencialmente aplicables en Agricultura. Revista Iberoamericana de Polímeros, 12 (2): 76-87.
13. Falcón, J. (2001). Efecto de la densidad de Siembra y de la Fertilización NPK en el Cultivo de Frijol Canario Molinero bajo un sistema de Riego por Goteo (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
14. FAO, (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
15. García, I. & Briones, G. 1997. Sistemas De Riego Por Aspersión y Goteo. México, México: Trillas Editorial.
16. García Petillo, M.; Puppo, L.; Hayashi, R.; Morales, P. (2012). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>
17. Gil-Marín, J.A. (2010). Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana-Venezuela. Revista científica UDO-Agrícola 1(1): 42-47. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221476>

18. Huaranga, A. (diciembre de 2004). Efecto de la fertirrigación NPK en el rendimiento de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo riego localizado de alta frecuencia: goteo. Revista IDESIA 22(2): 29-42. Recuperado de https://www.idesia.cl/index.php?option=com_volumenes&view=d&doc=IDESIA_25/CAP3EF1.PDF&aid=525&vid=25
19. Huber, K.; Witte, T.; Hollmann, J.; Keuker-Baumann, S. (10 de enero de 2007). Controlled Formation of Ag Nanoparticles by Means of Long-Chain Sodium Polyacrylates in Dilute Solution. Journal of the American Chemical Society 129(5): 1089-1094. doi: 10.1021/ja063368q
20. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Perú: Informe económico trimestral. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1649/libro.pdf
21. Katime, I.; Katime Trabanca, O.; Katime Trabanca, D. (2004). Los materiales inteligentes de este milenio: Los hidrogeles macromoleculares: síntesis, propiedades y aplicaciones (p. 229 - 233). Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
22. Melo Rodríguez, M.A. & Trujillo Morales, C. (2004). Caracterización de un residuo sólido de una industria de producción de pañales desechables y estudio sobre la factibilidad de su aprovechamiento (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
23. Pizarro Cabello, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Madrid, España: Mundi-Prensa.
24. PLGO. (2008). Memoria anual 2007. Programa de Investigación y Proyección Social de Leguminosas de Grano y Oleaginosas - Universidad Nacional Agraria La Molina.
25. Rico, S. (mayo de 2014). Lluvia sólida. Presentado en la conferencia de la Universidad Tecnológica de los Valles centrales de Oaxaca. Oaxaca, México. Resumen recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/foroexpectativas/presentaciones2012/rvelasco.pdf>
26. Ríos, C. (marzo de 2010). Polímeros Naturales y Sintéticos. Revista Ciencia y Desarrollo, (241). Recuperado de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=home>

27. Silva, A.; Ponce de León, J.; García, F.; Durán, A. (1988). Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de Investigación de la Universidad de la República, (10).
28. Soukup, J. (1970). Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y catálogo de los géneros. Lima, Perú: Editorial Salesiana.
29. Stea, M. (2019). Poliacrilato de sodio (C₃H₃NaO₂)_n: estructura, propiedades, usos, riesgo. Recuperado de <https://www.lifeder.com/poliacrilato-de-sodio/>
30. Ulloa, J.A.; Ibarra-Zavala, S.J.; Ramírez-Salas, S.P.; Rosas-Ulloa, P.; Ramírez-Ramírez, J.C.; Ulloa-Rangel, B.E. (marzo de 2015). Chemical, Physicochemical, Nutritional, Microbiological, Sensory and Rehydration Characteristics of Instant Whole Beans (*Phaseolus vulgaris*). Journal of Food Technology and Biotechnology 53(1): 48-56. doi: 10.17113/ftb.53.01.15.3663
31. Van Cotthem, W.; Beel, C.; Danneels, P.; De Keyzer, J.; Vyvey, Q. (junio de 1991). Restoring the natural vegetation on strong eroded volcanic soils of Cape Verde (West-Africa). Journal of Soil Technology, 4(1): 183-189. doi: 10.1016/0933-3630(91)90030-Q
32. Vásquez V., A.; Vásquez R., I.; Vásquez R., C.; Cañamero K., M. (2017). Fundamentos de Ingeniería de Riegos. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
33. Voysest, O. (1983). Variedades de frijol en América Latina y su origen. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
34. Yánac, L.A. (2018). Análisis del crecimiento y rendimiento de tres variedades de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) con diferentes dosis nitrogenadas, en la molina (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3304>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T0

DDS	Lectura TDR150				Lámina de riego bruta				Tiempo de riego		
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3
#	W _θ %	W _θ %	W _θ %	W _θ %	mm	mm	mm	mm	min	min	min
1	24.3	25.5	22.9	24.23	2.15	1.68	2.70	2.18	20.26	15.82	25.43
4	23.3	22.6	24.1	23.33	2.54	2.82	2.23	2.53	23.95	26.54	20.99
7	24.8	23.1	22.5	23.47	3.91	5.25	5.72	4.96	36.82	49.38	53.82
10	24.0	24.7	23.1	23.93	4.54	3.99	5.25	4.59	42.73	37.55	49.38
13	22.7	23.0	24.0	23.23	5.56	5.33	4.54	5.14	52.34	50.12	42.73
16	23.1	23.8	21.3	22.73	5.25	4.70	6.66	5.53	49.38	44.21	62.69
19	22.1	23.7	23.6	23.13	6.03	4.78	4.85	5.22	56.77	44.95	45.69
23	20.8	21.2	22.4	21.47	10.58	10.11	8.69	9.79	99.57	95.14	81.83
27	21.7	21.0	20.3	21.00	9.52	10.34	11.17	10.34	89.60	97.36	105.12
31	21.4	20.6	19.3	20.43	9.87	10.82	12.35	11.01	92.92	101.79	116.21
35	20.7	21.2	22.7	21.53	14.26	13.48	11.12	12.95	134.24	126.85	104.68
39	20.6	22.6	23.3	22.17	14.42	11.28	10.18	11.96	135.72	106.16	95.81
43	21.3	23.2	21.8	22.10	13.32	10.34	12.54	12.06	125.37	97.28	117.98
47	20.6	19.9	21.0	20.50	14.42	15.52	13.79	14.58	135.72	146.07	129.81
51	22.2	22.5	23.2	22.63	11.91	11.44	10.34	11.23	112.07	107.63	97.28
56	23.4	22.3	21.6	22.43	15.03	17.63	19.27	17.31	141.49	165.89	181.41
61	20.4	21.7	21.6	21.23	22.10	19.04	19.27	20.14	208.02	179.19	181.41
66	21.2	20.8	20.6	20.87	20.22	21.16	21.63	21.00	190.28	199.15	203.58
71	20.5	21.6	20.3	20.80	21.87	19.27	22.34	21.16	205.80	181.41	210.24
76	22.5	23.3	21.9	22.57	17.15	15.27	18.57	17.00	161.45	143.71	174.76
81	23.1	21.2	21.1	21.80	15.74	20.22	20.45	18.80	148.14	190.28	192.50
87	19.3	18.6	18.1	18.67							

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 2: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T1

DDS	Lectura TDR150				Lámina de riego bruta				Tiempo de riego		
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3
#	W _θ %	W _θ %	W _θ %	W _θ %	mm	mm	mm	mm	min	min	min
1	25.1	24.5	23.8	24.47	1.84	2.07	2.35	2.09	17.30	19.52	22.10
4	22.3	24.1	22.6	23.00	2.94	2.23	2.82	2.66	27.65	20.99	26.54
7	24.2	22.6	23.7	23.50	4.38	5.64	4.78	4.93	41.25	53.08	44.95
10	22.1	24.7	22.3	23.03	6.03	3.99	5.88	5.30	56.77	37.55	55.30
13	23.5	24.5	23.5	23.83	4.93	4.15	4.93	4.67	46.42	39.03	46.42
16	24.0	23.6	25.1	24.23	4.54	4.85	3.68	4.36	42.73	45.69	34.60
19	24.4	22.9	23.7	23.67	4.23	5.40	4.78	4.80	39.77	50.86	44.95
23	23.5	24.8	24.0	24.10	7.40	5.87	6.81	6.69	69.64	55.22	64.09
27	23.2	24.4	23.5	23.70	7.75	6.34	7.40	7.16	72.96	59.66	69.64
31	22.9	24.2	23.3	23.47	8.11	6.57	7.63	7.44	76.29	61.88	71.85
35	24.1	23.4	24.2	23.90	8.92	10.02	8.77	9.24	83.98	94.33	82.50
39	24.7	24.6	22.9	24.07	7.98	8.14	10.81	8.98	75.11	76.59	101.72
43	23.7	24.3	23.3	23.77	9.55	8.61	10.18	9.45	89.89	81.02	95.81
47	24.4	22.5	23.1	23.33	8.45	11.44	10.49	10.13	79.54	107.63	98.76
51	25.0	23.8	23.8	24.20	7.51	9.39	9.39	8.77	70.67	88.41	88.41
56	23.2	23.5	23.6	23.43	15.50	14.80	14.56	14.95	145.93	139.27	137.06
61	22.4	21.8	23.3	22.50	17.39	18.80	15.27	17.15	163.67	176.97	143.71
66	23.4	22.7	23.1	23.07	15.03	16.68	15.74	15.82	141.49	157.01	148.14
71	22.7	23.6	24.3	23.53	16.68	14.56	12.91	14.72	157.01	137.06	121.53
76	23.5	22.5	21.9	22.63	14.80	17.15	18.57	16.84	139.27	161.45	174.76
81	23.7	23.3	22.6	23.20	14.33	15.27	16.92	15.50	134.84	143.71	159.23
87	21.7	22.6	20.4	21.57							

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 3: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T2

DDS	Lectura TDR150				Lámina de riego bruta				Tiempo de riego		
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3
#	W _θ %	W _θ %	W _θ %	W _θ %	mm	mm	mm	mm	min	min	min
1	23.3	25.1	23.3	23.90	2.54	1.84	2.54	2.31	23.95	17.30	23.95
4	23.7	22.9	24.7	23.77	2.39	2.70	2.00	2.36	22.47	25.43	18.78
7	23.5	24.5	24.1	24.03	4.93	4.15	4.46	4.51	46.42	39.03	41.99
10	23.2	23.9	23.1	23.40	5.17	4.62	5.25	5.01	48.64	43.47	49.38
13	24.2	22.4	22.9	23.17	4.38	5.80	5.40	5.19	41.25	54.56	50.86
16	23.8	22.2	22.6	22.87	4.70	5.95	5.64	5.43	44.21	56.03	53.08
19	23.6	23.3	23.0	23.30	4.85	5.09	5.33	5.09	45.69	47.90	50.12
23	24.1	23.6	24.5	24.07	6.69	7.28	6.22	6.73	62.98	68.53	58.55
27	23.1	23.4	24.0	23.50	7.87	7.52	6.81	7.40	74.07	70.75	64.09
31	23.4	24.4	22.2	23.33	7.52	6.34	8.93	7.60	70.75	59.66	84.05
35	24.6	23.8	24.1	24.17	8.14	9.39	8.92	8.82	76.59	88.41	83.98
39	24.4	24.5	22.9	23.93	8.45	8.29	10.81	9.18	79.54	78.07	101.72
43	22.8	23.2	23.7	23.23	10.96	10.34	9.55	10.28	103.20	97.28	89.89
47	22.9	22.5	23.3	22.90	10.81	11.44	10.18	10.81	101.72	107.63	95.81
51	24.2	24.0	23.4	23.87	8.77	9.08	10.02	9.29	82.50	85.46	94.33
56	23.6	24.3	22.8	23.57	14.56	12.91	16.45	14.64	137.06	121.53	154.80
61	24.4	22.8	24.0	23.73	12.68	16.45	13.62	14.25	119.32	154.80	128.19
66	24.1	23.5	24.3	23.97	13.38	14.80	12.91	13.70	125.97	139.27	121.53
71	24.9	22.5	24.0	23.80	11.50	17.15	13.62	14.09	108.23	161.45	128.19
76	23.6	21.1	22.3	22.33	14.56	20.45	17.63	17.55	137.06	192.50	165.89
81	22.6	23.5	23.2	23.10	16.92	14.80	15.50	15.74	159.23	139.27	145.93
87	21.3	23.5	22.5	22.43							

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 4: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T3

DDS	Lectura TDR150				Lámina de riego bruta				Tiempo de riego		
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3
#	W _θ %	W _θ %	W _θ %	W _θ %	mm	mm	mm	mm	min	min	min
1	22.3	23.1	23.4	22.93	2.94	2.62	2.51	2.69	27.65	24.69	23.58
4	24.1	23.4	23.9	23.80	2.23	2.51	2.31	2.35	20.99	23.58	21.73
7	25.1	23.3	23.7	24.03	3.68	5.09	4.78	4.51	34.60	47.90	44.95
10	22.8	22.9	23.5	23.07	5.48	5.40	4.93	5.27	51.60	50.86	46.42
13	24.9	23.8	22.5	23.73	3.83	4.70	5.72	4.75	36.08	44.21	53.82
16	22.7	23.0	24.0	23.23	5.56	5.33	4.54	5.14	52.34	50.12	42.73
19	24.2	25.1	23.6	24.30	4.38	3.68	4.85	4.30	41.25	34.60	45.69
23	23.5	22.6	23.3	23.13	7.40	8.46	7.63	7.83	69.64	79.62	71.85
27	25.1	22.8	23.8	23.90	5.51	8.22	7.05	6.93	51.90	77.40	66.31
31	22.8	23.5	22.1	22.80	8.22	7.40	9.05	8.22	77.40	69.64	85.16
35	23.8	24.8	22.9	23.83	9.39	7.82	10.81	9.34	88.41	73.63	101.72
39	23.5	23.9	23.4	23.60	9.87	9.24	10.02	9.71	92.85	86.94	94.33
43	23.8	24.1	24.6	24.17	9.39	8.92	8.14	8.82	88.41	83.98	76.59
47	24.2	23.6	23.8	23.87	8.77	9.71	9.39	9.29	82.50	91.37	88.41
51	23.4	22.8	23.3	23.17	10.02	10.96	10.18	10.39	94.33	103.20	95.81
56	21.2	23.3	22.4	22.30	20.22	15.27	17.39	17.63	190.28	143.71	163.67
61	24.1	23.5	23.5	23.70	13.38	14.80	14.80	14.33	125.97	139.27	139.27
66	23.9	24.5	24.2	24.20	13.86	12.44	13.15	13.15	130.40	117.10	123.75
71	23.7	24.8	23.5	24.00	14.33	11.71	14.80	13.61	134.84	110.22	139.27
76	24.3	23.6	23.4	23.77	12.91	14.56	15.03	14.17	121.53	137.06	141.49
81	23.8	23.9	24.6	24.10	14.09	13.86	12.21	13.38	132.62	130.40	114.88
87	22.0	22.8	23.1	22.63							

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 5: Lecturas del TDR150 y cálculos de lámina y tiempo de riego para el T4

DDS	Lectura TDR150				Lámina de riego bruta				Tiempo de riego		
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3
#	W _θ %	W _θ %	W _θ %	W _θ %	mm	mm	mm	mm	min	min	min
1	23.8	22.5	23.5	23.27	2.35	2.86	2.47	2.56	22.10	26.91	23.21
4	23.6	24.0	23.1	23.57	2.43	2.27	2.62	2.44	22.84	21.36	24.69
7	22.8	24.2	23.6	23.53	5.48	4.38	4.85	4.91	51.60	41.25	45.69
10	22.5	23.7	22.5	22.90	5.72	4.78	5.72	5.40	53.82	44.95	53.82
13	22.9	22.5	23.4	22.93	5.40	5.72	5.01	5.38	50.86	53.82	47.16
16	23.5	24.0	23.5	23.67	4.93	4.54	4.93	4.80	46.42	42.73	46.42
19	23.1	24.3	22.5	23.30	5.25	4.30	5.72	5.09	49.38	40.51	53.82
23	22.7	23.5	24.1	23.43	8.34	7.40	6.69	7.48	78.51	69.64	62.98
27	23.8	23.6	24.4	23.93	7.05	7.28	6.34	6.89	66.31	68.53	59.66
31	23.5	23.0	22.9	23.13	7.40	7.99	8.11	7.83	69.64	75.18	76.29
35	24.0	25.1	24.5	24.53	9.08	7.35	8.29	8.24	85.46	69.20	78.07
39	23.3	23.7	24.1	23.70	10.18	9.55	8.92	9.55	95.81	89.89	83.98
43	25.4	23.4	23.7	24.17	6.88	10.02	9.55	8.82	64.76	94.33	89.89
47	22.0	21.6	22.7	22.10	12.22	12.85	11.12	12.06	115.03	120.94	104.68
51	23.7	23.6	22.8	23.37	9.55	9.71	10.96	10.07	89.89	91.37	103.20
56	22.8	22.9	20.9	22.20	16.45	16.21	20.92	17.86	154.80	152.58	196.93
61	23.6	23.2	24.7	23.83	14.56	15.50	11.97	14.01	137.06	145.93	112.66
66	23.3	23.6	23.1	23.33	15.27	14.56	15.74	15.19	143.71	137.06	148.14
71	24.6	22.7	23.0	23.43	12.21	16.68	15.98	14.95	114.88	157.01	150.36
76	24.4	23.8	23.8	24.00	12.68	14.09	14.09	13.62	119.32	132.62	132.62
81	23.0	23.6	23.5	23.37	15.98	14.56	14.80	15.11	150.36	137.06	139.27
87	23.7	22.7	23.3	23.23							

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 6: Hoja de datos de parámetros biométricos del T0

	Long. Raíces	Alt. Planta	Área Foliar	# de vainas	Rendimiento
	(cm)	(cm)	(cm ²)		(gr/planta)
R1					
Planta 1	25.4	53.6	1355.25	24	41.1
Planta 2	27.0	53.0	1266.65	20	35.2
Planta 3	24.1	45.4	1406.75	30	48.0
Planta 4	23.2	47.9	1306.75	20	37.9
Planta 5	24.4	54.5	1331.53	22	41.5
Planta 6	27.4	50.2	1257.25	19	31.1
Planta 7	24.6	48.1	1291.54	19	29.5
Planta 8	28.1	48.6	1331.65	25	41.7
Planta 9	23.6	52.3	1401.25	28	45.4
Planta 10	22.5	47.4	1286.94	23	40.1
Promedio	25.03	50.10	1323.56	23.0	39.15
R2					
Planta 1	28.9	48.1	1313.65	23	40.2
Planta 2	26.5	50.8	1213.75	22	36.4
Planta 3	23.8	43.3	1170.10	20	34.0
Planta 4	22.4	44.5	1154.23	23	37.1
Planta 5	26.2	46.8	1210.25	19	32.5
Planta 6	28.7	47.7	1246.00	25	41.3
Planta 7	25.8	46.2	1195.74	24	42.0
Planta 8	25.3	45.6	1239.54	21	33.8
Planta 9	27.9	51.1	1324.70	25	42.6
Planta 10	26.0	49.2	1243.16	19	30.8
Promedio	26.15	47.33	1231.11	22.1	37.07
R3					
Planta 1	22.3	47.6	1412.15	28	44.0
Planta 2	25.2	50.7	1379.75	24	41.2
Planta 3	26.6	51.2	1432.40	25	42.8
Planta 4	23.1	47.8	1295.55	22	35.9
Planta 5	24.8	49.1	1394.35	23	37.3
Planta 6	22.0	50.9	1385.66	25	39.8
Planta 7	27.5	53.3	1479.65	25	42.3
Planta 8	25.3	50.8	1419.63	27	41.5
Planta 9	28.0	51.2	1380.35	25	43.2
Planta 10	21.9	44.9	1169.25	19	34.5
Promedio	24.67	49.75	1374.87	24.3	40.25

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 7: Hoja de datos de parámetros biométricos del T1

	Long. Raíces	Alt. Planta	Área Foliar	# de vainas	Rendimiento
	(cm)	(cm)	(cm ²)		(gr/planta)
R1					
Planta 1	29.2	55.9	1609.16	33	62.0
Planta 2	26.5	51.7	1506.75	34	64.3
Planta 3	25.6	53.7	1469.32	29	58.3
Planta 4	23.4	58.9	1680.45	38	68.0
Planta 5	27.7	52.8	1285.35	26	49.9
Planta 6	24.2	54.0	1370.5	31	57.5
Planta 7	23.0	57.4	1705.95	35	60.6
Planta 8	30.4	50.9	1436.8	30	53.5
Planta 9	27.2	52.9	1419.75	29	51.4
Planta 10	26.3	52.1	1340.25	28	46.7
Promedio	26.35	54.03	1482.43	31.3	57.22
R2					
Planta 1	31.5	52.0	1536.25	29	51.1
Planta 2	27.7	49.6	1394.86	26	42.8
Planta 3	26.0	43.1	1208.65	20	32.6
Planta 4	29.2	44.9	1156.65	21	33.0
Planta 5	30.9	48.3	1340.26	22	36.2
Planta 6	27.8	51.4	1418.25	24	37.9
Planta 7	31.5	52.5	1705.34	31	53.4
Planta 8	28.2	46.1	1085.35	22	36.5
Planta 9	30.5	49.2	1592.35	32	56.4
Planta 10	31.8	49.9	1544.15	26	43.0
Promedio	29.51	48.70	1398.21	25.3	42.29
R3					
Planta 1	28.3	51.8	1484.40	32	58.3
Planta 2	28.0	48.0	1323.75	24	43.1
Planta 3	22.7	50.6	1388.15	26	44.0
Planta 4	24.7	57.9	1732.35	27	45.6
Planta 5	28.8	54.7	1664.25	25	42.5
Planta 6	23.7	48.4	1366.45	24	43.4
Planta 7	26.4	50.9	1433.75	26	47.1
Planta 8	24.9	47.1	1214.85	23	39.6
Planta 9	25.5	47.5	1412.5	28	49.0
Planta 10	22.3	46.7	1458.25	30	54.4
Promedio	25.53	50.36	1447.87	26.5	46.7

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 8: Hoja de datos de parámetros biométricos del T2

	Long. Raíces	Alt. Planta	Área Foliar	# de vainas	Rendimiento
	(cm)	(cm)	(cm ²)		(gr/planta)
R1					
Planta 1	27.7	54.3	1460.34	29	48.2
Planta 2	28.8	56.6	1635.25	35	61.2
Planta 3	24.4	50.5	1365.97	31	51.8
Planta 4	26.5	53.0	1315.45	28	47.4
Planta 5	29.8	55.2	1514.43	30	49.4
Planta 6	28.1	50.8	1401.26	32	51.8
Planta 7	23.5	52.2	1426.15	30	48.5
Planta 8	24.7	49.9	1562.40	35	60.7
Planta 9	30.2	51.7	1518.85	33	57.2
Planta 10	23.3	55.3	1605.36	38	65.9
Promedio	26.7	52.95	1480.55	32.1	54.21
R2					
Planta 1	28.7	48.7	1449.25	29	49.7
Planta 2	30.3	50.8	1468.86	27	45.4
Planta 3	25.5	44.5	1205.45	20	33.5
Planta 4	27.0	46.6	1285.75	27	47.6
Planta 5	31.1	50.2	1405.84	24	40.8
Planta 6	29.6	47.8	1320.15	26	44.6
Planta 7	26.5	44.4	1288.25	24	42.2
Planta 8	30.2	49.9	1341.52	25	43.5
Planta 9	32.3	47.0	1063.96	17	26.7
Planta 10	33.2	54.1	1576.40	27	47.1
Promedio	29.44	48.40	1340.54	24.6	42.11
R3					
Planta 1	22.6	45.8	1317.83	26	42.8
Planta 2	28.4	52.5	1416.56	32	55.5
Planta 3	26.5	51.0	1330.47	28	49.4
Planta 4	25.3	50.7	1366.84	31	54.8
Planta 5	21.7	46.5	1166.96	24	40.7
Planta 6	29.2	53.1	1574.68	32	56.3
Planta 7	25.0	48.4	1352.85	24	41.5
Planta 8	27.9	51.9	1462.16	31	54.4
Planta 9	29.7	54.3	1616.45	36	64.5
Planta 10	23.4	49.7	1372.75	31	51.8
Promedio	25.97	50.39	1397.76	29.5	51.17

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 9: Hoja de datos de parámetros biométricos del T3

	Long. Raíces	Alt. Planta	Área Foliar	# de vainas	Rendimiento
	(cm)	(cm)	(cm ²)		(gr/planta)
R1					
Planta 1	25.9	49.6	1242.66	26	46.6
Planta 2	28.1	53.5	1348.75	25	43.9
Planta 3	29.6	55.0	1586.56	33	58.7
Planta 4	26.4	53.3	1364.12	28	48.2
Planta 5	29.7	56.7	1618.34	34	61.0
Planta 6	24.3	50.9	1246.36	25	47.3
Planta 7	26.8	51.5	1304.83	23	41.0
Planta 8	30.0	55.8	1478.24	30	53.4
Planta 9	31.4	57.2	1658.56	35	63.9
Planta 10	25.2	51.9	1328.22	23	41.6
Promedio	27.74	53.54	1417.66	28.2	50.56
R2					
Planta 1	26.2	48.8	1310.15	22	36.4
Planta 2	31.8	51.0	1338.24	27	44.9
Planta 3	30.3	50.2	1251.34	23	38.3
Planta 4	27.1	48.4	1246.56	22	36.7
Planta 5	33.5	56.5	1536.45	31	55.5
Planta 6	31.2	51.3	1403.78	24	41.2
Planta 7	26.5	49.6	1348.45	26	43.4
Planta 8	34.2	57.5	1522.66	28	49.3
Planta 9	32.7	54.9	1484.56	31	56.1
Planta 10	27.0	49.0	1292.85	25	43.8
Promedio	30.05	51.72	1373.50	25.9	44.56
R3					
Planta 1	30.7	54.6	1541.56	30	54.0
Planta 2	27.6	51.8	1312.76	28	51.5
Planta 3	26.0	50.9	1337.45	30	55.1
Planta 4	28.2	49.6	1224.14	26	48.3
Planta 5	27.3	47.8	1154.16	24	43.9
Planta 6	32.2	53.2	1412.45	28	51.8
Planta 7	30.8	52.5	1447.75	27	48.7
Planta 8	28.6	50.7	1300.43	24	44.2
Planta 9	29.8	51.9	1275.65	25	45.6
Planta 10	26.9	48.5	1161.86	22	40.0
Promedio	28.81	51.15	1316.82	26.4	48.31

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 10: Hoja de datos de parámetros biométricos del T4

	Long. Raíces	Alt. Planta	Área Foliar	# de vainas	Rendimiento
	(cm)	(cm)	(cm ²)		(gr/planta)
R1					
Planta 1	25.1	49.7	1313.86	24	42.3
Planta 2	29.2	54.6	1618.24	35	62.4
Planta 3	28.4	51.8	1399.67	26	47.8
Planta 4	25.0	51.7	1478.78	29	51.6
Planta 5	31.3	55.9	1594.85	34	61.8
Planta 6	28.8	53.6	1455.46	29	52.3
Planta 7	26.6	51.1	1437.56	26	43.6
Planta 8	30.1	56.4	1546.90	32	53.9
Planta 9	27.8	52.3	1390.48	27	47.2
Planta 10	26.0	51.5	1267.88	25	45.4
Promedio	27.83	52.86	1450.37	28.7	50.83
R2					
Planta 1	25.8	48.5	1304.14	29	49.9
Planta 2	33.0	53.0	1656.54	30	48.5
Planta 3	30.6	47.8	1264.75	25	41.0
Planta 4	29.1	46.5	1128.63	18	28.7
Planta 5	30.2	52.4	1545.86	23	36.4
Planta 6	26.9	45.9	1188.92	20	31.7
Planta 7	28.3	49.2	1364.46	28	46.3
Planta 8	31.7	54.1	1734.34	29	47.6
Planta 9	28.4	47.8	1311.84	25	39.8
Planta 10	32.1	52.6	1465.76	26	43.7
Promedio	29.61	49.78	1396.52	25.3	41.36
R3					
Planta 1	31.2	52.2	1478.96	30	59.7
Planta 2	28.1	49.4	1454.06	31	60.8
Planta 3	33.9	54.1	1496.44	29	55.3
Planta 4	29.6	50.5	1374.46	28	52.6
Planta 5	27.3	51.3	1416.78	31	30.8
Planta 6	29.4	52.7	1342.44	29	55.6
Planta 7	34.5	57.3	1635.22	31	58.9
Planta 8	31.7	49.2	1262.86	23	42.7
Planta 9	28.0	50.6	1338.14	25	49.0
Planta 10	35.6	57.0	1512.18	27	56.4
Promedio	30.93	52.43	1431.15	28.4	52.18

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 11: Hoja de datos de los estados de desarrollo del frijol canario centenario

Repetición	Días a la			
	Formación de hojas primarias	Floración	Formación de vainas	Madurez
Tratamiento 0				
R1	11	41	50	93
R2	11	43	50	94
R3	12	40	49	94
Tratamiento 1				
R1	9	39	46	89
R2	10	38	46	90
R3	10	38	45	88
Tratamiento 2				
R1	11	40	47	89
R2	11	38	44	88
R3	9	38	45	88
Tratamiento 3				
R1	10	39	46	90
R2	11	37	45	87
R3	11	39	45	88
Tratamiento 4				
R1	10	41	48	88
R2	10	38	46	89
R3	11	39	46	87

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 12: Análisis de caracterización del suelo de la parcela experimental



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : FERNANDO PAZ ZAGACETA

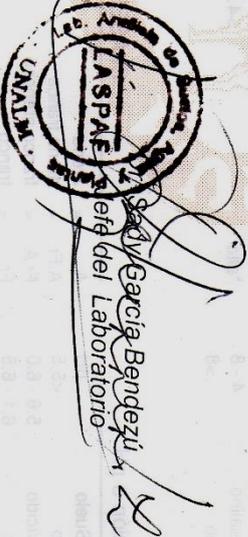
Departamento : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Referencia : H.R. 59336-082SC-17

Provincia : LIMA
 Predio :
 Fecha : 06/07/17

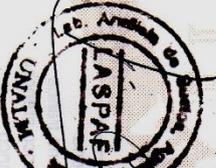
Fact.: 906

Lab	Numero de Muestra	pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	C.I.C	Cationes Cambiables					Suma de Cationes Bases	Suma de Sat. De Bases %	
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
5444		7.26	2.70	1.71	1.64	17.9	106	47	28	25	Fr.	16.001	13.27	1.73	0.70	0.30	0.00	16.00	16.00	100

A = Arena ; A.F. = Arena Franca ; Fr.A = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sergio Garcia Benquez
 jefe del Laboratorio



UNALM

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas, y Fertilizantes (UNALM)

Anexo 13: Análisis de agua de riego

ANALISIS DE AGUA - RUTINA	
SOLICITANTE	: MIGUEL SANCHEZ
UBICACIÓN	: Unalm
RESPONSABLE ANALISIS	: Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS	: La Molina, 15 de Junio del 2017
N° LABORATORIO	7877
N° DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.66
pH	7.52
Calcio meq/l	4.90
Magnesio meq/l	0.83
Sodio meq/l	0.89
Potasio meq/l	0.05
SUMA DE CATIONES	6.67
Cloruro meq/l	1.13
Sulfato meq/l	2.67
Bicarbonato meq/l	2.83
Nitratos meq/l	0.00
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	6.62
SAR	0.52
CLASIFICACION	C2-S1
Boro ppm	0.57

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelos y Medio Ambiente y Fertirriego (UNALM)

Anexo 14: Especificaciones técnicas del TDR150



Principio de medición	Tiempo - métodos de medición de dominio
Rango de medición	VWC: 0 % de saturación (la saturación típica es aprox. el 50 % de agua volumétrica dependiendo del tipo de suelo)
	EC: 0 ... 5 mS/cm
	Temperatura: -30 ... 60 °C
Resolución	VWC: 0.1 % VWC
	EC: 0.01 % mS/cm
	Temperatura: 0.1 % °C
Precisión	VWC: ± 3 % de VWC, con EC < 2 mS/cm
	EC: ± 0.1 mS/cm
	Temperatura: ± 1 °C
Unidades de medición	Contenido volumétrico de agua (VWC)
	Período (lecturas del sensor sin procesar)
Memoria	50 000 mediciones
Pantalla	LCD gráfico, alto contraste, retroiluminada
Batería	4 x Pilas de litio de 1,5 V, tipo AA
	duración para aprox. 100.000 lecturas sin retroiluminación
Dimensiones del cabezal de la sonda	6 x 3,5 cm
Sondas disponibles	Césped: 3,8 cm; Diámetro: 0,5 cm
Longitud	Corta: 7,6 cm; Espaciado: 3 cm
	Media: 12 cm
	Larga: 20 cm
Pesos	Aprox. 640 g
Dimensiones	105 x 70 x 18 mm
Tipos de tierra/suelo	12 disponibles

FUENTE: Extraído del catálogo de la página web de PCE Instruments. Recuperado de <https://www.pce-instruments.com/peru/>

Anexo 15: Especificaciones técnicas del BIOLAC



DESCRIPCIÓN: BIOLAC es un consorcio de microorganismos benéficos o GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros) concentrado líquido de amplio uso en el sector agropecuario. Presenta un complejo de bacterias benéficas cuyos metabolitos mejoran el pH del suelo, acelerando el proceso de descomposición de la materia orgánica e incrementando la población microbiana benéfica del suelo, optimizando la solubilidad de los nutrientes y activando y estimulando los procesos fisiológicos de las plantas. Además, protege el medio ambiente, no contamina el agua y restaura el suelo en el agro ecosistema.

COMPOSICIÓN

Bacterias probióticas y bacteriocinas.

Ácidos orgánicos como ácido láctico y vitaminas de complejo B.

Microorganismos aerobios viables.

Sustancias precursoras de compuestos asimilables por las plantas.

PROPIEDADES:

- Es un acidificante orgánico, pues presenta un pH de 3,5 a 3,8.
- Aumenta la solubilidad de los nutrientes del suelo y su absorción por las plantas.
- Estimula el proceso de germinación de las semillas y las protege de microorganismos fitopatógenos del suelo.
- Optimiza el aprovechamiento de los fertilizantes químicos ayudando a disminuir su uso.
- Incrementa la población de microorganismos benéficos del suelo como bacterias promotoras de crecimiento y suprime el desarrollo de microorganismos fitopatógenos.
- Promueve la secreción de exudados radiculares.
- Es compatible con los plaguicidas de uso común.
- Mejora la resistencia a plagas, enfermedades y factores climáticos adversos.
- Es efectivo para el tratamiento sanitario en pastizales.

FUENTE: Extraído del catálogo de la página web de NOGA-FER PERÚ SAC. Recuperado de <https://www.nogaferperu.com>

Anexo 16: Instalación del sistema de riego



FUENTE: Elaboración propia

Anexo 17: Crecimiento del cultivo de frijol canario centenario



17 marzo - 13 días



25 marzo - 21 días



1 abril - 28 días



20 abril - 47 días



2 mayo - 59 días



2 junio - 90 días

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 18: Verificaciones durante el experimento



(1)



(2)

Perfil del suelo con poliacrilato de sodio (1) y sin polímero (2).



Verificación de presiones en arcos de riego para un riego uniforme.

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 19: Análisis de muestras en laboratorio



Selección de muestras y separación para el conteo de No. de vainas.



Conteo de No. de vainas y separación para tomar medidas de peso.



Secado de vainas del Frijol Canario Centenario.

FUENTE: Elaboración propia