

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“USO DE HIDROGEL EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) var.
CANARIO CENTENARIO BAJO RIEGO POR GOTEIO EN
CONDICIONES DE LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÓNOMA**

ANABEL YESENIA LIÑAN ROMERO

LIMA – PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	TESIS Liñan para analisis de originalidad.docx (D145300363)
Submitted	2022-09-30 23:12:00
Submitted by	Jorge Tobaru
Submitter email	jtobaru@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	jtobaru.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

Entire Document

I.
INTRODUCCIÓN

El frijol canario es un cultivo con alta demanda en el Perú, presenta un rendimiento de 1200 kg/ha y requiere hasta 4000 m³ de agua para su manejo. Su valor nutricional (22 % de proteínas) lo hace parte de la dieta de millones de personas, garantizando de esta manera la seguridad alimentaria a nivel mundial, principalmente en África y América Latina (León, 2006).

La disponibilidad hídrica es uno de los factores de producción más importantes, sin él no tienen lugar las reacciones metabólicas necesarias para el crecimiento y desarrollo vegetal, ni el movimiento de los nutrientes del suelo y disponibilidad en la zona radicular. Por ello el problema de la escasez de agua se ha convertido en una preocupación a escala global debido al uso ineficiente que la agricultura le viene dando a este recurso.

Debido a este problema, el uso de riego tecnificado en cultivos de importancia económica se ha venido expandiendo de manera significativa. En el Perú, por ejemplo, el riego por goteo ha tenido gran impacto en el desarrollo de la agricultura en la costa, donde predominan suelos arenosos y áridos.

Por el alto riesgo e impacto ambiental en estas zonas de alta productividad, es necesaria la búsqueda de tecnología más eficaz y sostenible. Hasta la fecha se han ideado nuevas técnicas para optimizar el manejo del agua, entre ellas están los sistemas de riego más eficientes, sistemas de captación de lluvias, así como las técnicas de retención de humedad edáfica y el uso de materiales genéticos tolerantes al estrés hídrico. El uso de retenedores de humedad (hidrogeles o polímeros superabsorbentes) ayuda a reducir la pérdida de agua por evaporación y percolación, reduciendo la frecuencia de riego y los costos en total. Los hidrogeles insolubles en agua, son de estructura tridimensional, constituidos generalmente por moléculas orgánicas de cadena larga y elevado peso molecular.

Es por lo anterior que se propuso como objetivos del presente estudio el determinar la influencia del poliácido de sodio en el rendimiento del frijol canario, bajo riego por goteo, realizando comparaciones de las variables biométricas a diferentes dosis del polímero y el segundo objetivo fue comprobar la rentabilidad de introducir este tipo de tecnología en las condiciones antes mencionadas.

II. III. REVISIÓN DE LITERATURA

III.1. CULTIVO DE FRIJOL

III.1.1. Generalidades Cántaro (2015) y Yánc (2018) señalan que hace poco menos de 500 años que se estableció la taxonomía del *Phaseolus* y su origen americano. El frijol común es la especie perteneciente al género *Phaseolus*, familia Leguminosae, subfamilia Papilionoideae, tribu Phaseoleae, sub tribu Phaseolinae.

Hernández (2013) refiere que se incluyen cinco especies domesticadas: frijol común (*P. vulgaris*), pallar (*P. lunatus*), frijol tépari (*P. acutifolius*), frijol ayocote (*P. coccineus* ssp. *Coccineus*) y frijol de año (*P. polyanthus* L.). También recalca que esta especie ha sufrido un "cuello de botella" debido a reducción de la diversidad genética en un área relativamente confinada, provocado por la domesticación y la selección de características aún más específicas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

“USO DE HIDROGEL EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) var.
CANARIO CENTENARIO BAJO RIEGO POR GOTEO EN
CONDICIONES DE LA MOLINA”

Tesis para optar el Título de:
INGENIERA AGRÓNOMA

ANABEL YESENIA LIÑAN ROMERO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg. Sc. Amelia Wite Huaranga Joaquín
PRESIDENTA

Ing. Mg. Sc. Jorge Tobaru Hamada
ASESOR

Ing. Mg. Sc. Alfredo Alberto Beyer Arteaga
CO-ASESOR

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Juan Carlos Melchor Jaulis Cancho
MIEMBRO

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, así como todos mis logros, a mis maravillosos padres, y a mi querido hermano, también a las personas que hoy conforman y hacen más feliz a nuestra familia, gracias por su paciencia y soporte. A mis más grandes amigos, por todo su cariño en todas las circunstancias y momentos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Mg. Sc. Jorge Tobaru, asesor de las tesis, y mi co-asesor Ing. Mg. Sc. Alfredo Beyer, por la oportunidad, confianza, y soportes brindados.

A mis jurados, estimados profesores, Amelia Huaranga, Juan Carlos Jaulis, y Gilberto Rodríguez, por sus oportunas apreciaciones y comentarios hacia este trabajo de investigación.

A mi estimado profesor, Fernando Paz por la oportunidad, apoyo, optimismo y motivación durante todo este proceso. Y a la Facultad de Ingeniería Agrícola, por brindarme acceso a sus instalaciones para la toma de datos del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	CULTIVO DE FRIJOL	3
2.1.1.	Generalidades	3
2.1.2.	Importancia del cultivo de frijol	4
2.1.3.	Situación actual del frijol.....	6
2.1.4.	Fisiología del frijol	7
2.1.5.	Absorción de agua	8
2.1.6.	Mecanismo de resistencia a la sequía	8
2.1.7.	Requerimientos edafoclimáticos y factores limitantes para el cultivo de frijol común	10
2.1.8.	Rendimiento.....	13
2.2.	FRIJOL COMUN BAJO RIEGO POR GOTEO	15
2.3.	POLÍMEROS SUPERABSORBENTES	16
2.3.1.	Propiedades generales de los polímeros superabsorbentes.....	16
2.3.2.	Uso de los polímeros superabsorbentes.....	17
2.4.	USO DE POLÍMEROS SUPERABSORBENTES EN LA AGRICULTURA.....	18
2.5.	POLIACRILATO DE SODIO	20
2.5.1.	Características del poliacrilato de sodio	21
2.6.	IMPACTO DEL POLIACRILATO DE SODIO EN EL MEDIO AMBIENTE...	22
III.	METODOLOGÍA	23
3.1.	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	23
3.1.1.	Lugar.....	23
3.1.2.	Historial del campo.....	23
3.1.3.	Análisis de suelo	23
3.1.4.	Variables meteorológicas.....	24
3.2.	MATERIALES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO	24
3.2.1.	Material genético empleado.....	24
3.2.2.	Poliacrilato de sodio	25
3.2.3.	Fertilizantes y químicos utilizados	26
3.2.4.	Herramientas y equipos	26
3.3.	MÉTODO	26

3.3.1. Tratamientos en estudio	27
3.3.2. Instalación y conducción del experimento	27
3.3.3. Variables evaluadas	29
3.3.4. Diseño experimental	30
3.3.5. Características del campo experimental	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. COMPONENTES DE RENDIMIENTO	33
4.1.1. Altura de planta (m) a días después de la siembra (DDS).....	33
4.1.2. Peso promedio de 10 plantas	35
4.1.3. Rendimiento de grano (Tn/ha).....	36
4.1.4. Longitud del tallo principal	37
4.1.5. Número de vainas por planta	38
4.1.6. Longitud de vaina (cm).....	40
4.1.7. Número de granos por vaina.....	41
4.1.8. Número de lóculos por vaina	42
4.1.9. Peso fresco de 100 semillas	43
4.1.10. Días a madurez fisiológica.....	45
4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	46
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	50
VIII. ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información nutricional del frijol común	5
Tabla 2: Características físicas y químicas del Poliacrilato sodio	21
Tabla 3: Resultados de caracterización del suelo	24
Tabla 4: Indicadores meteorológicos.....	24
Tabla 5: Características del frijol canario cv. “Centenario”	25
Tabla 6: Características de la parcela	31
Tabla 7: Análisis de variancia – ANVA.....	32
Tabla 8: Análisis económico con las diferentes dosis de Poliacrilato de Sodio (PS).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Países con mayor consumo de frijol común.....	7
Figura 2: Disminución de la lixiviación nutritiva con el uso de hidrogeles	20
Figura 3: Fórmula química del poliacrilato de sodio.....	21
Figura 4: Evolución de la altura de planta durante el periodo de crecimiento	33
Figura 5: Resultado promedio del peso de 10 plantas	35
Figura 6: Rendimiento de grano para cada tratamiento.....	36
Figura 7: Longitud del tallo principal para cada tratamiento	37
Figura 8: Número de vainas por planta vs Tratamiento	38
Figura 9: Longitud de vaina (cm) vs Tratamiento.....	40
Figura 10: Número de granos por vaina vs Tratamiento	41
Figura 11: Numero de lóculos por vaina vs Tratamiento	42
Figura 12: Peso fresco de 100 semillas para cada tratamiento	43
Figura 13: Días a madurez fisiológica vs Tratamiento.....	45
Figura 14: Terreno antes de la preparación	86
Figura 15: Preparación del terreno	87
Figura 16: Parcela a los 30 días después de la siembra	88
Figura 17: Evaluación de la altura de planta	89
Figura 18: Parcela a 60 días después de la siembra.....	89
Figura 19: Trabajo de desmalezado.....	90
Figura 20: Evaluación de altura de planta	90
Figura 21: Aplicación de biofertilizantes	91
Figura 22: Daño por gusano de tierra	92
Figura 23: Inicio de la floración	92
Figura 24: Llenado de vainas.....	92
Figura 25: Inicio de la madurez fisiológica	93
Figura 26: Madurez fisiológica.....	94
Figura 27: Madurez de cosecha	95
Figura 28: Vainas en madurez de cosecha.....	96
Figura 29: Cosecha	97
Figura 30: Secado de plantas al aire libre	98
Figura 31: Vainas secas al aire libre.....	99

Figura 32: Granos de frijol después de secado al aire libre.....	100
Figura 33: Rotulado de los tratamientos.....	101
Figura 34: Pesado del grano	102

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: CROQUIS DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....	62
ANEXO 2: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO.....	63
ANEXO 3: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO.....	64
ANEXO 3: INDICADORES METEOROLÓGICOS	65
ANEXO 5: PRUEBAS DE NORMALIDAD DE LAS VARIABLES EVALUADAS.....	66
ANEXO 6: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE LAS VARIABLES EVALUADAS.....	67
ANEXO 7: VARIABLES MORFOLOGICAS I.....	68
ANEXO 8: VARIABLES MORFOLÓGICAS II	69
ANEXO 9: VARIABLES MORFOLOGICAS III: ALTURA DE PLANTA A DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA	70
ANEXO 10: VARIABLES EVALUADAS IV	71
ANEXO 11: ANALISIS DE VARIANZA: ALTURA DE PLANTA A DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA	72
ANEXO 12: PRUEBA DE TUKEY PARA TRATAMIENTOS EN LA VARIABLE ALTURA DE PLANTA.....	72
ANEXO 13: PRUEBA DE TUKEY PARA TRATAMIENTOS EN LA VARIABLE ALTURA.....	72
ANEXO 14: PRUEBA DE TUKEY PARA LA VARIABLE ALTURA A DIAS DE SIEMBRA	73
ANEXO 15: PRUEBA DE TUKEY PARA LA VARIABLE ALTURA A DIAS DE SIEMBRA	73
ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO 10 PLANTAS (g).....	73
ANEXO 17: ANALISIS DE VARIANZA RENDIMIENTO (TN/HA).....	73
ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA – LONGITUD DEL TALLO PRINCIPAL (cm).....	74
ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA - NÚMERO VAINAS.....	74
ANEXO 20: ANÁLISIS DE VARIANZA - LONGITUD DE VAINA	74
ANEXO 21: ANÁLISIS DE VARIANZA - NÚMERO DE GRANOS POR VAINA.....	74
ANEXO 22: ANÁLISIS DE VARIANZA NÚMERO DE LÓCULOS.....	75
ANEXO 23: ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO FRESCO DE 100 SEMILLAS.....	75

ANEXO 24: ANÁLISIS DE VARIANZA- DÍAS A MADUREZ FISIOLÓGICA	75
ANEXO 25: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA UTILIZANDO 0 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.45 tn).....	76
ANEXO 26: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA UTILIZANDO 5 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.35 tn).....	77
ANEXO 27: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA UTILIZANDO 10 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.80 tn).....	78
ANEXO 28: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA UTILIZANDO 15 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.34 tn).....	79
ANEXO 29: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA UTILIZANDO 20 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.84 tn).....	80
ANEXO 30: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 0 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIETO: 3.45 tn)	81
ANEXO 31: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 5 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.35 tn)	82
ANEXO 32: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 10 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.80 tn)	83
ANEXO 33: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 15 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.34 tn)	84
ANEXO 34: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 20 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.84 tn)	85
ANEXO 35: MANEJO Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO EN EL CULTIVO DE FRIJOL.....	86

RESUMEN

Los escasos recursos de agua y su uso ineficiente en el sector agrícola, conlleva a probar diferentes tecnologías que buscan reducir los volúmenes a utilizar, sin causar mayor impacto en los rendimientos de los cultivos.

Debido a lo anterior, se ha incluido el uso de retentores de agua como una posibilidad para reducir y mitigar esta problemática. Por ello los objetivos del presente trabajo fueron determinar el efecto del polímero poliacrilato de sodio en el incremento del rendimiento en frijol canario y determinar su rentabilidad. La conducción del cultivo se llevó de manera convencional. El diseño estadístico empleado fue un Diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Se realizó un análisis de variancia para determinar la existencia de diferencias entre las dosis empleadas. Se encontró que el mejor peso fresco y peso seco de cien semillas se consiguió con la dosis de 10 y 15 gramos respectivamente. Pudiendo deberse a la mejor apertura del ostiolo que permite el intercambio gaseoso, promoviendo la fotosíntesis oportuna, además de que el polímero reduce la lixiviación de nutrientes. Al realizar el análisis económico se determinó que la dosis de cinco gramos de poliacrilato de sodio es la más rentable para este experimento.

Palabras clave: Frijol canario, poliacrilato de sodio, polímero.

ABSTRACT

The scarcity of water and its inefficient use in the agricultural sector, leads to testing different technologies that seek to reduce the volumes to be used, without causing a greater impact on crop yields.

Due to the above, the use of water retainers has been included as a possibility to reduce and mitigate this problem. Therefore, the objectives of the present work were to determine the effect of the sodium polyacrylate polymer in the increase of the yield in Canario beans and to determine its profitability. The cultivation conduction was carried out in a conventional manner. The statistical design used was a Random Complete Block Design with three repetitions. To determine the degree of significance between the doses used, with a p value < 0.05 , the MINITAB software was used. Among the results, they stand out that the best fresh weight and dry weight of one hundred seeds was achieved with the dose of 10 and 15 grams respectively. When performing the economic analysis it was determined that the dose of five grams of sodium polyacrylate is the most profitable for this experiment.

Keywords: Canario bean, sodium polyacrylate, polymer.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol canario es un cultivo con alta demanda en el Perú, presenta un rendimiento de 1200 kg/ha y requiere hasta 4000 m³ de agua para su manejo. Su valor nutricional (22 % de proteínas) lo hace parte de la dieta de millones de personas, garantizando de esta manera la seguridad alimentaria a nivel mundial, principalmente en África y América Latina (León, 2006).

La disponibilidad hídrica es uno de los factores de producción más importantes, sin él no tienen lugar las reacciones metabólicas necesarias para el crecimiento y desarrollo vegetal, ni el movimiento de los nutrientes del suelo y disponibilidad en la zona radicular. Por ello el problema de la escasez de agua se ha convertido en una preocupación a escala global debido al uso ineficiente que la agricultura le viene dando a este recurso.

Debido a este problema, el uso de riego tecnificado en cultivos de importancia económica se ha venido expandiendo de manera significativa. En el Perú, por ejemplo, el riego por goteo ha tenido gran impacto en el desarrollo de la agricultura en la costa, donde predominan suelos arenosos y áridos.

Por el alto riesgo e impacto ambiental en estas zonas de alta productividad, es necesaria la búsqueda de tecnología más eficaz y sostenible. Hasta la fecha se han ideado nuevas técnicas para optimizar el manejo del agua, entre ellas están los sistemas de riego más eficientes, sistemas de captación de lluvias, así como las técnicas de retención de humedad edáfica y el uso de materiales genéticos tolerantes al estrés hídrico. El uso de retenedores de humedad (hidrogeles o polímeros superabsorbentes) ayuda a reducir la pérdida de agua por evaporación y percolación, reduciendo la frecuencia de riego y los costos en total. Los hidrogeles insolubles en agua, son de estructura tridimensional, constituidos generalmente por moléculas orgánicas de cadena larga y elevado peso molecular.

Es por lo anterior que se propuso como objetivos del presente estudio el determinar la influencia del poliacrilato de sodio en el rendimiento del frijol canario, bajo riego por goteo, realizando comparaciones de las variables biométricas a diferentes dosis del polímero y el segundo objetivo fue comprobar la rentabilidad de introducir este tipo de tecnología en las condiciones antes mencionadas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CULTIVO DE FRIJOL

2.1.1. Generalidades

Cántaro (2015) y Yánac (2018) señalan que hace poco menos de 500 años que se estableció la taxonomía del *Phaseolus* y su origen americano. El frijol común es la especie perteneciente al género *Phaseolus*, familia Leguminosae, subfamilia Papilionoideae, tribu Phaseoleae, sub tribu Phaseolinae.

Hernández (2013) refiere que se incluyen cinco especies domesticadas: frijol común (*P. vulgaris*), pallar (*P. lunatus*), frijol tépari (*P. acutifolius*), frijol ayocote (*P. coccineus* ssp. *Coccineus*) y frijol de año (*P. polyanthus* L.). También recalca que esta especie ha sufrido un “cuello de botella” debido a reducción de la diversidad genética en un área relativamente confinada, provocado por la domesticación y la selección de características aún más específicas.

Yánac (2018) refiere que la domesticación de esta especie herbácea y anual, ocurrió en forma independiente en cada región a partir del acervo local. El frijol común es una de las últimas plantas en ser domesticadas en Mesoamérica, gracias a las pruebas de radiocarbono que se realizaron a restos vegetales hallados en las cuevas de México (Oaxaca, Puebla y Tamaulipas) y Perú (Huaylas), se pudo determinar que la domesticación de *P. Vulgaris* se dio aproximadamente 5000 años a.c.

Quenter (2013) expresa que la variabilidad en las formas de consumo, como grano seco y vainita principalmente, hace que esta especie sea la legumbre más consumida del mundo, pues provee hasta un 15% de calorías y 30% de proteínas del requerimiento diario en continentes como África y América. En América Latina y África Subsahariana es considerado

como un alimento básico, complementándose con los cereales.

En el 2017 según datos de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial fue de 31,4 millones de toneladas cosechadas en 29,92 millones de hectáreas, siendo la India el principal productor con el 20.3% del total, encabezando también la tabla de consumidores.

Pumalpa (2016) afirma que la variedad en tamaño, forma y color propicia diversidad en la preferencia de producción y consumo en la población. En la Costa Norte y Central del Perú el grano más consumido es el frijol canario.

2.1.2. Importancia del cultivo de frijol

a. Importancia económica

La FAO (2015) reporta que la siembra de frijol común se da a nivel mundial, con una mayor participación de América Latina y África. La mayor producción y consumo de frijol común se da en países con déficit económico y alimentario, donde el cultivo resulta crucial para la estabilidad económica y seguridad alimentaria. La otra mitad proviene de países desarrollados como Estados Unidos, donde el cultivo genera hasta \$1.5 billones en ingresos, con 769 000 ha de superficie cosechada de frijol seco.

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego reporta que, en el Perú, el frijol es una de las leguminosas más cultivadas. En el año 2017 el rendimiento promedio fue de 1147.3 kg/ha en 65 988 ha. Las proyecciones indican que para el año 2050 los rendimientos del frijol común deben aumentar en 30% a nivel mundial para satisfacer la nueva demanda y garantizar la seguridad alimentaria, principalmente en África y América Latina (MINAGRI, 2017).

b. Importancia nutricional

El frijol es una fuente proteica de gran importancia en la dieta alimenticia, sobre todo en países del tercer mundo. La cantidad de proteínas de alta digestibilidad asciende a 22%, contiene alrededor de 60% de carbohidratos, aporta cantidades significativas de

vitaminas A, B1-Tiamina, B2- Riboflavina y C-Ácido ascórbico y minerales (Ca, Mg, Fe) (Palomino, 2014).

El consumo de frijol trae consigo beneficios importantes en la salud, como la disminución del riesgo en el padecimiento de enfermedades crónicas cardiovasculares y cáncer de colon, mama y próstata. Además, es frecuentemente recomendado a diabéticos debido al bajo índice glicémico y la población infantil con anemia gracias su aporte de hierro (Yánac, 2018).

El CIAT viene probando variedades de frijol biofortificado que aporten mayores contenidos de Fe y Zn para ayudar a reducir los índices de anemia en niños y mujeres y a la vez incrementar el vigor, inteligencia y fertilidad en este sector de la población (Pumalpa, 2016).

Tabla 1: Información nutricional del frijol común

Componente	Valor
Energía	334.00 kcal
Proteína	21.10 g
Grasas	1.50 g
Carbohidratos	55.40 g
Tiamina	0.63 mg
Niacina	1.80 mg
Calcio	183 mg
Hierro	4.70 mg

FUENTE: Fundación Universitaria Iberoamericana (2018)

c. Importancia agronómica

La importancia agronómica del frijol, según Vázquez (1996), se debe a su capacidad como mejorador del suelo, en asociación con bacterias del género *Rhizobium*. Esta fijación biológica es máxima durante el desarrollo de vainas y de granos. En esta etapa la cantidad de nitrógeno, en forma de amonio, en el suelo y en la absorción de las raíces va disminuyendo, colocando a este proceso natural por encima de la fertilización química convencional. Pumalpa (2016) señala que esta capacidad es sumamente importante en países de América tropical cuyos suelos tienen poca disponibilidad de

nitrógeno considerándose uno de los factores limitantes más importantes del cultivo, ya que es el responsable del 75% del incremento en el rendimiento.

2.1.3. Situación actual del frijol

En la actualidad Estados Unidos encabeza la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), alcanzando un 37% de la producción total, seguido de la India con un 17%. En el Perú las legumbres más importantes como el frijol, el haba, la arveja, frijol caupí, tarhui y pallar, abarcan una superficie cosechada de 208,868 hectáreas a nivel nacional. Dentro de los cultivos transitorios más importantes el frijol común ocupa el octavo lugar con 78,571 ha de superficie cosechada (San Román, 2019).

El máximo histórico de este cultivo se dio en el 2017 con 31.4 millones de toneladas, según datos de la FAO, correspondiéndole a India el 20.3% de este volumen. Los máximos rendimientos fueron obtenidos por Estados Unidos con 1,997 kg/ha, y los más bajos en India, con 414 kg. El rendimiento promedio nacional es de 1,147.28 kg/ha.

CEDRSSA (2020) refiere, respecto al consumo, que el 57.8% se concentra actualmente en India (21.9%), Brasil (18.5%), México (7.3%), Estados Unidos (5.2%) y Uganda (4.9%). El consumo per cápita de frijol común es mínimo en mayor parte del mundo, en comparación con otros granos básicos, este alcanza un promedio de 2.5 kilogramos anuales. Según la FAO, en Perú es de 2.3 kilos, en la costa, en la sierra 1.9 kilos y en la selva 5.6 kilos, mientras en algunos países desarrollados como Alemania o Francia, solo llega a 1.0 kg. En Estados Unidos, el público consumidor es principalmente de origen hispano, alcanzando un consumo per cápita de 3 kg, según la data del USDA.

El comercio internacional de frijol es reducido si se compara con otros productos como cereales y oleaginosas, exportándose anualmente alrededor de 3.7 millones de toneladas, que equivale al 13% en volumen de la producción mundial.

A nivel mundial el 70% del cultivo de frijol se encuentra bajo el sistema de agricultura de secano, por ello la producción y los rendimientos son altamente dependientes de la cantidad y distribución de la precipitación principalmente, y de otras condiciones ambientales (El

economista, 2019).

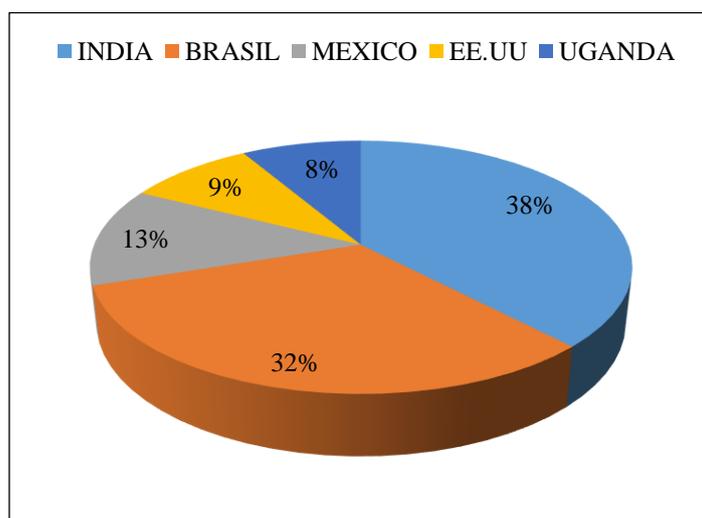


Figura 1: Países con mayor consumo de frijol común

FUENTE: Elaboración propia.

2.1.4. Fisiología del frijol

Cántaro (2015) señala que los procesos fisiológicos tienen un efecto directo sobre el crecimiento y morfogénesis de la planta. Estos eventos metabólicos interactúan entre sí y se pueden dividir en dos grupos:

a. Procesos de crecimiento

Estos procesos están directamente relacionados con la acumulación y distribución de materia seca, estos a su vez son consecuencia del balance entre la fotosíntesis, respiración y las pérdidas ocasionadas por la senescencia y abscisión. Buenos rendimientos obedecen a una adecuada distribución de la materia seca. Pueden ser medidos como acumulación de nudos, expansión de hojas, elongación de tallos, etc. los principales procesos fisiológicos dentro de este grupo son la respiración, fotosíntesis y el metabolismo de nitrógeno, cuya importancia recae en el alto valor proteico de frijol común (Cada 20 – 24% de proteínas, involucra un 4% de N). Román (1990) agrega que, si el frijol conserva su área foliar durante 80 días en campo, podrá producir hasta 40 toneladas de materia seca.

b. Procesos de desarrollo

La germinación, el crecimiento vegetativo, crecimiento reproductivo, senescencia y abscisión, son procesos de desarrollo altamente dependientes del fotoperiodo y la temperatura. Estos cambios morfológicos conllevan a la formación de flores y vainas, y son resultado de procesos como la elongación de tallos, diferenciación floral de las yemas y crecimiento de vainas.

Román (1990) refiere que el crecimiento involucra el aumento del tejido o del área foliar y el desarrollo envuelve la diferenciación, donde la planta pasa de un estado vegetativo, a una fase reproductiva.

2.1.5. Absorción de agua

El agua constituye el 90% del peso celular de las plantas y participa activamente en el proceso de fotosíntesis. Este elemento es de vital relevancia pues ayuda a mantener la presión de turgencia, haciéndose fundamental en los procesos de crecimiento y desarrollo, para los cuales es necesario que la absorción se lleve con éxito. En este proceso de absorción el agua ingresa desde la solución del suelo hacia el interior de las células radicales por medio de procesos osmóticos, ya que estas tienen una menor concentración de agua que el suelo. La velocidad de absorción de agua se encuentra determinada por la eficacia del sistema radical y el medio ambiente que lo rodea. Los pelos radiculares, que son grandes proyecciones tubulares, incrementan la superficie de la raíz logrando una mayor eficiencia en la absorción de agua por parte de la planta. El agua absorbida por estos pelos atraviesa el córtex y el cilindro vascular que la conduce hacia el tallo. La temperatura del suelo, aireación, cantidad de agua suministrada al suelo, y el estrés, afectaran de manera significativa a la fisiología vegetal (Gonzales, 2007).

2.1.6. Mecanismo de resistencia a la sequía

Camalle (2013) refiere que conforme se incrementa la sequía, hay una disminución de la turgencia, viéndose afectados, principalmente, la expansión y crecimiento celular.

Mullet (2009), cita tres mecanismos de resistencia a la sequia que las plantas han desarrollado, escape, evasión y tolerancia a la sequía.

a. Escape a la sequía

Se debe a un alto grado de plasticidad y variabilidad genética respecto a la fenología, donde la planta modifica su ciclo de vida de tal forma que esta concluye antes de presentarse el déficit hídrico. Este mecanismo es muy importante en plantas de grano, cuyo periodo crítico al estrés hídrico se da durante la fase reproductiva (Domínguez *et al.*, 2019 y Mullet, 2009).

b. Evasión a la sequía

El principio de este mecanismo es el ajuste osmótico, que consiste en mantener un alto potencial hídrico en los tejidos o tolerar los bajos potenciales hídricos durante la sequía. Una de estas características adaptativas es la reducción de la pérdida de agua a través del cierre de estomas y reduciendo la absorción de luz por medio de tricomas o reducción del área foliar (Mullet, 2009).

c. Tolerancia a la sequía

Es el mecanismo que permite a las plantas soportar la deshidratación gracias a la acumulación de proteínas (deshidrininas y proteínas de choque térmico) y al incremento de enzimas y rutas metabólicas que protegen a los tejidos vegetales de las especies reactivas de oxígeno (superóxido, peróxido de hidrógeno, radicales de hidroxilo), los cuales podría dañar irreversiblemente el aparato fotosintético durante los periodos de déficit hídrico, al reaccionar con las macromoléculas biológicas más sensibles. Se consideran tres tipos de moléculas antioxidantes: superóxido dismutasa, las catalasas (CATs) y peroxiredoxinas (Mullet, 2009 y Villordo, 2015).

2.1.6.1. Respuesta morfológica al estrés por sequía

Según Rao (2001), la respuesta hidrotópica es la capacidad que tienen las plantas para tolerar ambientes secos. La disponibilidad de agua puede modificar la relación entre la parte aérea y radicular. A mayor profundidad la humedad se incrementa, y durante el estrés las raíces pueden detener su crecimiento cuando se topan con zonas secas y direccionarse hacia donde puedan captar mayor cantidad de humedad. El desarrollo radicular se ve influenciado por factores bióticos como la pudrición radicular y factores abióticos como la compactación del suelo, pH, disponibilidad de la humedad y fertilidad del suelo.

Además, según Camalle (2013) una respuesta a la sequía, por parte de las plantas de frijol, es inhibir el crecimiento de raíces adventicias y secundarias, y retomarlas cuando se vuelva a percibir el riego.

2.1.6.2. Respuesta fisiológica al estrés por sequía

Villordo (2015) sostiene que la apertura y cierre de estomas, conformado por dos células especializadas denominadas “células guarda”, permite la difusión del CO₂ durante la fotosíntesis, la regulación de la temperatura, el flujo del agua y nutrientes desde la raíz hacia los nuevos brotes, sin embargo este mecanismo es el responsable del 90% de la pérdida de agua, llamada también “conductancia estomática” que está directamente relacionada con el tamaño de la abertura de los estomas, por el contrario la inmovilización del CO₂ y H₂O en los estomas se denomina “resistencia estomática”.

En condiciones hidratadas las células guardan se abren, ya que entran a un estado de turgencia ejercida por la presión del agua, por el contrario, en condiciones de sequedad de la hoja, estas se cierran.

El cierre de estomas se inicia cuando el mesófilo sufre deshidratación y el contenido de ácido abscísico se incrementa en el apoplasto, el cual llegara a las células guarda a través de la corriente de transpiración. Esta fitohormona produce una pérdida de iones K⁺ y de aniones Cl⁻ o malato²⁻, lo que provoca una salida de agua del citoplasma, teniendo como resultado el cierre de las estomas.

2.1.7. Requerimientos edafoclimáticos y factores limitantes para el cultivo de frijol común

a. Suelo

San Román *et al.* (2019) y Vílchez (2015) señalan que el suelo ideal para un óptimo crecimiento es el franco, limoso, franco arcilloso limoso, con pH comprendido entre 5.5 - 7.0. El frijol no es tan exigente respecto a las condiciones físicas del suelo, pero crecen favorablemente en suelos con buen drenaje y aireación, evitando los suelos húmedos, calizos y/o salinos, debido a su alta sensibilidad, sobre todo cuando las sales aparecen

en forma de cloruro sódico, y cuando la conductividad eléctrica del suelo es mayor o igual a 2 ds/m, lo que puede reducir los rendimientos hasta un 50%.

Para obtener mejores rendimientos, la dosis de nitrógeno a aplicar debe ser baja, de lo contrario se desarrollará susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades, sumándose un desarrollo excesivo que reduce la cosecha del grano. El cultivo responde bien a la fertilización fosfatada, pero no a la fertilización potásica debido a la alta disponibilidad de este nutriente en las costas del país (Espinoza, 2009).

b. Luz

San Román *et al.* (2019) refiere que la importancia de la luz recae directamente en la fotosíntesis, afectando también la fenología y la morfología.

El fotoperiodo óptimo que induce a la floración es de 8 a 14 horas, siendo una especie de días cortos. Si se disminuyen estas horas se puede producir achaparramiento o un desarrollo rastrero, mientras que los días largos pueden retardar la floración y madurez. Tal es el efecto de la luz que, si se incrementa una hora de luz por día, la maduración se retarda de dos a seis días.

Un factor importante en la captación de luz es la nubosidad. El 90% de la luz es captada por el 40-50% de las hojas superiores. Las hojas que se encuentran en posición horizontal afectan en la incidencia de la luz en hojas inferiores. Cántaro (2015) recalca la importancia del área foliar, por ende, cualquier factor que incida sobre este recaerá directamente en el rendimiento final.

c. Agua

Gonzales (2017) refiere que el déficit de agua afecta seriamente si ocurre en la etapa de formación y llenado de vainas y el exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades.

El cultivo de frijol requiere de un suelo húmedo para su buena germinación, y es muy exigente los primeros 50 días después de la siembra. Requiere de 300 a 400 mm de

lluvia o 3500 a 4500 m^3 . Bajo el sistema de riego por gravedad requiere de al menos tres riegos, a los 30, 50 y 65 días después de la siembra.

Pumalpa (2016) afirma que la frecuencia de riego está directamente relacionada con los componentes de rendimiento, tales como el número de vainas por planta, granos por vaina y el peso de 100 gramos.

Yánac (2018) expresa que el periodo crítico del cultivo es 15 días antes de la floración y 18-22 días antes de la madurez de las primeras vainas, 15 días antes de la cosecha el campo debe mantenerse seco.

Espinoza (1987) agrega que, a mayor frecuencia de riego, mayor es el número de vainas por planta, granos por vaina, peso de 100 granos y el rendimiento.

White (1988) señala que, más del 60% de los cultivos en los países del tercer mundo sufren problemas de sequías, aunque en condiciones locales la capacidad de extracción de las aguas profundas gracias al crecimiento radicular de algunas líneas estudiadas por el CIAT – Palmira, pueden tolerar la falta de agua hasta 14 días después de la siembra.

La capacidad de orientación de las hojas, los ajustes osmóticos, la baja densidad de estomas y el área foliar son otros factores relacionados con la tolerancia a la sequía.

d. Humedad del suelo

La humedad del suelo debe ser uniformemente distribuida a lo largo de toda la fase vegetativa, pero toma mayor importancia durante el periodo de floración y fructificación, para asegurar la fijación de nitrógeno y el buen crecimiento, la capacidad de campo debe mantenerse en 70%. Conforme el ciclo avanza la planta de frijol se hace más sensible a la falta de humedad, ya que al verse esta disminuida, también disminuye la velocidad de crecimiento (Espinoza, 2009).

e. Humedad relativa

La humedad relativa óptima del aire durante la primera etapa es del 60% - 65%, posteriormente varia de 65% - 75%. La humedad relativa muy alta propicia el desarrollo de enfermedades e interfiere en la fecundación, también puede provocar la intumescencia, follaje abundante y vainas que no se exponen directamente al sol, mientras humedad relativa baja sumada a altas temperaturas puede provocar la caída de flores. Las oscilaciones no deben ser excesivas y el grado de daño ocasionado dependerá del momento en que suceda, así el periodo crítico se da durante las primeras etapas de floración, en el que se desarrolla el mayor porcentaje de vainas, por ello durante esta fase la HR debe ser menor a 50% (Cántaro, 2015; Yánac, 2018).

f. Temperatura

El rango de tolerancia a la temperatura es muy amplio entre las diferentes variedades, pero en promedio la planta de frijol crece bien entre temperaturas de 15 a 27 °C. Las temperaturas extremas pueden traer consigo problemas de esterilidad o falta de floración. Pero si esta sobre pasa los 40°C o están por debajo de 5°C por un tiempo prolongado, ocurren daños irreversibles debido a la disociación de las proteínas enzimáticas y membranas celulares, la estabilidad de estas y la tolerancia frente a rangos extremos de temperatura está regida por un factor genético (White, 1988).

San Román (2019) señala que el frijol común es poco tolerante a las altas temperaturas, por ello las variedades más empleadas son las que están adaptadas a regiones de elevaciones media a alta o las que se siembran en épocas con temperatura moderada.

2.1.8. Rendimiento

Sorel (2014) indica que la interacción genotípica y la del medio ambiente dificultan seleccionar solo un carácter como rendimiento.

El rendimiento es considerado una característica cuantitativa y los numerosos genes que interactúan sufren el efecto del medio ambiente, mientras tanto sus componentes fisiológicos están gobernados de manera individual por uno o pocos genes. Probablemente los genes cuantitativos se encuentren en mayor número que los cualitativos. A su vez, San Román

(2019) señala que estos componentes son la acumulación de fotosintatos (expresado como el peso seco total de la planta) o la distribución de estos fotosintatos (expresado en el peso de la semilla).

Según Camarena *et al.* (2009), en general el rendimiento es el resultado de procesos fisiológicos manifestados en la morfología de la planta, en la forma en cómo se acumula y distribuye la materia seca, esta acumulación es la resultante del balance de los procesos de fotosíntesis, respiración y pérdidas por senescencia y abscisión.

El CIAT (1983) menciona que debido al efecto de compensación es difícil seleccionar un solo componente que determine el rendimiento. Por ello puede ser descrito de diferentes formas, todas ellas están basadas en los factores que multiplicados equivalen a él.

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso de una semilla} \times \text{semilla/vaina} \times \text{vainas /planta} \times \text{plantas/m}^2$$

Los componentes del rendimiento pueden ser agrupados de dos formas:

- a. Morfológicos: número de vainas, número de ramas por planta, número de semillas por vaina y peso seco individual de: tallos, ramas, vainas y semilla.
- b. Fisiológicos: tamaño, duración del crecimiento foliar, el área foliar por unidades de peso y eficiencia de translocación de fotosintatos.

Por la forma en que influyen en el rendimiento:

- Directos: número de vaina, índice del vigor y peso en 100 gramos.
- Indirectos: precocidad (número de nudos al primer racimo, número de días entre siembra y la floración), área foliar, aptitud de regular y resistir a la sequía o el frío.

Zanabria (2015), manifiesta que en la búsqueda de mejores rendimientos se recurre a la selección de cultivares que transportan materia seca y nitrógeno a las semillas más eficientemente, a esto se le suma la combinación adecuada de los estados de crecimiento de la planta y el llenado de vainas.

2.2. FRIJOL COMUN BAJO RIEGO POR GOTEO

Escoto (2004) hace referencia que el frijol común es una especie altamente sensible al exceso o déficit de humedad en el suelo, este factor es sumamente influyente y pueden ser perjudiciales en la producción del frijol. Por ello el sistema de riego a utilizar y la programación de este, es de vital importancia para obtener rendimientos aceptables.

El Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura señala que el riego por goteo es utilizado en los cultivos de hileras y es uno de los sistemas con mayor eficiencia en la utilización del recurso hídrico, alcanzando niveles de 90 a 95%, manifestándose en un ahorro sustancial en los volúmenes de agua a aplicar, superando al sistema de riego por gravedad cuya eficiencia alcanza el 50%. El agua irriga directamente la zona radicular, por medio de tuberías y emisores que se encuentran a 30 cm de distanciamiento, formando un bulbo húmedo.

En el Perú, existe una mínima cantidad de hectáreas sembradas de frijol común, bajo sistema de riego por goteo, concentrándose su uso en la costa central para fines de estudio. En las zonas de mayor producción, método de riego el más utilizado por los agricultores sigue siendo el sistema por gravedad (INTAGRI, 2020).

Londoño (2019) refiere que entre las ventajas de implementar el sistema de riego por goteo se encuentran, el alto rendimiento, gracias al diseño agronómico e hidráulico que suministra agua constante y necesaria, evitando las pérdidas por escorrentía, reduciendo el consumo de agua entre 30 y 60 por ciento, respecto de los otros métodos. Permite la fácil y óptima aplicación de fertilizantes, pues implica el contacto directo con la raíz. Su instalación puede darse en terrenos irregulares, y suelos de textura que van desde arcilloso hasta arenosos. Previene el crecimiento excesivo de malezas.

Una de las desventajas de este sistema, es que requiere de un mecanismo de presión para llevar el agua a todos los emisores con un caudal constante, resultando en una mayor inversión. También es sumamente importante la limpieza y mantenimiento de emisores, laterales y de la zona de cabezal, pues podría generar obstrucciones que dificulten el suministro del agua.

Instituto Nacional de Innovación Agraria señala que el cultivo de frijol bajo sistema de riego por goteo utiliza aproximadamente 3000 m³/ha/campaña (INIA, 2013).

Escoto (2004) en su trabajo realizado en el Altiplano de Danlí y Comayagua, en condiciones de temporal, utilizando variedades mejoradas, comparó dos sistemas de riego, por goteo y por gravedad, obtuvo rendimientos de 50 y 35 QQ/MZ respectivamente.

2.3. POLÍMEROS SUPERABSORBENTES

Arcayo (2018) menciona que puede retener más de 1500 gramos de agua por gramo de polímero superabsorbente (SAP) la primera aplicación de este material fue en pañales.

Suarez (2017) y Chapilliquen (2018) mencionan que los hidrogeles son materiales poliméricos entrecruzados que forman una red tridimensional de origen natural o sintético, que se hinchan y forman materiales blandos y elásticos al entrar en contacto con el agua, manteniendo en su estructura una gran cantidad de este elemento sin disolverse. La transición conformacional de la red elásticamente activa puede verse a escala macroscópica. Gracias a las propiedades semilíquidas y semisólidas se pueden observar comportamientos de relajación que no se encuentran en el estado sólido o líquido. Los hidrogeles sintéticos con propiedades mecánicas de rápida respuesta, son los que deben ser utilizados para desarrollar nuevas tecnologías.

2.3.1. Propiedades generales de los polímeros superabsorbentes

Orbegoso (2017) menciona que existen propiedades comunes a todos los polímeros que los distinguen de otros materiales.

Densidad: es de fácil manipulación debido al gran tamaño y ligereza de los átomos que la componen. Su densidad es relativamente baja y va de desde 0.9 hasta 2.3 gr/cm³.

Conductividad térmica: la absorción y eliminación de calor se da lentamente debido la ausencia de electrones libres. Por este motivo son utilizados como aislantes térmicos, aunque a la vez los procesos de transformación de este producto son costosos.

Conductividad eléctrica: En cuanto a su conductividad eléctrica, presenta una alta resistencia a ella por lo que son utilizados como aislantes en aparatos y conducciones que funcionan con corriente o la transportan.

Propiedades ópticas: debido a su naturaleza amorfa, tienen un acomodo al azar de sus moléculas, por ello no hay difracción de la luz importante, esto permite una muy buena transparencia y transmitancia de luz por encima del 90%.

La resistencia química: los polímeros amorfos presentan una mayor solubilidad que los cristalinos, estos últimos tienen mayor resistencia química, por ello las grietas que se producen no se propagan fácilmente, o lo hacen solo hasta que llegan a la zona cristalina.

Gonzales (2007) refiere que se produce el hinchamiento gracias a un balance entre las fuerzas cohesivas y dispersivas intermoleculares que intervienen en las cadenas hidratadas. Las fuerzas cohesivas pueden provenir, en primera medida, de entrecruzamientos covalentes de fuerzas electrostáticas, hidrofóbicas o fuerzas dipolo-dipolo, mientras que las fuerzas dispersivas se deben en parte a una repulsión entre los iones fijos de la red. La energía libre de mezcla y la respuesta del entrecruzamiento son fuerzas que favorecen el hinchamiento de los hidrogeles.

El mismo autor señala que los geles que contienen grupos funcionales como ácidos carboxílicos en su estructura, aumentan su ionización al aumentar el pH, resultando en un incremento del número de cargas en la red polimérica, esto provoca mayores repulsiones electrostáticas entre las cadenas. Produciéndose un incremento en la hidrofilia de la red, en consecuencia, un mayor hinchamiento del material.

2.3.2. Uso de los polímeros superabsorbentes

Cárdenas y Rivera (2018) señalan que uno de los principales usos es en la elaboración de pañales y derivados.

Del Castillo y García (2017) indican que polímeros como el poliacrilato de sodio, actúan como agentes secuestradores en detergentes, haciéndolos más eficientes al captar elementos

del agua.

Otra utilidad que se le da a este compuesto es como agente espesante del agua. También sirve para proteger de la humedad a cables y componentes electrónicos.

Estrada *et al.* (2010) refieren que en los últimos años ha tenido notable protagonismo en sus aplicaciones en el área de la remediación ambiental.

Arredondo y Londoño (2008) mencionan que los hidrogeles presentan biocompatibilidad, es decir, interactúan con los tejidos vivos, por lo que se utilizan regularmente en medicina. Esto gracias a su contenido de agua, elasticidad y consistencia blanda. Las células y proteínas no se adhieren a su superficie por ser un material inerte. Gracias a su capacidad de absorción e hinchamiento, son utilizados para retener y liberar soluciones orgánicas en condiciones controladas. También pueden ser aplicados como prótesis en tejidos, en implantes cerebrales, trasplante y liberación de células en la regeneración de axones, cirugía de córnea y corrección de glaucomas, hemodiálisis, tratamientos de cáncer cargando el hidrogel con un fármaco que puede liberarse tras detectar cambios externos como la temperatura, luz pH.

2.4. USO DE POLÍMEROS SUPERABSORBENTES EN LA AGRICULTURA

Gutiérrez (1998) refiere que los polímeros súper absorbentes (SAP) por sus siglas en inglés se crean en los años 70's con el propósito de incrementar la capacidad de retención de agua en invernaderos. Actualmente se utiliza en fruticultura, huertos y la producción de pastos. Señala también que el uso de polímeros absorbentes mejora el medio de crecimiento y favorece el trasplante. Los hidrogeles también son usados como vehículo protector de semillas germinadas en la técnica de siembra líquida. Pili y Watts (1983) utilizaron gel fortificado con nutrientes como medio de crecimiento para plántulas de tomate.

Orbegozo (2017) expone que mezclando el polímero con el suelo se logra un mejor aprovechamiento del agua, ya que disminuye las pérdidas por filtración y evaporación, lo cual mejora la actividad biológica e incrementa la producción del suelo. Existe también una mejora en la estructura y aireación, por lo que estos materiales son de gran ayuda en la recuperación de zonas semiáridas y terrenos poco fértiles al usarse de manera extensiva. Al

usarse mezclado con abonos, proporciona una adecuada reserva de agua para los plantones en campañas de reforestación, debido a que las primeras etapas de adaptación al terreno suelen ser las más críticas. Gonzales (2007) señala que además se reducen las pérdidas por infiltración y lixiviación de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) al hacer aplicación de fertilizantes, debido posiblemente a la interacción de este último con el polímero.

Asimismo, Del Castillo y García (2017) refieren que los SAP se utilizan en el suelo para establecer una reserva de agua cerca de la zona de la rizósfera. Aunque la eficacia de absorción de agua y nutrientes por los SAP es considerablemente menor en agua salina que en agua destilada.

Estudios anteriores se centraron en el efecto del uso de SAP sobre el crecimiento y producción de plantas y sobre las principales propiedades físicas y químicas del suelo como pH, la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de agua del suelo, con la finalidad de controlar la erosión del suelo y manejar de manera más eficiente el recurso hídrico.

Arcayo (2018) señala que, al aplicarse un SAP en todo el perfil del suelo, este aumenta su capacidad de almacenamiento, pero a la vez se incrementa la evaporación, por ello es más recomendable aplicarlo bajo la superficie del suelo, en la zona radicular.

Borda (2013) en su trabajo de investigación para optar su título de ingeniero agrónomo, evaluó el efecto del residuo industrial (poliacrilato) en el crecimiento de plantas de tomate, concluyendo que los tratamientos en los que se usó poliacrilato de sodio arrojó mejores resultados en cuanto a rapidez de crecimiento y disminución del periodo vegetativo.

Inga (1999) en su trabajo de tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo, evaluó el efecto del uso de polímeros absorbentes en la producción de rosas injertadas en vivero. En este estudio concluyó que obtuvo no solo una mejor producción (mayor porcentaje de materia seca y menor periodo de producción), sino también un mejor aprovechamiento del nitrógeno y otros elementos.

Andrada y Di Bárbaro (2018) sostienen que en el cultivo de lechuga desarrollado en suelo se presentó un mayor porcentaje de supervivencia y mayores rendimientos, al mejorar el contenido de humedad en el agroecosistema empleando un polímero absorbente (poliacrilato de potasio), sugiriendo una dosis de 25 kg/ha.

Sayed y colaboradores (1991) probaron el efecto del hidrogel de cultivos hortícolas sembrados bajo condiciones de salinidad. Afirmaron que el polímero puede ser empleado como un mejorador del suelo, pues incrementa la tolerancia de las plantas cuando son sembrados en estas condiciones de estrés. Estos cultivos presentaron un incremento de la materia seca de las plantas, en área foliar, savia, color de clorofila, clorofila de carotenoides; actividad fotosintética, total de aminoácidos, prolina y proteína total, comparado con los resultados del cultivo sembrados en arena.

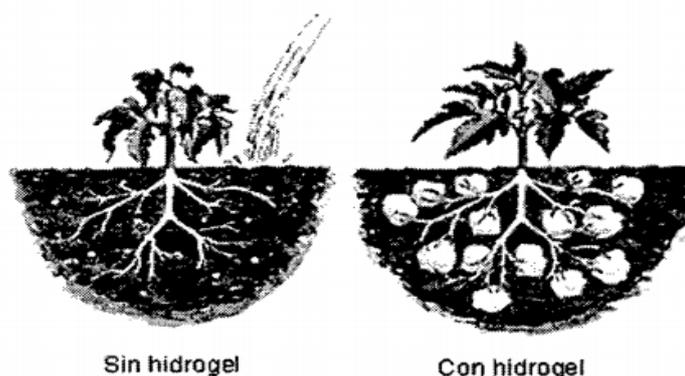


Figura 2: Disminución de la lixiviación nutritiva con el uso de hidrogeles

FUENTE: Gonzales (2007)

2.5. POLIACRILATO DE SODIO

Huaygua (2016) menciona que el poliacrilato de sodio es un polielectrolito (polianión) formado por acrilatos, estos son ésteres que contienen grupos vinílicos, es decir, dos átomos de carbono unidos por un doble enlace. Cárdenas y Rivera (2018) agregan que los grupos carboxilato de sodio ($-\text{COONa}$) que van colgando de una cadena principal, se desprenden iones sodio (Na^+) al contacto con el agua, liberando los grupos negativos ($-\text{COO}^-$) (con los que forman puentes de hidrogeno) estos se repelen entre sí porque están cargados negativamente, así el polímero logra desenrollarse y estabilizarse al absorber agua.

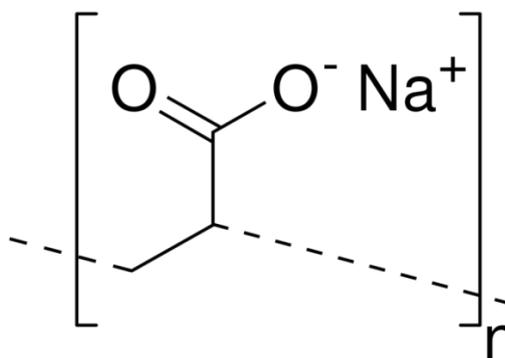


Figura 3: Fórmula química del poliacrilato de sodio

2.5.1. Características del poliacrilato de sodio

La afinidad del poliacrilato de sodio por el agua y su consecuente absorción, se debe a la polaridad hídrica y del grupo carboxilato que favorece los puentes de hidrógeno:

-C-O- -- H-O-H. Muchos metales solubles también tienen tendencia al intercambio iónico con el sodio a lo largo de la cadena principal del polímero y son retenidos, motivo por el cual los poliacrilatos pueden ser utilizados como agentes secuestrantes en agua dura (Del castillo y García, 2017).

Tabla 2: Características físicas y químicas del Poliacrilato sodio

Aspecto	Polvo blanco
Tamaño	Pulverizado micro granular
Contenido de humedad	7% de su peso
Olor	No perceptible
pH	7.3 (días. 1% de solución en agua)
Fórmula química	(C ₃ H ₃ NaO ₂) _n
Solubilidad	Soluble en agua. Insoluble en compuestos orgánicos.
Degradación	Bajo exposición prolongada a la luz solar.
Estabilidad	Estable en ausencia de humedad.
Capacidad de absorción	Cerca de las 800 unidades en peso, en agua destilada (según el fabricante)
Peso específico	Aproximadamente 0.5 Kg/L
Efectos nocivos	Se desconoce. Inocuo al tacto o ingestión.

FUENTE: Registro de la propiedad industrial. Patente de invención. España (1991)

Guzmán y Gómez (2017) refieren que su aplicación en la agricultura genera grandes beneficios al sistema suelo.

- Si la superficie es tratada con este polímero, hay una reducción de la erosión a 82.6%.
- Infiltración de agua de 30 a 35%.
- Es un regulador de pH. El uso controlado, ocasiona efectos ventajosos en cultivos sensibles a los ácidos. Se requiere una previa caracterización del suelo para evitar que la solución de elementos como el P, S, Fe se vean afectados.

2.6. IMPACTO DEL POLIACRILATO DE SODIO EN EL MEDIO AMBIENTE

Terracottem (2016) señala que el tiempo de vida de estos poliacrilatos es de ocho años en promedio, y que esta mezcla en el suelo puede ser reutilizada al culminar la campaña ya que mantiene sus beneficios durante todo este periodo. Este polímero absorbente no es tóxico ni dañino para humanos o animales, incluso los residuos que llegan a la superficie luego del primer riego, pueden ser degradados con la luz UV.

Cruz (2018) sostiene que el poliacrilato de sodio es un compuesto no biodegradable y se elimina por absorción en sistemas de depuración biológica por fangos activos. La degradación se da a través de la vía térmica, en el proceso de incineración a temperaturas superiores a 180 °C. De esta forma se puede liberar monómeros de acrilato y derivados, olefinas hidrocarburos acetilénicos, metanol, compuestos de 4 a 6 carbonos, amoníaco y compuestos nitrogenados, CO₂ y vapor de agua, los cuales tienen efectos dañinos sobre la atmósfera, el medio ambiente y los seres vivos.

Guzmán y Gómez (2017) sostienen que en un estudio realizado en Buenavista - Boyacá (Colombia) la utilización de hidrogel en el cultivo de aguaymanto (*Physalis peruviana*), tuvo un impacto positivo en el recurso hídrico, suelo y flora. En dicho estudio se tomaron en cuenta variables que determinan la importancia del impacto ambiental de estos productos.

Gonzales (2007) refiere que los hidrogeles tienen un bajo potencial de bioacumulación, ya que son demasiado voluminosos para poder ser absorbidos en los tejidos y células de las plantas. Por este motivo ha sido aprobado por el Ministerio de Agricultura de Francia y Departamento de Agricultura de Estados Unidos para ser aplicados sobre los cultivos.

III. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.1.1. Lugar

El experimento se llevó a cabo entre los meses de marzo a junio del año 2020, en el campo experimental de la Facultad de Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, situada en el Valle de Ate, perteneciente al distrito de La Molina, cuyas coordenadas geográficas son: Latitud: 12°05'06''S, Longitud: 76°75'00''W.G., Altitud: 230 m.s.n.m.

3.1.2. Historial del campo

En este campo experimental, se tuvieron instalados en las campañas anteriores los cultivos de papa, camote y recientemente tomate.

3.1.3. Análisis de suelo

La caracterización, se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, utilizando un muestreo al azar. Los suelos de La Molina, presentan características en común, son profundos, de permeabilidad moderada, textura media, con buen drenaje, de estructura granular media moderada y de consistencia friable en húmedo. Los resultados se presentan en el anexo 1. e indican que es de textura franca, el pH es ligeramente alcalino, la CE (es) señala que es ligeramente salino, presenta un bajo porcentaje de materia orgánica, por ende, un bajo contenido de nitrógeno total, es alto en su contenido de fósforo, la cantidad de potasio se encuentra dentro del rango óptimo, la relación Ca/Mg está dentro de los parámetros, sin embargo, la relación K/Mg exponen una posible deficiencia de potasio. Tiene una baja capacidad de intercambio catiónico, por ello se considera como un suelo pobre, que requiere incorporación de materia orgánica. Además, el terreno era ligeramente pedregoso, de pendiente corta y micro relieve plano.

Tabla 3: Resultados de caracterización del suelo

Parámetro	Concentración
Textura	Franco
pH	7.26
CE	2.7
CIC	16
M.O	1.64

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM.

3.1.4. Variables meteorológicas

El distrito de La Molina es clasificado como un desierto subtropical árido caluroso, presentando temperaturas promedio de 15 °C a 27 °C, estos valores se encuentran dentro del rango que favorece el desarrollo del cultivo. El experimento se llevó a cabo durante los meses de marzo a junio cuyas temperaturas se observan en la Tabla 4. Todos los datos que se obtuvieron del observatorio Meteorológico “Alexander Von Humboldt” se adjuntan en el Anexo 2.

Tabla 4: Indicadores meteorológicos

MES	T°	T°	T°	Hr.	Prec.
	Máx	Mín	Med	Med	(mm)
Marzo	33.40	21.50	25.28	78.26	0.3
Abril	29.70	18.70	22.63	81.50	0
Mayo	30.30	17.60	20.85	82.10	0
Junio	23.10	15.80	18.80	81.59	0.4

FUENTE: SENAMHI (2020)

3.2. MATERIALES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO

3.2.1. Material genético empleado

Canario cv. 'Centenario':

En este experimento se empleó la variedad canario Centenario, esta proviene de una selección realizada por el Programa de Investigación y Proyección Social (PIPS) en Leguminosas y Oleaginosas – UNALM, a partir de líneas mejoradas en generación F9 provenientes del Programa de Investigación en Leguminosas de Grano de la INIA.

Tiene hábito de crecimiento de tipo I (arbustivo determinado), con 110 días a la madurez de cosecha, y 45 días a floración, puede llegar a tener de 15 a 30 vainas por planta y 5 granos por vaina. El grano posee un color amarillo y brillo intenso, de tamaño mediano, de forma ovoide truncado, el peso de 100 semillas es de 55.5 gr., la calidad comercial es muy buena. El grano seco rinde aproximadamente 2500 a 3000 kg/ha en costa y 2000 kg/ha en sierra baja. Su adaptación se da muy bien a los valles interandinos hasta los 2400 msnm y en la costa durante el invierno y primavera. Esta variedad es resistente a la roya, oidiosis y virus BCMV. Las principales características de frijol canario variedad Centenario son las que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Características del frijol canario cv. “Centenario”

Parámetros	Canario cv. “Centenario”
Patrón de crecimiento	Determinado
Habito de crecimiento	Arbustivo tipo II
Periodo vegetativo	110 - 120
Densidad	150000 - 214000 plantas/ha
Altura de planta	50 - 60 cm
N° de vainas	15 - 30
N° de granos	4 - 5
Color de grano	Amarillo intenso brillante
Tamaño de grano	Mediano
Peso de 100 granos	50 - 55 g
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
Cantidad de semilla	60 - 70 kg/ha (siembra manual) 90 - 100 kg/ha (siembra mecanizada)
Formas de consumo	Grano verde y seco
Reacción a enfermedades	Resistente a BCMV Tolerante a roya
Rendimiento máximo promedio	2000 - 2500 kg/ha (costa) 1500 - 1800 kg/ha (sierra baja)
Aceptación comercial	Buena
Adaptación	Costa Central, Costa Norte y Sur Siembra de marzo a mayo

FUENTE: Serie de difusión del PLGO – UNALM: Lima –Perú (2003)

3.2.2. Poliacrilato de sodio

El poliacrilato de sodio empleado en el presente trabajo, proviene de un estudio experimental sobre gestión de residuos sólidos, realizado en la facultad de ciencias.

3.2.3. Fertilizantes y químicos utilizados

Se empleó Biolac como enmienda orgánica aplicándose foliarmente con una bomba de mochila. El Biolac es un consorcio microbiano que contiene cepas de *Lactobacillus* que al entrar en contacto con la materia orgánica secretan vitaminas, ácidos orgánicos, bacteriocinas y otras sustancias antioxidantes. Estas actúan sobre la planta como un estimulante del crecimiento y antagonistas de agentes fitopatológicos.

Otro producto utilizado, también de forma foliar, fue el Oligomix, el cual está diseñado para corregir fisiopatías ocasionadas por la deficiencia de micro elementos.

3.2.4. Herramientas y equipos

- Medidor de humedad volumétrica en el suelo: TDR 150 (Reflectometría en el dominio del tiempo).
- Bomba fumigadora manual marca “Jacto”
- Palas, pico y rastrillo
- Costales de rafia
- Cinta métrica
- wincha
- Bolsas de papel kraft de 19x25 cm
- Balanza electrónica de precisión “Sartorius” – Modelo M-Power AZ-212
- Estufa de secado de laboratorio
- Cámara fotográfica Canon PowerShot ELPH 180 (20 megapíxeles)
- Software IBM SPSS Statistics 25

3.3. MÉTODO

El manejo agronómico utilizado fue el sugerido por el PIPS, en Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, bajo riego por goteo. Para la siembra, el terreno fue preparado de manera convencional, delimitando las parcelas y calles para cada tratamiento de acuerdo al diseño experimental, utilizando letreros para su debida identificación.

Durante la conducción del cultivo se evaluó la tendencia del crecimiento y posterior a la cosecha, se evaluaron las características y componentes del rendimiento, tomando como

muestras, 10 plantas al azar por cada repetición.

3.3.1. Tratamientos en estudio

Se evaluó la influencia del poliacrilato de sodio en el rendimiento de grano y sus componentes. Los tratamientos consistieron en la adición al suelo de diferentes cantidades (dosis) del polímero, previo a la siembra, más un tratamiento testigo sin la adición del polímero. El polímero fue colocado a 20 cm de profundidad, en golpes (a 30 cm de la planta).

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: testigo, no se adicionó al poliacrilato de sodio al suelo.

T2: se adicionaron 5 g de poliacrilato de sodio.

T3: se adicionaron 10 g de poliacrilato de sodio.

T4: se adicionaron 15 g de poliacrilato de sodio.

T5: se adicionaron 20 g de poliacrilato de sodio.

3.3.2. Instalación y conducción del experimento

- **Preparación del terreno:**

La preparación del terreno se inició con un riego de machaco, al llegar a capacidad de campo se pasó la grada de discos a una profundidad de 0.3 m, posteriormente se hizo el nivelado y el surcado con un distanciamiento de 0.8 m. Con la ayuda de cordeles y cal se delimitaron las parcelas según el croquis experimental.

- **Preparación de la Semilla**

Para el experimento se realizó primero la prueba de germinación, posteriormente se seleccionó y contabilizó la cantidad de semilla necesaria para cada tratamiento.

- **Incorporación del poliacrilato de sodio**

El polímero fue previamente hidratado y fue colocado a 20 cm de profundidad, en golpes, en la costilla del surco, respetando el distanciamiento entre plantas de 30 cm, de acuerdo a la distribución de los tratamientos en el terreno. La cantidad de poliacrilato que se empleó para cada parcela, la cual constaba de cinco hileras donde hubo 13 plantas por hilera, y considerando las tres repeticiones son de: 0 kg, 0.97 kg, 1.95 kg, 2.92 kg y 3.90 kg para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 respectivamente.

- **Siembra**

La siembra se realizó el 1 de marzo del 2020, de forma manual utilizando una pala, después de la incorporación del polímero. Se emplearon dos semillas por golpe a un distanciamiento de 30 cm entre golpes (distanciamiento entre plantas) en la costilla del surco.

- **Riego**

El sistema utilizado fue por goteo. La reposición de la lámina de riego se hacía con una frecuencia de seis días, realizándose en total 16 riegos en toda la fase experimental. La lamina de riego repuesta se determinó midiendo la humedad con el DTR 150, hallando primero la humedad instantánea después de determinados días (según literatura y fenología del cultivo) y después del riego, hasta llegar a capacidad de campo.

$$Lr (mm) = \left(\frac{W_{\theta cc} - W_{\theta lectura}}{100} \right) \times Prof rad (mm) \times \% AM$$

En el surco se tendieron cintas de riego con las siguientes características:

- Manguera ciega HDPE (Ø 16)
- Cinta de riego Pathfinder (Ø 16) con goteros incorporados, los cuales eran simples no autocompensados y con 20 cm de distanciamiento. El caudal nominal fue de 1.1 L/min. Presión: 6.5 bar
- Mini válvulas cinta – manguera

- **Aporque**

Durante el tiempo que duró el experimento se realizó un aporque, a los 80 días después de la siembra, cuando la planta alcanzó aproximadamente 40 cm.

- **Control de malezas**

Las malezas fueron controladas de acuerdo a su crecimiento, de forma manual o con ayuda de una pala.

- **Fertilización**

La fertilización se hizo con aplicaciones foliares de Oligomix (100 g/200 L), y de un producto orgánico denominado Biolac (5 ml/1L), utilizando una mochila motobomba de 25 L de capacidad, con una frecuencia de siete días.

- **Control fitosanitario**

Se hicieron aplicaciones preventivas de biolac y se recogieron las larvas de forma manual debido a su baja incidencia.

- **Cosecha**

Se realizó el 18 de junio del 2020, considerando la madurez de cosecha, a los 110 días después de la siembra y de forma manual. Se extrajeron 10 plantas al azar por cada repetición de los respectivos tratamientos, y fueron llevados al laboratorio de la facultad de Ingeniería Agrícola donde se hicieron las evaluaciones y toma de datos. Dos semanas después se cosechó el resto de la parcela y se dejó secar al aire libre para seguir reduciendo la humedad de manera gradual hasta 14%.

3.3.3. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron los siguientes componentes de rendimiento:

- **Altura de planta**

Se evaluó durante toda la campaña, midiendo el tallo principal de 10 plantas tomadas al azar por cada parcela, desde la superficie del suelo hasta el ápice del tallo principal, utilizando una cinta métrica en cm.

- **Rendimiento de grano**

Se registró el peso del grano de 10 plantas cosechadas por parcela. Se obtuvo los pesos en gramos, utilizando una balanza electrónica. Luego se transformaron los resultados a kg/ha.

- **Longitud del tallo principal**

A la cosecha se tomaron 10 plantas al azar de cada parcela, y se midió la longitud desde nivel de la cicatriz del cotiledón hasta el ápice del brote terminal, utilizando

una cinta métrica en cm.

- **Número de vainas por planta**

A la cosecha se tomaron 10 plantas al azar de cada parcela y se contabilizó el número total de vainas cuajadas.

- **Longitud de vainas (cm)**

De la evaluación anterior, se tomaron 10 vainas al azar y se midió la longitud de cada una utilizando una cinta métrica en cm.

- **Número de granos por vaina**

Se tomaron 10 vainas al azar y se contabilizó el número de granos de cada vaina.

- **Número de lóculos por vaina**

Se tomaron 10 vainas al azar y se contabilizó el número de lóculos.

- **Peso de 100 semillas**

Se contabilizaron 100 semillas tomadas al azar y se pesaron utilizando una balanza electrónica. El peso final fue corregido al 14% de humedad. Este peso representa el tamaño relativo del grano.

El peso se tomó en fresco, y el peso seco después de 72 horas a estufa. El valor se expresó en gramos.

- **Días a madurez fisiológica**

Se contabilizaron los días que pasaron desde la siembra, hasta el día en que el 90% del total vainas cambiaron de color, o presentaron amarillamiento y caída de hojas.

3.3.4. Diseño experimental

En el presente trabajo se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres bloques o repeticiones. El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5$

$j = 1, 2, 3$

Donde:

Y_{ij} : Peso en gramos en el i -ésimo tratamiento y el j -ésima repetición

μ : Media general (promedio general de los pesos)

β_j : Efecto del peso en gramos en la i -ésima repetición

τ_i : Efecto de la i -ésima dosis

ε_{ij} : Error experimental en el i -ésimo tratamiento y el j -ésima repetición

3.3.5. Características del campo experimental

Las principales características del campo experimental son resumidas en la Tabla 6.

Tabla 6: Características de la parcela

N° de unidades experimentales o parcelas	15
N° de surcos por unidad experimental	5
Largo de unidad experimental	4 m
Ancho de unidad experimental	4 m
Área de unidad experimental	16 m ²
Distanciamiento entre surcos	0.80 m
Distanciamiento entre plantas	0.30 m
Número de plantas por surco	26
Número de semillas por golpe	2
Número de líneas de riego por parcela	5
Número de plantas por unidad experimental	130
Densidad poblacional	1950
No de bloques	3
No de unidades experimentales por bloques	5
Largo del bloque	24 m
Ancho del bloque	4 m
Área del bloque	96 m ²
Distanciamiento de la calle	0.6 m
Área total de experimento	340 m ²

FUENTE: Elaboración propia

3.3.6. Análisis de varianza

Se realizó un análisis de varianza (ANVA) para probar el efecto del poliacrilato de sodio en el rendimiento del cultivo de frijol. Además, se hicieron pruebas de comparación múltiple de Tukey al 5% para medir las diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos. El software estadístico que se empleó fue el IBM SPSS statistics 25 (ver Tabla 7).

Tabla 7: Análisis de varianza – ANVA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F
Tratamiento	4	$\sum_{i=1}^5 \frac{Y_i^2}{3} - \frac{Y^2}{15}$	$\frac{SC\ tratamiento}{4}$	$\frac{CM\ tratamientos}{CM\ error}$
Repetición	2	$\sum_{j=1}^3 \frac{Y_j^2}{5} - \frac{Y^2}{15}$	$\frac{SC\ bloques}{2}$	$\frac{CM\ bloques}{CM\ error}$
Error	8	SC total – SC tratamientos – SC bloques	$\frac{SC\ error}{8}$	
total	14	$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{15}$		

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPONENTES DE RENDIMIENTO

4.1.1. Altura de planta (m) a días después de la siembra (DDS)

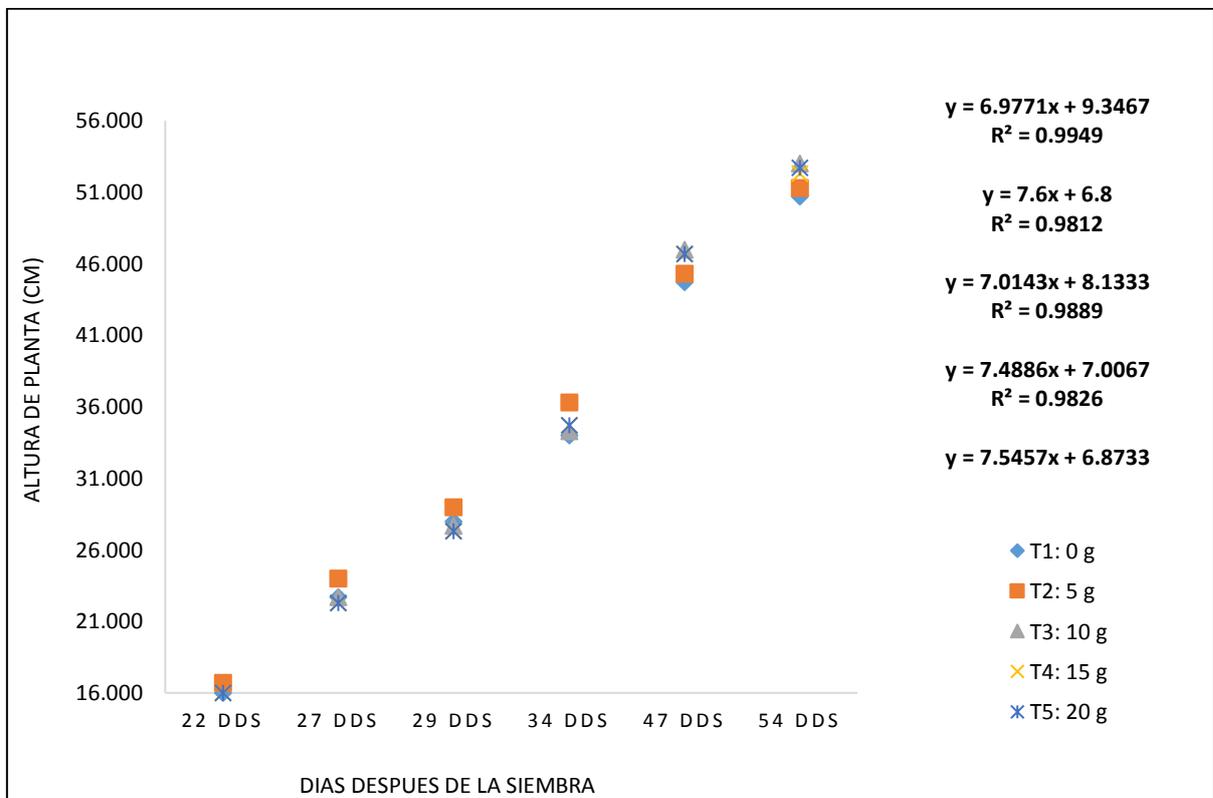


Figura 4: Evolución de la altura de planta durante el periodo de crecimiento

La altura de planta sigue una tendencia lineal (Figura 4). Sin embargo, de acuerdo al análisis de variancia del conjunto de datos de altura evaluados en el tiempo, con alfa 0.01 (Anexo 12), no se encontró evidencia estadística que demuestre que las diferentes dosis de hidrogel tengan efectos a lo largo del periodo del cultivo sobre esta variable.

La altura promedio fue de 0.33 m y el coeficiente de variabilidad que se obtuvo fue de 3.37%, considerado por el autor Romaina (2012) como muy bueno, lo que indica resultados confiables, con una ligera variación entre los tratamientos y adecuado manejo del campo experimental.

Esto puede obedecer a que este es un carácter influenciado por el medio ambiente, y no existieron restricciones en el suministro de agua durante todo el ciclo del cultivo. Quintana, Pinzón y Torres (2016) mencionan que el estrés hídrico debido al cierre estomático puede desencadenar problemas en procesos como la fotosíntesis y absorción de nutrientes, afectando directamente en el crecimiento de la planta durante todo su proceso de desarrollo, principalmente si el estrés se produce antes y durante la floración. Sin embargo, existe una ligera diferencia numérica entre los tratamientos (Anexo 10) por lo que se puede deducir que con una de las dosis de hidrogel la planta logra mayor altura, en un determinado número de días, que cuando no se hace ninguna aplicación, sobre todo en etapas decisivas como la prefloración y llenado de vainas.

Estos resultados difieren de Varillas, Villegas y Trujillo (2016) en su trabajo realizado a campo libre sobre el cultivo de frijol y en el realizado por Sánchez (2019) en el cultivo de maíz, donde se evaluó el efecto de distintas dosis de hidrogel, presentando un incremento en la altura de planta cuanto mayor era la cantidad de producto aplicado. Este resultado fue atribuido a una mayor disponibilidad edáfica, en consecuencia, a la apertura de estomas para un mayor intercambio de CO₂, produciendo así el crecimiento celular.

4.1.2. Peso promedio de 10 plantas

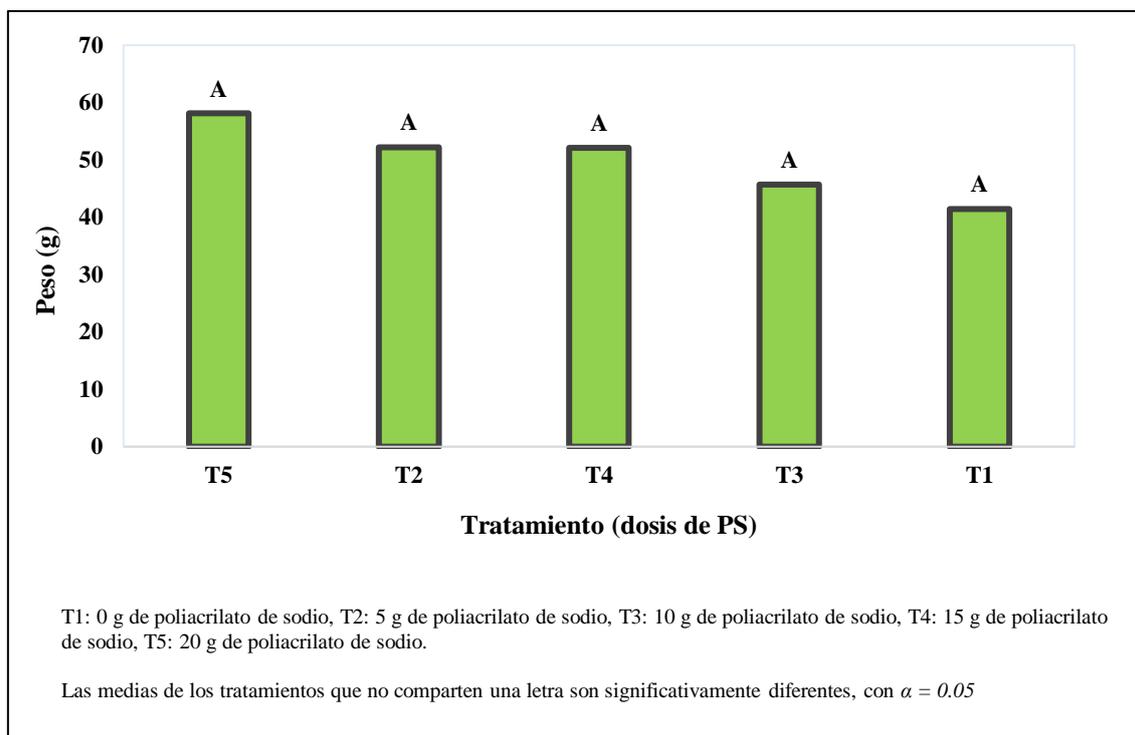


Figura 5: Resultado promedio del peso de 10 plantas

El análisis de varianza (Anexo 16) no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos, ni para los bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 5), se observó que con el tratamiento 20 g de PS, se obtuvo un peso promedio de 58.1 g, destacando numéricamente entre los demás tratamientos. En cuanto al efecto de la dosis de PS, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos evaluados.

FAO (2012), señala que el estrés hídrico guarda relación directa en la reducción de la producción de biomasa, lo cual generalmente también reduce el rendimiento. En el presente trabajo, aunque los resultados no siguieron la progresión esperada, se puede notar que con una mayor dosis de PS se consiguió una mayor reserva de agua, la cual estimuló un mayor desarrollo vegetativo.

4.1.3. Rendimiento de grano (Tn/ha)

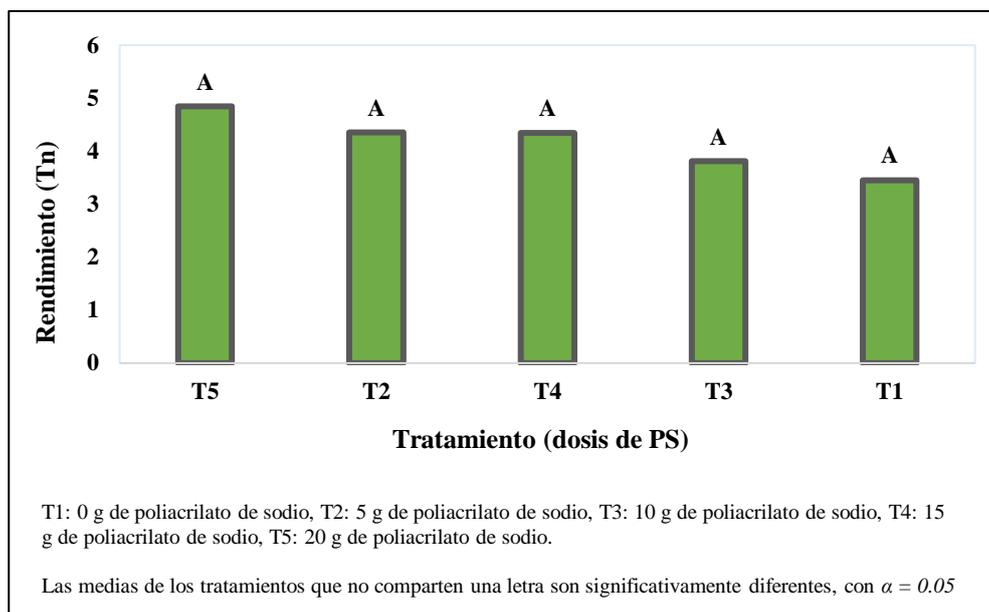


Figura 6: Rendimiento de grano para cada tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 17) señaló que no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos, ni para los bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 6), se observó que con el tratamiento 20 g de PS se obtuvo un rendimiento promedio de 4.84 tn/ha, destacando numéricamente entre los demás tratamientos. En cuanto al efecto de la dosis de PS, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos evaluados.

Al igual que en otros estudios sobre ají, trigo y papa, como señala López et al. (2013), se ha demostrado, que los polímeros absorbentes generan resultados positivos más notorios al incrementar el rendimiento y calidad de fruto, si se tienen condiciones de estrés hídrico que vayan de moderadas a extremas.

En el trabajo realizado por Alarcón (2013), se consiguió un incremento del 37% en el rendimiento de frijol sembrado a campo libre utilizando hidrogel. Esta diferencia en el incremento del rendimiento pudo deberse, principalmente, a que las condiciones de

precipitación escasa de la que dependía el cultivo, si crearon condiciones de estrés. Zinivand (2020) obtiene resultados similares al evaluar la influencia de un polímero absorbente en el rendimiento de grano de frijol castilla, al aplicar riegos al 100 y 75% de la demanda de evapotranspiración del cultivo. Khodadadi-Dehkordi (2016) señala que este resultado obedece a que el polímero súper absorbente es capaz de retener agua y nutrientes para liberarlos en condiciones de estrés hídrico, restaurando el sistema agua - suelo a condiciones apropiadas para el crecimiento de los cultivos.

4.1.4. Longitud del tallo principal

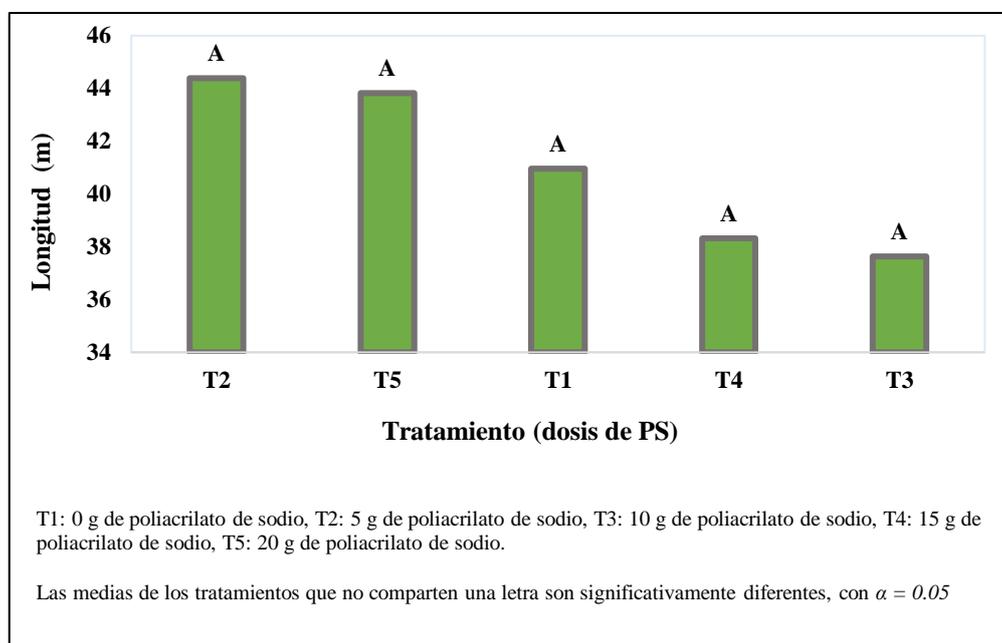


Figura 7: Longitud del tallo principal para cada tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 18) señaló que no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos, ni para los bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 7), se observó que con el tratamiento 5 g de PS se obtuvo la mayor longitud promedio de tallo principal con 44.39 cm, destacando numéricamente sobre los demás tratamientos. En cuanto al efecto de la dosis de poliacrilato de sodio, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos

evaluados y numéricamente este resultado no cumple con la progresión esperada.

Este resultado podría deberse a que no existió restricción en las condiciones hídricas, por ello las diferencias en esta variable no son apreciables, contrario al estudio realizado por Barillas, Villaneda y Trujillo (2016) en frijol sembrado a campo abierto, bajo un sistema de secano, donde se determinó un incremento de la longitud del tallo principal conforme se incrementaba la dosis del hidrogel. El mismo resultado lo obtuvo Sánchez (2019), en su trabajo realizado en el cultivo de maíz.

Villegas (2013) señala que, la adición de poliacrilamidas, estimula la apertura de estomas y un mayor intercambio de CO₂, promoviendo el crecimiento celular en las plantas.

4.1.5. Número de vainas por planta

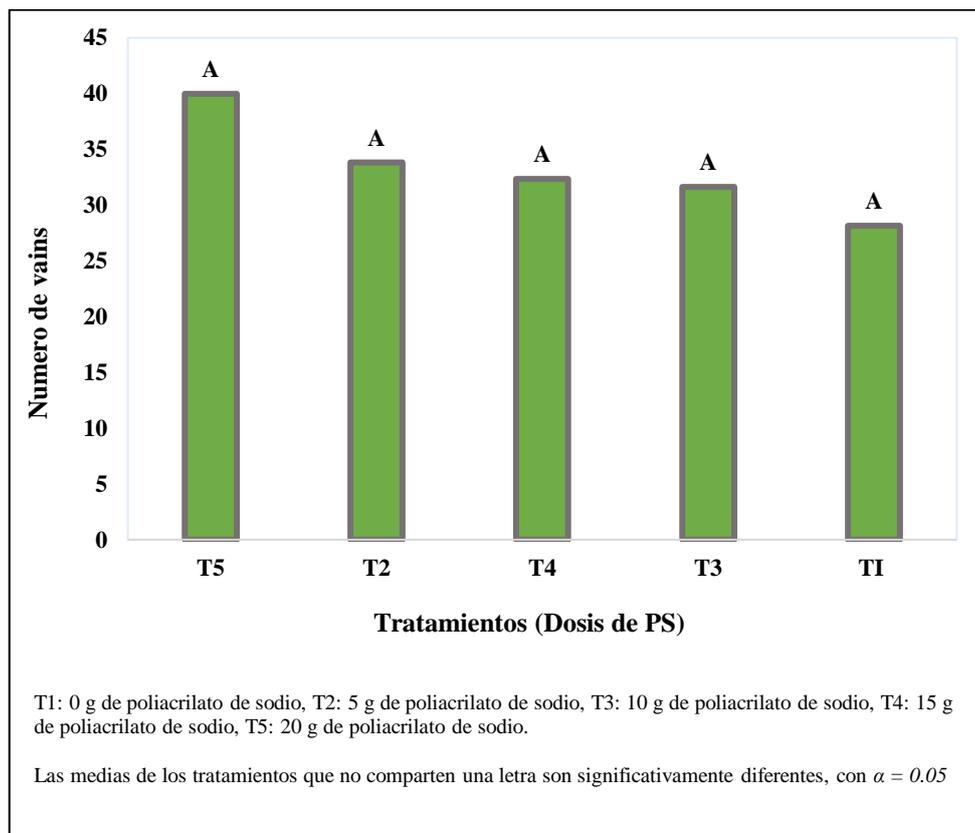


Figura 8: Número de vainas por planta vs Tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 19) señaló que no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos ni bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 8), se observó que con el tratamiento 20 g de PS se obtuvo 40 vainas por planta, destacando numéricamente sobre los demás tratamientos. En cuanto al efecto de la dosis de PS, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos evaluados y numéricamente los resultados no siguen la progresión esperada.

Además, se puede observar que el número de vainas por planta tuvo un comportamiento similar al rendimiento de grano. Esto coincidió con los resultados obtenidos por Barillas, Rodríguez, Trujillo (2016) en su estudio sobre cultivo de frijol establecido al aire libre en tres localidades de Guatemala, donde probó el efecto de seis dosis de hidrogel. Según la acotación de Bonilla (1990) el número de vainas está directamente relacionado con el número de granos, este es un carácter influenciado por factores genéticos propios de cada variedad, además de algunos factores ambientales. Choquehuanca (2006) señala que la falta de humedad en el suelo antes de la floración, además de retardar el crecimiento de la planta puede reducir el número de vainas por planta, por ello se debe recalcar que en este trabajo no existieron restricciones en el suministro de agua.

4.1.6. Longitud de vaina (cm)

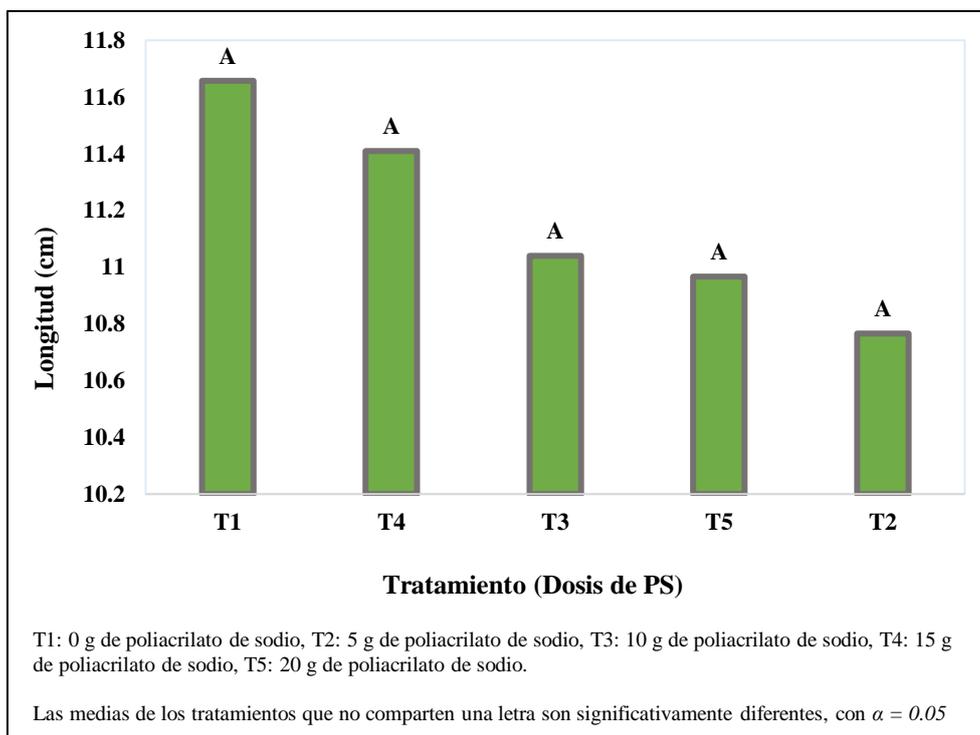


Figura 9: Longitud de vaina (cm) vs Tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 20) señala que no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos, ni bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 9), se observa que con el tratamiento 0 g de PS se obtuvo 11.65 cm, siendo la mayor longitud de vaina. En cuanto al efecto de la dosis de PS, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos evaluados y numéricamente los resultados no siguieron la progresión esperada.

Según señala Vilches (2015) la longitud de vaina es un factor genético que no está influenciado por el medio ambiente, por lo que podríamos atribuir esta causa a los resultados obtenidos en esta variable. Además, en este trabajo no existieron restricciones en el suministro de agua que pudieran interrumpir el desarrollo normal de las vainas (Choquehuanca, 2006).

4.1.7. Número de granos por vaina

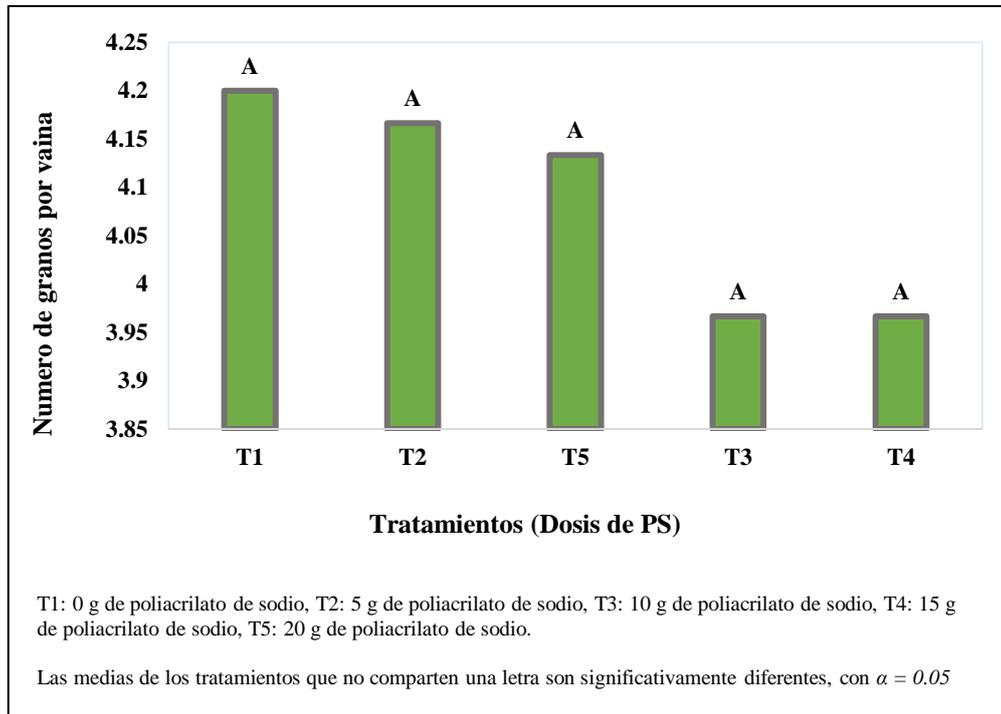


Figura 10: Número de granos por vaina vs Tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 21) señaló que no se hallaron diferencias significativas para los tratamientos ni bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 10) se observó que con el tratamiento 0 g de PS se obtuvo el mayor número de granos. No se encontró diferencia estadística en la dosis de hidrogel y numéricamente los resultados no siguen la progresión esperada, coincidiendo con el estudio realizado por Barillas, Villeda y Trujillo (2016), en cultivo de frijol sembrado en tres localidades de Guatemala, al aire libre, en el cual probaron el efecto de seis dosis de hidrogel.

Bonilla (1990) refiere que el número de granos es un carácter influenciado por factores genéticos. También es necesario recalcar que en el presente trabajo no existieron restricciones en el suministro de agua que pudiera afectar de manera significativa a esta variable, ya que según lo señalado por Choquehuanca (2006), el agua influye en el llenado

de vainas y el desarrollo adecuado de los granos, por ello la falta de humedad en el suelo antes de la floración, además de retardar el crecimiento de la planta reduce número de granos por vaina.

4.1.8. Número de lóculos por vaina

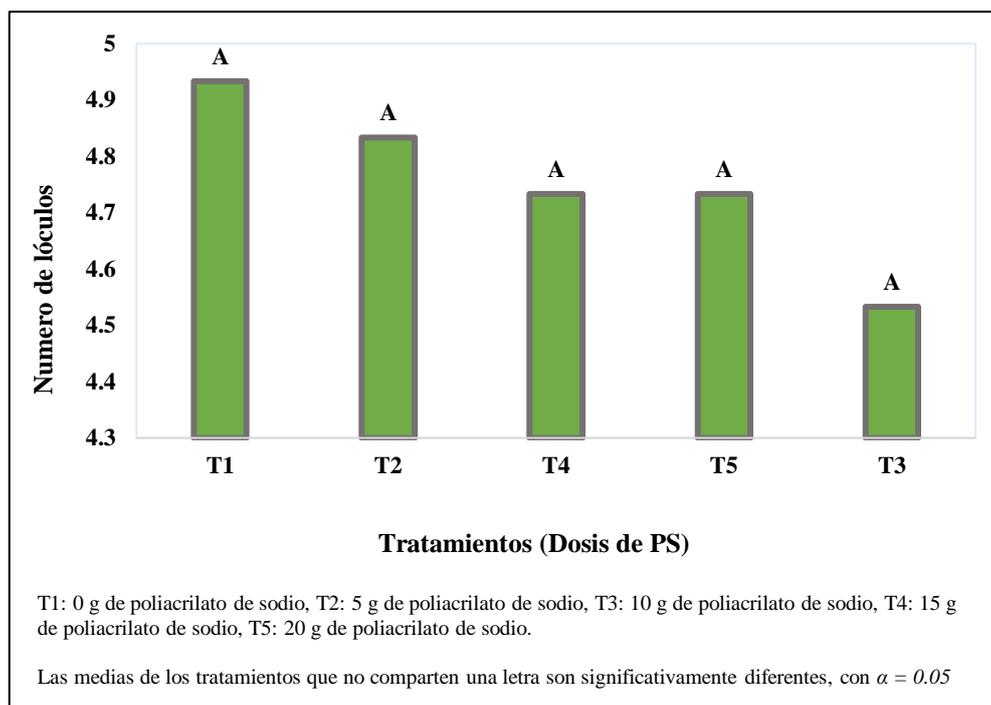


Figura 11: Numero de lóculos por vaina vs Tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 22) señaló que no se hallaron diferencias significativas para los tratamientos, ni para los bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 11) se observó que con el tratamiento 0 g de PS se obtuvo 4.93 lóculos por vaina, destacando numéricamente de los demás tratamientos. En cuanto al efecto de la dosis de poliacrilato de sodio, no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos evaluados y numéricamente los resultados no siguen la progresión esperada. Según señala Bonilla (1990) citado por Pumalpa (2016), el número de lóculos está directamente relacionado con el número de granos, este es un carácter influenciado por factores genéticos propios de cada variedad, además de algunos

factores ambientales. Se debe considerar que en el presente trabajo no existieron restricciones en el suministro de agua que pudiera afectar de manera significativa a esta variable, ya que según lo señalado por Vicente (2003) citado por Choquehuanca (2006), el agua influye en el llenado de vainas y el desarrollo adecuado de los granos.

4.1.9. Peso fresco de 100 semillas

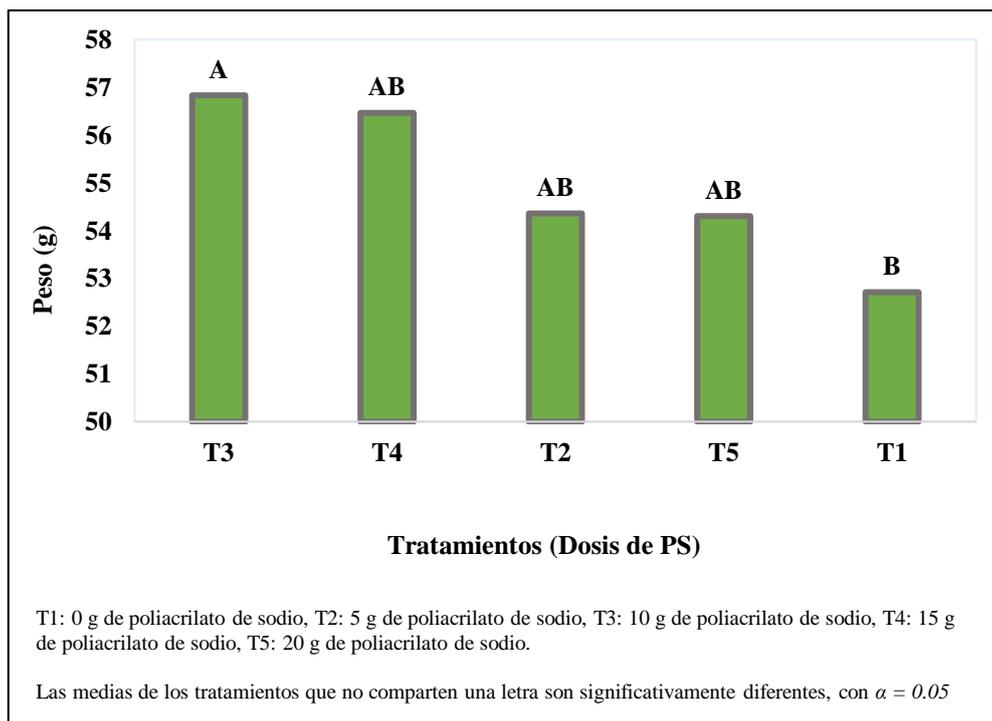


Figura 12: Peso fresco de 100 semillas para cada tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 23) señaló que se hallaron diferencias significativas para los tratamientos, pero no para los bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 12), se observó que con la dosis de 10 g de PS se obtuvo 56.83 g de peso fresco, resultado estadísticamente superior a los demás tratamientos, sin embargo, no difiere significativamente del tratamiento de 15 g de PS. Además, con la dosis de 0 g, se obtiene el menor peso fresco, 52.71 g.

Según el Programa de Leguminosas de la UNALM, el peso esperado de 100 granos de frijol

variedad canario Centenario es de 50 a 55 gramos. Se puede observar que los tratamientos con PS se obtienen valores altos, y que, a dosis medias, estos sobrepasan el rango establecido para esta variedad. por lo que podemos deducir que existe un efecto positivo en la adición del hidrogel.

Rentería (2019), que evaluó la eficiencia de un hidrogel en el cultivo de frijol, alcanzó valores más bajos a los establecidos por Sánchez (2009) para la variedad de frijol pinto saltillo, sembrada a campo libre, debido posiblemente a las precipitaciones erráticas durante la campaña, sobre todo durante la etapa de floración y formación de vainas y semillas.

Bidwell (1979, citado por Vallejos y Martínez, 2005) refiere que el peso de la semilla está condicionado por la translocación de los nutrientes de la planta a la semilla durante la fase vegetativa (por ello es importante evitar el estrés hídrico durante esta etapa). Además, de ser un carácter cuantitativo que está influenciado por el medio ambiente y factores hereditarios, también está determinado por el tamaño, largo, grosor y densidad del grano.

Sánchez (2017) señala que, gracias a la apertura del ostiolo, debido a la turgencia de las células guarda, se permite el intercambio gaseoso (entra CO_2 y sale O_2), promoviendo la fotosíntesis oportuna. Contrario a cuando se pierde agua, durante la transpiración. A la vez el transporte y absorción de nutrientes desde la raíz hasta el interior de la planta se hace más eficiente. Tittonell, De Grazia, Chiesa (2002), mencionan que el efecto de un mejor aprovechamiento del agua y el de una mayor disponibilidad de nutrientes se encuentran íntimamente relacionados. Posiblemente, el principal efecto de los polímeros es disminuir la lixiviación de nutrientes desde la matriz del sustrato, gracias a una retención hídrica y al incremento de la capacidad de intercambio de iones. Vílchez (2015), señala que es el potasio el elemento esencial para llevar a cabo los procesos mencionados (transferencia de azúcares, balance iónico y mantenimiento del potencial hídrico). La caracterización de suelo que se realizó en este trabajo arrojó valores para el ion potasio que se encuentran dentro del rango óptimo.

4.1.10. Días a madurez fisiológica

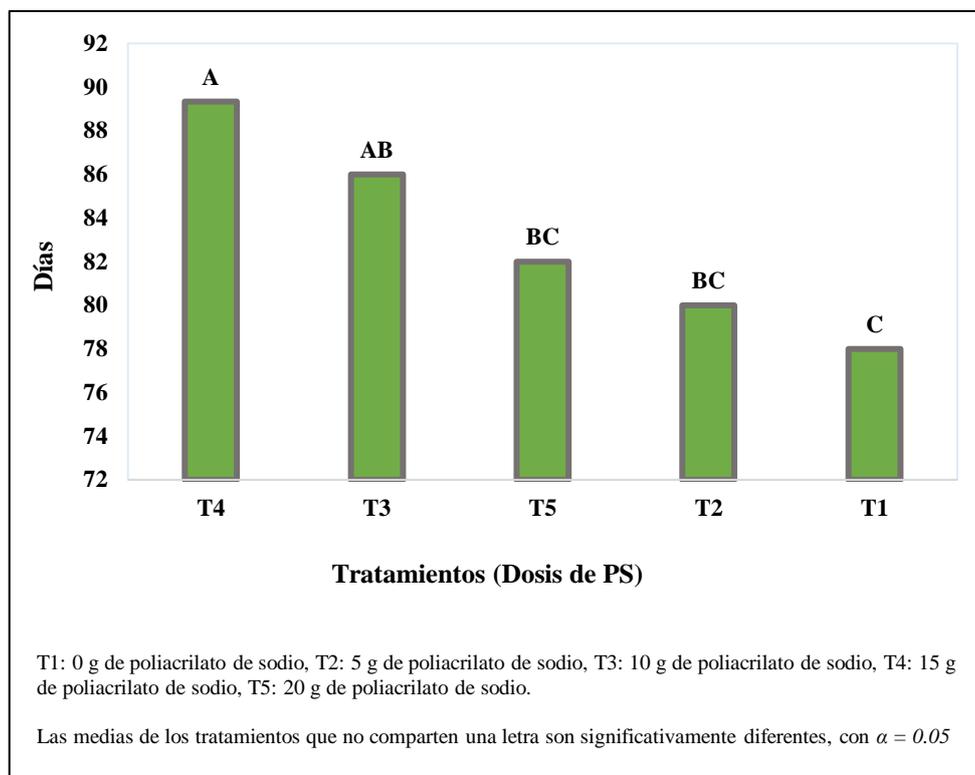


Figura 13: Días a madurez fisiológica vs Tratamiento

El análisis de varianza (Anexo 24) señala que se hallaron diferencias significativas para los tratamientos, pero no para los bloques o repeticiones (de donde se deduce que las condiciones fueron homogéneas).

Al realizar la prueba de medias (Figura 13) se determinó que no se encontró diferencia significativa entre las dosis de 15 y 10 g de PS, con los que se obtuvieron 89.33 y 86 días a madurez fisiológica, respectivamente, siendo estos estadísticamente superiores a los demás tratamientos.

Se puede observar que se alcanzan efectos positivos en la adición de hidrogel a una dosis intermedia. Toctaguano (2019) en su ensayo sobre papa chaucha sembrada a campo libre, midió el efecto de distintas dosis de hidrogel aplicadas al suelo. En este hubo un incremento del rendimiento gracias a una ampliación en el número de días a la floración, a la tuberización y a madurez fisiológica los cuales se alargaron en promedio de uno a dos días

cuando se usó dosis medias y altas de hidrogel, respecto a los tratamientos testigos. Esto se corrobora con los resultados del peso de 100 semillas donde los tratamientos con mayor número de días a la cosecha obtuvieron un mayor peso fresco.

A la vez, en el trabajo de Pinales (1995) se señala que los fenómenos biológicos como floración, madurez fisiológica, etc., dependen en primera instancia de factores hereditarios y del medio ambiente, primordialmente de los factores climáticos como temperatura, humedad y energía luminosa.

4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 8: Análisis económico con las diferentes dosis de Poliacrilato de Sodio (PS)

Tratamiento	Dosis de PS (g)	Rendimiento (tn/ha)	Costo total (S/.)	Ingreso bruto (S/.)	Utilidad neta (S/.)	Rentabilidad (%)
T2	5	4.35	9616.00	13050.00	3434.00	35.71
T1	0	3.45	8329.00	10350.00	2021.00	24.26
T5	20	4.84	13486	14400.00	914.00	6.77
T4	15	4.34	12199	13020.00	821.00	6.73
T3	10	3.80	10903	11400.00	497.00	4.55

T1: 0 g de poliacrilato de sodio, T2: 5 g de poliacrilato de sodio, T3: 10 g de poliacrilato de sodio, T4: 15 g de poliacrilato de sodio, T5: 20 g de poliacrilato de sodio.

Se efectuó el análisis económico correspondiente a los rendimientos obtenidos en cada tratamiento y su respectivo costo de producción para cada uno de ellos, la finalidad de este análisis fue determinar la rentabilidad de la aplicación de poliacrilato de sodio en el cultivo de frijol.

El índice de rentabilidad es expresado en porcentaje y se obtuvo relacionando la utilidad neta con respecto a su costo de producción, la tasa resultante indica el porcentaje de ganancia por cada cien soles invertidos.

La producción fue destinada al mercado local y el precio estimado fue de S/.3.00 por kg de grano en chacra.

La Inversión Total para una campaña asciende S/.9616.00. El Gasto de Cultivo es de S/.4616.00 representando un 48% del valor de la Inversión Total, comprende el valor de la mano de obra y los insumos, el otro 52% representa el gasto de instalación y mano de obra por el sistema de riego tecnificado (riego por goteo).

La Tabla 8 toma como referencia a la mínima dosis aplicada, con el que se obtuvo mayor rendimiento, para presentar el análisis económico realizado.

La Tabla 8 muestra la rentabilidad de cada tratamiento y refiere que la mayor rentabilidad se obtiene con el tratamiento T2 de 5 gramos y la menor rentabilidad con el tratamiento T3 de 10 gramos de poliacrilato de sodio.

V. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y resultados obtenidos en las condiciones en que fue llevado el experimento, se tienen las siguientes conclusiones:

- Se determinó el efecto del poliacrilato de sodio en las variables biométricas del cultivo de frijol canario como siguen:
Valores medios de poliacrilato de sodio, incrementa el tamaño del grano (peso de 100 semillas), de la misma manera que se incrementa el peso fresco de grano, esto podría estar relacionado con que a dosis medias del del polímero, se alarga el número de días a la cosecha lo que incrementa el tiempo de llenado del grano.
No se halló efectos significativos de la adición de poliacrilato sobre el rendimiento de grano.
- El mayor beneficio económico, se obtiene con la adición de cinco gramos de poliacrilato de sodio, logrando una rentabilidad de 35.71%, esto en comparación con la dosis de cero gramos de polímero.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos para determinar el efecto del estrés hídrico o salino, bajo las mismas condiciones evaluadas, en las características y rendimiento del frijol canario Centenario.
- Realizar ensayos para evaluar el efecto de los suelos con características físicas, químicas y biológicas (grado de fertilidad) distintas a las evaluadas, para obtener la dosis correctas o referenciales que se ajusten a la necesidad del cultivo.
- Para incluir el poliacrilato de sodio dentro de un paquete tecnológico, es necesario realizar previamente una evaluación económica que considere la realidad del productor al que se dirija la recomendación.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, E.; Kohashi, J.; Acosta, J.; Gallegos, A. (1997). Rendimiento y sus componentes en frijol bajo condiciones de sequía. Programa de botánica Irenat. Chapingo, México. 144 p.
- Alarcón, J. (2013). Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango. (Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala). Suchitepéquez, Guatemala. 63 p.
- Álvarez, E. (2018). Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. San Salvador, El Salvador.
- Andrada, H.; Di Barbaro, G. (2018). Efecto de la aplicación de copolímeros sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 27-35. Recuperado de <https://doi.org/10.22267/Rcia.183502.89>
- Ancín, M. (2011). Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Alubia en el distrito de San Juan de Castro Virreina Huancavelica (Perú). Universidad Pública de Navarra. Huancavelica, Perú.
- Araya, R.; Martínez, K.; López, A. y Murillo, A. (2013). Protocolo para el manejo poscosecha de la semilla de frijol. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). San José, Costa Rica.

- Arcayo, G. (2018). Producción de pellet de lenta liberación de partir de residuos de pulpa de celulosa y poliacrilato de sodio. (Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- Arias, J.; Rengifo T.; Jaramillo, M. (2007). Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble. Antioquia, Colombia. 30 p.
- Arredondo, A. y Londoño, M. (2008). Hidrogeles potenciales biomateriales para la liberación controlada de medicamentos. *Revista Ingeniería Biomédica*. Escuela de Ingeniería de Antioquia–Universidad. Medellín, Colombia. 84 p.
- Barillas, E.; Villeda, V.; Trujillo, O. (2016). Efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel, sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), establecido a campo abierto en tres localidades del corredor seco de Guatemala. Guatemala. 59 p.
- Beltrán, F. (1996). Comportamiento agronómico del rendimiento y sus componentes de 22 líneas tipo arbustivo de frijol canario (*Phaseolus vulgaris* L.) en costa central. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- Bonilla, J. (1990). Efecto del control de maleza y distancias de siembra sobre las xenosis de las malezas, crecimiento y rendimiento del fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). (Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- Borda, M. (2013). Efecto del Residuo Industrial poliacrilato de Sodio en el Crecimiento de Plantas de Tomate. (Tesis para optar título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú. p. 9.

- Camalle, D. (2013). Caracterización de la tolerancia a sequía y baja fertilidad de genotipos de frijol. Escuela Agrícola Panamericana Zamoran. Distrito Central, Honduras.
- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (2015). Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial. Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial. Bogotá, Colombia pp. 11-12.
- Cántaro, H. (2015). Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium sp.* En cuatro variedades de frijol común (*Phaseolus Vulgaris L.*) en condiciones de costa central. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú. pp. 121-122.
- Cárdenas, D.; Rivera, N. (2018). Evaluación técnico-financiera a nivel de laboratorio de la utilización del poliacrilato de sodio en estado puro como extendedor de bentonita en fluidos de perforación base agua. Proyecto Integral de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos. Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías. Bogotá, Colombia. pp. 58-59.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2020). Mercado del frijol, situación y prospectiva. Palacio Legislativo de San Lázaro. Ciudad de México, México.
- Chapilliquen, H. (2018). Polímeros hidroabsorbentes agrícolas e industriales reciclados para la supervivencia de mango (*Mangifera indica L.*), bajo condiciones de estrés hídrico, Morropón, Piura, periodo 2018. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental, Universidad Cesar Vallejo). Lima, Perú.
- Choquehuanca, R. (2006). Sistemas de cultivo de dos variedades de arveja (*Pisum sativum*) en lecho del río y terreno cultivable bajo tres densidades de siembra en Cota-Cota. (Tesis de grado, Universidad Mayo de San Andrés). La Paz, Bolivia. pp. 68- 69.

- Cruz, X. (2018). Extracción, Purificación y Caracterización de Cianoficina en *Arthrospira máxima*. Curricular para obtener el título de Ingeniero Bioquímico. Instituto Politécnico Nacional. Cdmx, México. pp. 9-10.
- Domínguez, A.; Darías, R.; Martínez, Y. y Alfonso E. (2019). Tolerancia de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a condiciones de sequía en campo. *Centro Agrícola*, 46(3), 22-29. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852019000300022&lng=es&tlng=es.
- Escoto, N. (2004). Manual técnico para uso de empresas privadas, consultores individuales y productores. Secretaría de agricultura y ganadería dirección de ciencia y tecnología agropecuaria. Tegucigalpa, Honduras.
- Espinoza, E. (2009). Evaluación de 16 genotipos seleccionados en dos densidades de siembra de frijol canario cv. centenario (*Phaseolus vulgaris* L.) por su calidad y rendimiento en condiciones de costa central. (Tesis para optar el grado de Magister Scientiae,. Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- Espinoza, F. (1987). Efecto del estrés hídrico en diferentes fases del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre su morfología y rendimiento. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.
- Estrada, R.; Lemus, D.; Mendoza, D. y Rodríguez, V. (2010). Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 12(2). Santa Fe, México.
- Fernández, F.; Gepts, P.; López, M. (1985). Etapas de desarrollo en la planta de frijol. En: Frijol: Investigación y Producción. M. López, F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds.). Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp. 61-78.

- Flores, H.; Rosales, R. (2017). Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango. Centro de investigación Regional Norte Centro. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Folleto técnico núm. 91. Durango, México.
- Giménez, N.; Lapaz, A.; Riley, E. (2016). Evaluación de respuesta agronómica de la enmienda de suelo con polímero acrilato de potasio de acción almacenadora y reguladora de agua en el suelo. (Tesis de grado, Universidad de La República). Montevideo, Uruguay. 37 p.
- Giraldo, P.; Gonzales, M. (2015). Cartografía de QTL asociados a la tolerancia estrés hídrico en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Madrid, España. pp. 19-22.
- González, O. (2007). Hidrogeles Mejoradores de Cultivos Agrícolas. Caso de estudio presentado como requisito parcial para obtener el grado de Especialización en Química Aplicada. Centro de Investigación en Química Aplicada. Coahuila, México. pp. 17-20.
- Gutiérrez, A. (1998). Efecto de tres dosis de polímero y tres dosis de fertilizante en la producción de plántula de chile (*Capsicum annuum* L.) variedad Tampiqueño 74. (Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola, Universidad Autónoma de Nuevo León). Nuevo León, México. pp. 14, 18, 19.
- Guzmán S.; Gómez, J. (2017). Viabilidad técnica, ambiental, social y financiera, en la utilización del hidrogel, en un cultivo de uchuva (*Physalis peruviana*) del Municipio de Buenavista - Boyacá (Colombia). Proyecto de grado como requisito parcial para optar al título de Administrador Ambiental. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 56 p.
- Hernández-López, V.; Vargas-Vázquez, M.; Muruaga-Martínez, J.; Hernández-Delgado, S. y Mayek-Pérez, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común

avances y perspectivas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 (2): pp. 95 – 104. México.

IICA. (2009). Guía técnica del cultivo del frijol en los municipios de Santa Lucia, Teustepe y San Lorenzo del departamento de Boaco Nicaragua. Santa Lucia, Nicaragua. 9 p.

Inga, J. (1997). Efecto del Uso de Polímeros Absorbentes en la Producción de Rosas Injertadas en Vivero. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú. pp. 19 –20.

INTAGRI. (2020). Introducción al Cultivo de Maíz en Riego por Goteo. Artículos técnicos. CDMX, México.

INIA. (2013). Caupi vaina blanca. Estación experimental agraria vista Florida – Chiclayo. Lambayeque, Perú.

Khodadadi-Dehkordi, D.; Ali Kashkuli, H.; Asareh, A.; Egdernezhad, A. (2020). Evaluación del efecto del polímero súper absorbente en la eficiencia del uso del agua de la planta en condiciones de déficit de agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. pp. 334-335.

Khodadadi-Dehkordi, D. (2016). The effects of superabsorbent polymers on soils and plants. *Pertanika journal of tropical agricultural science*. 39(3), 267-298.

Leiva, C.; Schmidt, C.; Gajardo, G.; Rodríguez, A. (s.f.). Manual técnico productivo y económico de poroto verde en la región del Biobio, bajo condición actual y clima proyectado al 2030. Centro de Información de Recurso Naturales. Chile. 17 p.

Londoño, A. (2019). Diseño de un sistema de riego en la granja Tarapacá ubicada en la ciudad de Santiago de Cali. Pasantía comunitaria para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad autónoma del occidente. Santiago de Cali, Colombia.

- Macías, R.; Grijalva, R.; Robles, F.; López, A. y Núñez, F. (2019). Déficit de riego y aplicación de hidrogel en la productividad de olivo en regiones desérticas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 10. Número 2. Cdmx, México. pp. 394-395.
- Mancia, J. (2010). Uso de semilla seleccionada y mejorada de frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L.) para la reducción de síntomas de virosis e incremento del rendimiento local en el caserío Nacaspilo, Santa Clara, San Vicente, El Salvador. Universidad de El Salvador. San Vicente, El Salvador.
- MINAGRI. (2016). Leguminosas de grano: Semillas nutritivas para un futuro sostenible. Lima, Perú. 21 p.
- Moreno, L. (2008). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 181- 182.
- Mosquera, D. (2012). Estudio del aprovechamiento de subproductos de poliacrilato de sodio y celulosa provenientes de la industria pañalera en procesos de perforación petrolera. (Tesis para optar al título de Magister en Ingeniera Química, Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, Colombia. pp. 34, 48.
- Mullet, J. (2009). Traits and genes for plant drought tolerance. In: Kriz and Larkins BA (Eds) *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement*. Biotechnology in Agriculture and Forestry. Texas, USA. pp. 55-64.
- Orbegoso, L. (2017). Efecto del polímero (lluvia solida) y frecuencias de riego en el rendimiento de maíz amarillo (mega híbrido), bajo condiciones de cambio climático, fundo "la pampa", C.U. Morrope, Lambayeque, 2016. (Tesis para obtener el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). Lambayeque, Perú. pp. 19, 20.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y drenaje. Roma, Italia. 17 p.
- Palomino, A. (2014). Rendimiento de tres cultivares de frijol, en condiciones de ceja de selva – Ayacucho. (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga). Ayacucho, Perú.
- Palma, C. (2015). Evaluación de herbicidas pre emergentes en frijol de grano negro; Santa Catarina, Mita, Jutiapa. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Zacapa, Guatemala. 14 p.
- Papa, R.; Bellucci, E.; Rossi, M.; Leonardi, S.; Rau, D.; Gepts, P.; Nanni, L. and Attene, G. (2007). Tagging the signatures of domestication in common vean (*Phaseolus vulgaris*) by means of pooled DNA samples. *Ann. Bot.* 100: 1039–1051.
- Pedroza-Sandoval, A.; Yáñez-Chavez, L.; Sánchez-Cohen-, I. y Samaniego-Gaxiola, J. (2014). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Rev. Fitotec. Mex. Cdmx, México.* 379 pp.
- Pinales, J. (1995). Estudio agrobiológico del frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) bajo condiciones de riego y punto de riego en Anahuac, N.L. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 61 p.
- Polón, R.; Miranda, A.; Maqueria, L.; Ramírez, M. (2013). Efecto de diferentes intensidades de estrés hídrico en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* Vol. 22, No. 4. Pinar del Río, Cuba. pp. 61-62.
- Pumalpa, I. (2016). Caracterización fenotípica de líneas avanzadas de fríjol (*Phaseolus Vulgaris* L.). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp. 2-3,5.

- Quintana-Blanco, W.; Pinzón-Sandoval, E.; Torres, D. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cv Ica Cerinza, bajo estrés salino. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. Bocaya, Colombia*. 89 p.
- Rentería, O. (2019). Evaluación de la tecnología poliacrilato de potasio como herramienta de la GIRH, para la eficiencia del uso del agua de lluvia en el cultivo de frijol de temporal, en el ejido de Nuevo Ideal, Durango, México, en el ciclo 2018-2019. Centro Interdisciplinario de Investigación Para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. Victoria de Durango, México.
- Reyes-Matamoros, J.; Martínez-Moreno, D.; Rueda-Luna, R.; Rodríguez-Ramírez, T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. *Revista Iberoamericana de Ciencias* Vol. 2. Puebla, México. 199 p.
- Román, A. (1990). Fisiología del frijol común. Grupo multidisciplinario de leguminosas. Rio Negro, Colombia.
- SAG. (2013). El cultivo del frijol. Secretaría de agricultura y ganadería. Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria. Tegucigalpa, Honduras. 33 p.
- Sánchez, D. (2019). Efecto de la poliacrilamida en el rendimiento y volumen de riego en maíz (*Zea mays*) Var. Opaco mal paso, Irrigación Majes. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Arequipa, Perú.
- Suarez, R. (2017). Síntesis de hidrogeles pH y termosensibles a partir del ácido acrílico/acrilato de sodio y macromonómeros de 2-ciclopropil-2-oxazolona. (Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, Pontificia Universidad Católica del Perú). Lima, Perú. p. 17.

- Quenter, C. (2013). Evaluación de adaptación de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Palma real, distrito de Echarate - La Convención – Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cuzco, Perú. pp. 17-19.
- Sánchez, D. (2019). Efecto de la poliacrilamida en el rendimiento y volumen de riego en maíz (*Zea mays*) var. opaco mal paso irrigación Majes. (Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Arequipa, Perú.
- San Román, T. (2019). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Con cuatro fuentes de abonos orgánicos en el distrito Nuevo Imperial, Cañete. Lima, Perú. pp. 7-9.
- Sayed, H.; Kirkwood, R. and Graham, N. (1991). The effects of a hydrogel polymer on the growth of certain horticultural crops under salme conditions. *Journal of Experimental Botany*, 42: 240, 89 1-899.
- Suarez, C. (2017). Síntesis de hidrogeles pH- y termosensibles a partir del ácido acrílico/acrilato de sodio y macromonómeros de 2-ciclopropil-2-oxazolina. (Tesis para optar el grado académico de Magister en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Sorel, W. (2014). Adaptación y comparativo de rendimiento de dos cultivares de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Caballero con tres densidades de siembra. Universidad Nacional del Centro del Perú. Jauja, Perú.
- Terracottem. (2016). Hoja de datos de seguridad. Terracottem Universal. Recuperado de <https://www.remediospicasat.com/wp-content/uploads/Fitosanitarios/MSDS%20TerraCottem%20Universal%20ES%20-%20UN%20GHS.pdf>
- Tittonell, P.; De Grazia, J.; Chiesa, A. (2002). Adición de polímeros superabsorbentes en el

medio de crecimiento para la producción de plantines de pimiento. Horticultura Brasileira. Brasília, Brasil. pp. 641-643.

Toctaguano, V. (2019). Evaluación del efecto del poliacrilato de potasio sobre la productividad del cultivo de papa chaucha, en suelos del Cader. Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. pp. 25-26.

Valladares, C. (2010). Serie lecturas obligatorias. Taxonomía y botánica de los cultivos de grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. La ceiba, Honduras. 16p

Vallejos, B.; Martínez, L. (2005). Caracterización y evaluación de 7 genotipos de frijol común de grano color rojo (*Phaseolus vulgaris* L) en la estación experimental La Compañía, Carazo. 2004-2005. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. pp. 24-25.

Vilchez, A. (2015). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Molinero PLV 1-3 con fertilización fosfo potásica y cepas de *Rhizobium* Sp. en La Molina. Lima, Perú.

Villalba, J. (2017). Desarrollo fenológico del cultivo del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Cargabello en el cantón Bucay provincia del Guayas. Documento final del proyecto de investigación como requisito para obtener el grado de ingeniero agropecuario. Universidad Técnica de Ambato. Cumandá, Ecuador.

Villordo, E. (2015). Cartografía de QTL asociados a la tolerancia de estrés hídrico en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). (Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid). Madrid, España.

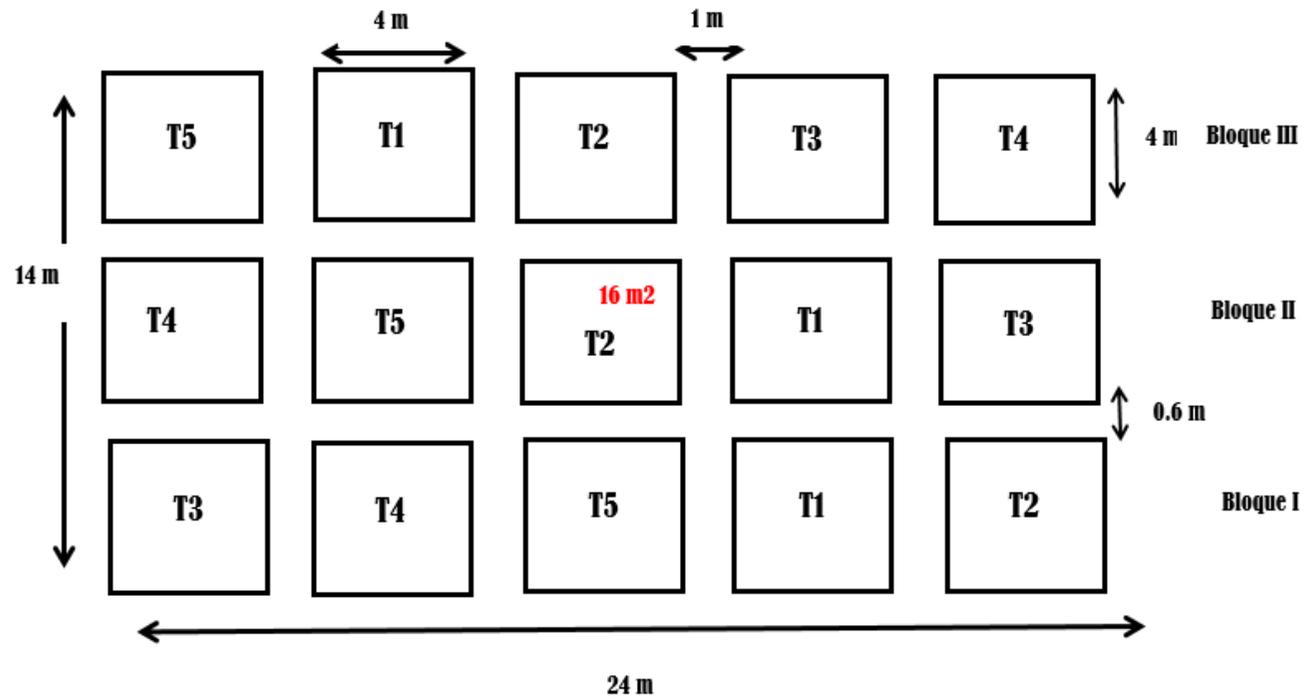
White, J. (2019). Aspectos fisiológicos de la precocidad en el frijol común. Universidad de Costa Rica. pp. 162-164. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10669/79707>

Yánac, L. (2018). Análisis del crecimiento y rendimiento de tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Con diferentes dosis nitrogenadas, en La Molina. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima, Perú.

Zinivand, N.; Khodadadi-Dehkordi, D.; Kashkuli, H.; Asareh, A. y Egdernezhad, A. (2020). Evaluación del efecto del polímero súper absorbente en la eficiencia del uso del agua de la planta en condiciones de déficit de agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CROQUIS DEL CAMPO EXPERIMENTAL



ANEXO 2: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante: FERNADO PAZ ZAGAGETA

Departamento: LIMA Provincia: LIMA
 Distrito: LA MOLINA Predio:
 Referencia: H R 59336-082SC-17 Fact: 906 Fecha: 06/07/17

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

A = Arena - A Fr = 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



Sady García Bendejú
 Jefe del Laboratorio

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 de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANEXO 3: ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO

METODOS SEGUIDOS EN EL ANALISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
4. Calcareo total (CaCO₃): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono Orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %Cx1.724.
6. Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃=0.5M, pH 8.5
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)₃N, pH 7.0
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃ - COOCH₃)₃N, pH 7.0
10. Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺ cambiabiles: reemplazamiento con acetato de amonio

(CH₃ - COONH₄)₃N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.

11. Al³⁺, H⁺: método de Yuan. Extracción con KCl, N

12. Iones solubles:

a) Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.

b) Cl, Co₃, HCO₃, NO₃ solubles: volumetría y colorimetría. SO₄ turbidimetría con cloruro de Bario.

c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.

d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

1 ppm=1 mg/kilogramo

1 milimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro

1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+)/kg

Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes

CE (1 : 1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad		Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible	Relaciones Catiónicas			
Clasificación del Suelo	CE(es)	CLASIFICACIÓN	%	ppm P	ppm K	Clasificación	K/Mg	Ca/Mg
*muy ligeramente salino	<2	*bajo	<2.0	<7.0	<100	*Normal	0.2 - 0.3	5 - 9
*ligeramente salino	2 - 4	*medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240	*defc. Mg	>0.5	
*moderadamente salino	4 - 8	*alto	>4.0	>14.0	>240	*defc. K	>0.2	
*fuertemente salino	>8					*defc. Mg		>10

Reacción o pH		CLASES TEXTURALES				Distribución de Cationes %				
Clasificación del Suelo	pH	A	=	arena	Fr.Ar.A	=	franco arcillo arenoso	Ca ⁺⁺	=	60 - 75
*fuertemente ácido	<5.5	A.Fr	=	arena franca	Fr.Ar	=	franco arcilloso	Mg ⁺⁺	=	15 - 20
*moderadamente ácido	5.6 - 6.0	Fr.A	=	franco arenoso	Fr.Ar.L	=	franco arcilloso limoso	K ⁺	=	3 - 7
*ligeramente ácido	6.1 - 6.5	Fr.	=	franco	Ar.A	=	arcilloso arenoso	Na ⁺	=	<15
*neutro	7.0	Fr.L.	=	franco limoso	Ar.L.	=	arcilloso limoso			
*ligeramente alcalino	7.1 - 7.8	L	=	limoso	Ar.	=	arcilloso			
*moderadamente alcalino	7.9 - 8.4									
*fuertemente alcalino	>8.5									

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

ANEXO 4: INDICADORES METEOROLÓGICOS

MES	T°	T°	T°	Td	Hr.	Viento	Pres.	Prec.
	Máx	Mín	Med	Med	Med	(km/)	n. mar	(mm)
Marzo	33.4	21.5	25.28	21.05	78.26	12.22	1011.40	0.01034
Abril	29.7	18.7	22.63	19.21	81.50	24.16	1012.13	0
Mayo	30.3	17.6	20.85	17.61	82.10	13.45	1014.37	0
Junio	23.1	15.8	18.80	15.43	81.59	12.50	1015.13	0.01538
Julio	21.2	15	17.94	14.26	79.45	11.81	1015.53	0
Agosto	21	14.6	16.81	13.59	81.67	12.6	1015.89	0
Setiembre	21.2	14.6	16.31	13.62	84.25	13.16	1015.66	0.0095
Octubre	22.7	14.2	16.83	13.86	82.74	12.82	1014.32	0
Noviembre	24.6	14.4	18.40	14.60	78.93	14.03	1014.25	0
Diciembre	26	17	20.39	17.06	81.70	16.43	1013.47	0

FUENTE: SENAMHI

ANEXO 5: PRUEBAS DE NORMALIDAD DE LAS VARIABLES EVALUADAS

Variable	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Altura de planta	0.209	15	0.076	0.847	15	0.056
Longitud de vaina	0.113	15	0,200*	0.979	15	0.959
Numero de loculos	0.156	15	0,200*	0.964	15	0.763
Peso 10 plantas (g)	0.143	15	0,200*	0.936	15	0.333
Rendimiento (Tn/ha)	0.142	15	0,200*	0.936	15	0.333
Numero de vainas	0.170	15	0,200*	0.897	15	0.085
Peso fresco 100 semillas	0.144	15	0,200*	0.920	15	0.190
Peso seco 100 semillas	0.088	15	0,200*	0.979	15	0.959
AT 23 dds	0.212	15	0.068	0.817	15	0.066
AT 26 dds	0.209	15	0.077	0.877	15	0.053
AT 36 dds	0.187	15	0.169	0.913	15	0.149
AT 48 dds	0.179	15	0,200*	0.911	15	0.140
AT 55 dds	0.179	15	0,200*	0.911	15	0.140
Días a madurez fisiológica	0.203	15	0.098	0.841	15	0.053
Numero de granos/vaina	0.136	15	0,200*	0.954	15	0.583
% Humedad	0.200	15	0.110	0.908	15	0.126

ANEXO 6: HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS DE LAS VARIABLES EVALUADAS

Variable		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Altura de planta	Se basa en la mediana	0.352	4	10	0.837
Longitud de vaina	Se basa en la mediana	0.697	4	10	0.611
Numero de lóculos	Se basa en la mediana	0.464	4	10	0.761
Peso 10 plantas (g)	Se basa en la mediana	0.624	4	10	0.656
Rendimiento (tn/ha)	Se basa en la mediana	0.618	4	10	0.659
Numero de vainas	Se basa en la mediana	0.522	4	10	0.722
Peso fresco 100 semillas	Se basa en la mediana	0.879	4	10	0.510
Peso seco 100 semillas	Se basa en la mediana	0.205	4	10	0.930
At 23 dds	Se basa en la mediana	0.300	4	10	0.871
At 26 dds	Se basa en la mediana	0.077	4	10	0.988
At 36 dds	Se basa en la mediana	0.654	4	10	0.637
At 48 dds	Se basa en la mediana	0.292	4	10	0.877
At 55 dds	Se basa en la mediana	0.292	4	10	0.877
Días a madurez fisiológica	Se basa en la mediana	1.000	4	10	0.452
Numero de granos/vaina	Se basa en la mediana	0.586	4	10	0.680
% Humedad de grano	Se basa en la mediana	0.927	4	10	0.486

ANEXO 7: VARIABLES MORFOLOGICAS I

TRATAMIENTO	BLOQUE	ALTURA DE PLANTA	LONGITUD DE VAINA	NUMERO DE LOCULOS	NUMERO DE VAINAS	NUMERO DE GRANOS/VAINA
T1: 0 g	I	39.47	9.70	4.90	33.10	4.5
T1: 0 g	II	42.75	10.45	5.40	28.10	4.6
T1: 0 g	III	40.65	12.75	4.50	23.22	3.5
T2: 5 g	I	38.67	10.30	4.60	47.63	4.1
T2: 5 g	II	46.65	11.03	5.00	23.30	4.4
T2: 5 g	III	47.86	10.97	4.90	30.50	4
T3: 10 g	I	41.11	10.79	4.40	27.80	4
T3: 10 g	II	29.80	11.56	4.30	31.62	3.4
T3: 10 g	III	42.02	11.88	4.90	35.44	4.5
T4: 15 g	I	44.50	11.17	4.80	28.40	3.9
T4: 15 g	II	43.54	11.84	5.20	20.20	4.2
T4: 15 g	III	26.92	11.96	4.20	48.40	3.8
T5: 20 g	I	46.59	11.81	4.90	29.30	4.3
T5: 20 g	II	44.00	9.98	4.50	44.20	4.1
T5: 20 g	III	40.90	11.33	4.80	46.50	4

ANEXO 8: VARIABLES MORFOLÓGICAS II

TRATAMIENTO	BLOQUE	PESO FRESCO DE 100 SEMILLAS (g)	PESO SECO DE 100 SEMILLAS (g)	PESO DE 100 SEMILLAS AL 14% (g)
T1: 0 g	I	53	38.9	52.93
T1: 0 g	II	52.9	38.3	52.53
T1: 0 g	III	53.5	38.2	52.69
T2: 5 g	I	60	37.8	54.27
T2: 5 g	II	61.9	38.1	54.84
T2: 5 g	III	60.6	37.6	53.98
T3: 10 g	I	70.4	39.7	56.72
T3: 10 g	II	67.9	39.4	56.45
T3: 10 g	III	68.2	40.5	57.33
T4: 15 g	I	65.4	38.7	55.74
T4: 15 g	II	65.5	39.9	56.66
T4: 15 g	III	67	40.2	57.02
T5: 20 g	I	62.8	37.2	54.32
T5: 20 g	II	63.4	37.5	54.62
T5: 20 g	III	62.6	36.8	25.9

ANEXO 9: VARIABLES MORFOLOGICAS III: ALTURA DE PLANTA A DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA

TRATAMIENTO	BLOQUE	22 DDS	27 DDS	29 DDS	34 DDS	47 DDS	54 DDS
T1: 0 g	I	0.16	0.23	0.29	0.35	0.45	0.51
T1: 0 g	II	0.15	0.21	0.26	0.33	0.44	0.50
T1: 0 g	III	0.17	0.24	0.29	0.34	0.45	0.51
T2: 5 g	I	0.17	0.24	0.29	0.36	0.44	0.5
T2: 5 g	II	0.16	0.23	0.28	0.37	0.45	0.51
T2: 5 g	III	0.17	0.25	0.3	0.36	0.47	0.53
T3: 10 g	I	0.15	0.21	0.26	0.35	0.46	0.52
T3: 10 g	II	0.16	0.23	0.28	0.34	0.48	0.54
T3: 10 g	III	0.16	0.24	0.29	0.34	0.47	0.53
T4: 15 g	I	0.16	0.22	0.27	0.33	0.47	0.53
T4: 15 g	II	0.17	0.24	0.29	0.34	0.45	0.51
T4: 15 g	III	0.15	0.21	0.26	0.37	0.48	0.54
T5: 20 g	I	0.16	0.22	0.27	0.33	0.46	0.52
T5: 20 g	II	0.15	0.21	0.26	0.35	0.48	0.54
T5: 20 g	III	0.17	0.24	0.29	0.36	0.46	0.52

ANEXO 10: VARIABLES EVALUADAS IV

TRATAMIENTO	BLOQUE	PESO FRESCO DE 10 PLANTAS (g)	RENDIMIENTO (tn/ha)	DÍAS A MADUREZ FISIOLOGICA
T1: 0 g	I	20.70	1.73	78
T1: 0 g	II	39.00	3.25	78
T1: 0 g	III	64.60	5.38	78
T2: 5 g	I	37.90	3.16	80
T2: 5 g	II	57.20	4.77	80
T2: 5 g	III	61.50	5.13	80
T3: 10 g	I	47.05	3.92	86
T3: 10 g	II	34.25	2.85	86
T3: 10 g	III	55.80	4.65	86
T4: 15 g	I	49.50	4.13	86
T4: 15 g	II	57.30	4.78	86
T4: 15 g	III	49.50	4.13	96
T5: 20 g	I	63.90	5.33	82
T5: 20 g	II	44.90	3.74	82
T5: 20 g	III	65.50	5.46	82.00

**ANEXO 11: ANALISIS DE VARIANZA: ALTURA DE PLANTA A DIAS DESPUES
DE LA SIEMBRA**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Modelo	39	1.43928333	0.03690470	291.86	<0.0001
Error	50	0.00632222	0.00012644		
Correcto total	89	1.44560556			

**ANEXO 12: PRUEBA DE TUKEY PARA TRATAMIENTOS EN LA VARIABLE
ALTURA DE PLANTA**

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrados medios	Valor F	Pr > F
Bloque	2	0.00157556	0.00078778	6.23	0.0038**
Tratamiento	4	0.00114444	0.00028611	1.34	0.3335ns
Bloq * trat	8	0.00170222	0.00021278	1.68	0.1260ns
Tiempo	5	1.43127222	0.28625444	2263.88	<0.0001**
Trat * tiempo	20	0.00358889	0.00017944	1.42	0.1578ns

**ANEXO 13: PRUEBA DE TUKEY PARA TRATAMIENTOS EN LA VARIABLE
ALTURA**

Tukey Grupos	Mean	N	Tratamiento
A	0.337778	18	T2
B A	0.333889	18	T3
B A	0.332778	18	T5
B A	0.332778	18	T4
B	0.326667	18	T1

ANEXO 14: PRUEBA DE TUKEY PARA LA VARIABLE ALTURA A DIAS DE SIEMBRA

Tukey Grupos	Media	N	Tiempo
A	0.520667	15	6
B	0.460667	15	5
C	0.348000	15	4
D	0.278667	15	3
E	0.228000	15	2
F	0.160667	15	1

ANEXO 15: PRUEBA DE TUKEY PARA LA VARIABLE ALTURA A DIAS DE SIEMBRA

Tukey Grupos	Media	N	Bloque
A	0.338667	30	3
B	0.330333	30	2
B	0.329333	30	1

ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO 10 PLANTAS (g)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	500.1	125	0.88	0.516
Bloque	2	691.6	345.8	2.44	0.149
Error	8	1135.1	141.9		
Total	14	2326.8			

ANEXO 17: ANALISIS DE VARIANZA RENDIMIENTO (TN/HA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	3.473	0.8682	0.88	0.516
Bloque	2	4.803	2.4013	2.44	0.149
Error	8	7.883	0.9854		
Total	14	16.158			

**ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA – LONGITUD DEL TALLO PRINCIPAL
(cm)**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	113.91	28.478	0.66	0.636
Bloque	2	15.14	7.57	0.18	0.842
Error	8	344.57	43.071		
Total	14	473.62			

ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA - NÚMERO VAINAS

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	226.3	56.58	0.53	0.717
Bloque	2	134.3	67.16	0.63	0.557
Error	8	851.2	106.4		
Total	14	1211.8			

ANEXO 20: ANÁLISIS DE VARIANZA - LONGITUD DE VAINA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	3068	767.1	0.95	0.485
Bloque	2	1690	844.9	1.04	0.396
Error	8	6480	809.9		
Total	14	11238			

ANEXO 21: ANÁLISIS DE VARIANZA - NÚMERO DE GRANOS POR VAINA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	0.1507	0.03767	0.21	0.927
Bloque	2	0.1213	0.06067	0.34	0.724
Error	8	1.4453	0.18067		
Total	14	1.7173			

ANEXO 22: ANÁLISIS DE VARIANZA NÚMERO DE LÓCULOS

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	0.264	0.066	0.45	0.768
Bloque	2	0.1293	0.06467	0.44	0.656
Error	8	1.164	0.1455		
Total	14	1.5573			

ANEXO 23: ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO FRESCO DE 100 SEMILLAS

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	399.889	99.9723	48.53	0
Bloque	2	0.961	0.4807	0.23	0.797
Error	8	16.479	2.0598		
Total	14	417.329			

ANEXO 24: ANÁLISIS DE VARIANZA- DÍAS A MADUREZ FISIOLÓGICA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	252.27	63.067	9.46	0.004
Bloque	2	13.33	6.667	1	0.41
Error	8	53.33	6.667		
Total	14	318.93			

**ANEXO 25: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA
UTILIZANDO 0 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.45 tn)**

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	CANTIDAD UTILIZADA	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. MANO DE OBRA				1760
1. Preparación de terreno				
• Gradeo	Hora/maquina	3	80	240
• Nivelado	Hora/maquina	1	80	80
• Riego machaco	jornal	2	40	80
• Instalación de laterales	jornal	3	40	120
2. Siembra y aplicación de PS	Jornal	10	40	400
3. Labores culturales				
• Abonamiento	Jornal	6	40	240
• Deshierbos	Jornal	6	40	240
• Aporque	jornal	4	40	160
4. Cosecha	jornal	5	40	200
B. INSUMOS				1569
1. Semillas		60	20	1200
2. Poliacrilato de sodio	kilogramos	0	0	0
3. Fertilizantes				
• Biolac	galones	3	70	210
• Oligomix	gramos	400	25	50
4. Agua	m3	3000		109
C. SISTEMA DE RIEGO				5000
• Insumos + mano de obra				5000
COSTO TOTAL				8329

**ANEXO 26: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA
UTILIZANDO 5 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.35 tn)**

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	CANTIDAD UTILIZADA	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. MANO DE OBRA				1760
1. Preparación de terreno				
• Gradeo	Hora/maquina	3	80	240
• Nivelado	Hora/maquina	1	80	80
• Riego machaco	jornal	2	40	80
• Instalación de laterales	jornal	3	40	120
2. Siembra y aplicación de PS	Jornal	10	40	400
3. Labores culturales				
• Abonamiento	Jornal	6	40	240
• Deshierbos	Jornal	6	40	240
• Aporque	jornal	4	40	160
4. Cosecha	jornal	5	40	200
B. INSUMOS				2856
1. Semillas		60	7	1200
2. Poliacrilato de sodio	kilogramos	143	9	1287
3. Fertilizantes				
• Biolac	galones	3	70	210
• Oligomix	gramos	400	25	50
4. Agua	m3	3000		109
C. SISTEMA DE RIEGO				5000
• Insumos + mano de obra				5000
COSTO TOTAL				9616

**ANEXO 27: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA
UTILIZANDO 10 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.80 tn)**

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD UTILIZADA	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. MANO DE OBRA				1760
1. Preparación de terreno				
• Gradeo	Hora/maquina	3	80	240
• Nivelado	Hora/maquina	1	80	80
• Riego machaco	jornal	2	40	80
• Instalación de laterales	jornal	3	40	120
2. Siembra y aplicación de PS	Jornal	10	40	400
3. Labores culturales				
• Abonamiento	Jornal	6	40	240
• Deshierbos	Jornal	6	40	240
• Aporque	jornal	4	40	160
4. Cosecha	jornal	5	40	200
B. INSUMOS				4143
1. Semillas		60	7	1200
2. Poliacrilato de sodio	kilogramos	286	9	2574
3. Fertilizantes				
• Biolac	galones	3	70	210
• Oligomix	gramos	400	25	50
4. Agua	m3	3000		109
C. SISTEMA DE RIEGO				5000
• Insumos + mano de obra				5000
COSTO TOTAL				10903

**ANEXO 28: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA
UTILIZANDO 15 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.34 tn)**

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD UTILIZADA	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. MANO DE OBRA				1760
1. Preparación de terreno				
• Gradeo	Hora/maquina	3	80	240
• Nivelado	Hora/maquina	1	80	80
• Riego machaco	jornal	2	40	80
• Instalación de laterales	jornal	3	40	120
2. Siembra y aplicación de PS	Jornal	10	40	400
3. Labores culturales				
• Abonamiento	Jornal	6	40	240
• Deshierbos	Jornal	6	40	240
• Aporque	jornal	4	40	160
4. Cosecha	jornal	5	40	200
B. INSUMOS				5439
1. Semillas		60	7	1200
2. Poliacrilato de sodio	kilogramos	430	9	3870
3. Fertilizantes				
• Biolac	galones	3	70	210
• Oligomix	gramos	400	25	50
4. Agua	m3	3000		109
C. SISTEMA DE RIEGO				5000
• Insumos + mano de obra				5000
COSTO TOTAL				12199

**ANEXO 29: COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL POR HECTAREA
UTILIZANDO 20 g DE POLIACRILATO DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.84 tn)**

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	CANTIDAD UTILIZADA	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. MANO DE OBRA				1760
1. Preparación de terreno				
• Gradeo	Hora/maquina	3	80	240
• Nivelado	Hora/maquina	1	80	80
• Riego machaco	jornal	2	40	80
• Instalación de laterales	jornal	3	40	120
2. Siembra y aplicación de PS	Jornal	10	40	400
3. Labores culturales				
• Abonamiento	Jornal	6	40	240
• Deshierbos	Jornal	6	40	240
• Aporque	jornal	4	40	160
4. Cosecha	jornal	5	40	200
B. INSUMOS				6726
1. Semillas		60	7	1200
2. Poliacrilato de sodio	kilogramos	573	9	5157
3. Fertilizantes				
• Biolac	galones	3	70	210
• Oligomix	gramos	400	25	50
4. Agua	m3	3000		109
C. SISTEMA DE RIEGO				5000
• Insumos + mano de obra				5000
COSTO TOTAL				13486

**ANEXO 30: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL
FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 0 g DE POLIACRILATO
DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.45 tn)**

I. Costo de producción de cultivo	
• Mano de obra	S/.1760.00
• Insumos	S/.1569.00
• Sistema de riego	S/.5000.00
• Costos de producción	S/.8329.00
II. Valoración de la cosecha	
• Rendimiento probable (kg/ha)	3450 kg
• Precio de venta en chacra (kg)	S/.3.00
• Valor bruto de la producción	S/.10350.00
• Utilidad neta	S/.2021.00
III. Utilidades	
• Costo total de la producción	S/.8329.00
• Valor bruto de la producción	S/.10350.00
• Utilidad bruta de la producción (utilidad neta)	S/2021.00
• Precio promedio de venta (kg)	S/.7.00
• Costo de producción unitario (kg) costo total de prod/rendimiento	S/.2.41
• Margen de utilidad unitario (kg)	S/.4.58
• Utilidad neta estimada	S/.2021.00
• Índice de Rentabilidad (%)	24.26

**ANEXO 31: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL
FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 5 g DE POLIACRILATO
DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.35 tn)**

I. Costo de producción de cultivo	
• Mano de obra	S/.1760.00
• Insumos	S/.2856.00
• Sistema de riego	S/.5000.00
• Costo total de producción	S/.9616.00
II. Valoración de la cosecha	
• Rendimiento probable (kg/ha)	4350 kg
• Precio de venta en chacra (kg)	S/.3.00.00
• Valor bruto de la producción	S/.13050.00
• Utilidad neta	S/.3434.00
III. Utilidades	
• Costo total de la producción	S/.9616.00
• Valor bruto de la producción	S/.13050.00
• Utilidad bruta de la producción	S/.3434.00
• Precio promedio de venta (kg)	S/.7.00
• Costo de producción unitario (kg)	S/.2.21
• Margen de utilidad unitario (kg)	S/.4.78
• Utilidad neta estimada	S/.3434.00
• Índice de Rentabilidad (%)	35.71 %

**ANEXO 32: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL
FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 10 g DE POLIACRILATO
DE SODIO (RENDIMIENTO: 3.80 tn)**

I. Costo de producción de cultivo	
• Mano de obra	S/.1760
• Insumos	S/.4143
• Sistema de riego	S/.5000
• Costo total de producción	S/.10903
II. Valoración de la cosecha	
• Rendimiento probable (kg/ha)	3800 kg
• Precio de venta en chacra (kg)	S/.3.00
• Valor bruto de la producción	S/.11400.00
• Utilidad neta	S/.497.00
III. Utilidades	
• Costo total de la producción	S/.10903.00
• Valor bruto de la producción	S/.11400.00
• Utilidad bruta de la producción	S/.497.00
• Precio promedio de venta (kg)	S/.7.00
• Costo de producción unitario (kg)	S/.2.86
• Margen de utilidad unitario (kg)	S/.4.13
• Utilidad neta estimada	S/.497.00
• Índice de Rentabilidad (%)	4.55 %

**ANEXO 33: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL
FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 15 g DE POLIACRILATO
DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.34 tn)**

I. Costo de producción de cultivo	
• Mano de obra	S/.1760
• Insumos	S/.5439
• Sistema de riego	S/.5000
• Costo total de producción	S/.12199
II. Valoración de la cosecha	
• Rendimiento probable (kg/ha)	4340 kg
• Precio promedio de venta (kg)	S/.3.00
• Valor bruto de la producción	S/.13020.00
• Utilidad neta	S/.821.00
III. Utilidades	
• Costo total de la producción	S/.12199.00
• Valor bruto de la producción	S/.13020.00
• Utilidad bruta de la producción	S/.821.00
• Precio de venta en chacra (kg)	S/.7.00
• Costo de producción unitario (kg)	S/.2.81
• Margen de utilidad unitario (kg)	S/.4.18
• Utilidad neta estimada	S/.821.00
• Índice de Rentabilidad (%)	6.73 %

**ANEXO 34: ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DEL
FRIJOL CANARIO CV. CENTENARIO UTILIZANDO 20 g DE POLIACRILATO
DE SODIO (RENDIMIENTO: 4.84 tn)**

I. Costo de producción de cultivo	
• Mano de obra	S/.1760
• Insumos	S/.6726
• Sistema de riego	S/.5000
• Costo total de producción	S/.13486
II. Valoración de la cosecha	
• Rendimiento probable (kg/ha)	4800 kg
• Precio promedio de venta (kg)	S/.3.00
• Valor bruto de la producción	S/.14400.00
• Utilidad neta	S/.914.00
III. Utilidades	
• Costo total de la producción	S/.13486.00
• Valor bruto de la producción	S/.14400.00
• Utilidad bruta de la producción	S/.914.00
• Precio de venta en chacra (kg)	S/.7.00
• Costo de producción unitario (kg)	S/.2.81
• Margen de utilidad unitario (kg)	S/.4.19
• Utilidad neta estimada	S/.914.00
• Índice de Rentabilidad (%)	6.77 %

ANEXO 35: MANEJO Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO EN EL CULTIVO DE FRIJOL



Figura 14: Terreno antes de la preparación



Figura 15: Preparación del terreno



Figura 16: Parcela a los 30 días después de la siembra



Figura 17: Evaluación de la altura de planta



Figura 18: Parcela a 60 días después de la siembra



Figura 19: Trabajo de desmalezado



Figura 20: Evaluación de altura de planta



Figura 21: Aplicación de biofertilizantes



Figura 22: Daño por gusano de tierra



Figura 23: Inicio de la floración



Figura 24: Llenado de vainas



Figura 25: Inicio de la madurez fisiológica



Figura 26: Madurez fisiológica



Figura 27: Madurez de cosecha

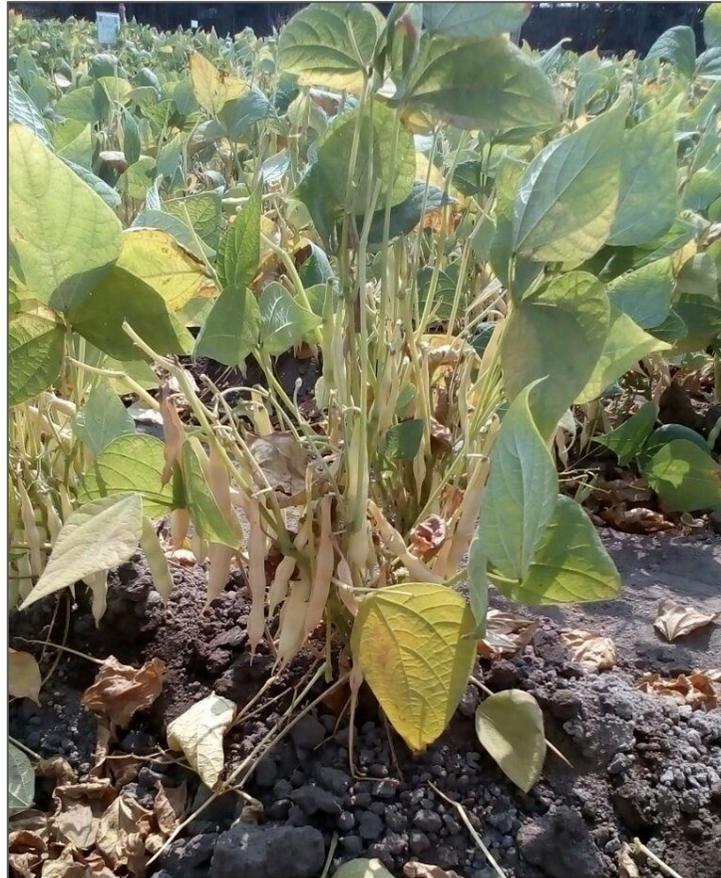


Figura 28: Vainas en madurez de cosecha



Figura 29: Cosecha



Figura 30: Secado de plantas al aire libre



Figura 31: Vainas secas al aire libre



Figura 33: Rotulado de los tratamientos

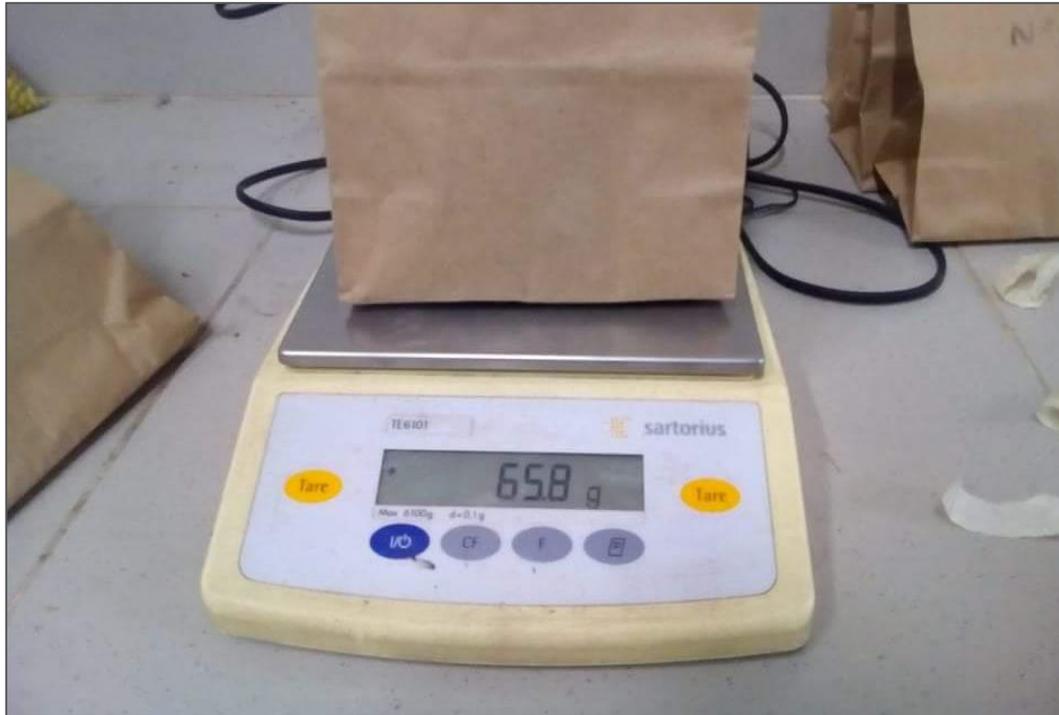


Figura 34: Pesado del grano