

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“HIDROGEL Y ESTRÉS HÍDRICO EN EL CULTIVO DE FRIJOL**

**(*Phaseolus vulgaris* L.) CANARIO VARIEDAD CENTENARIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**ISRAEL ALFONSO EFFIO BARRERA**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

---

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

## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	TESIS ISRAEL EFFIO BARRERA para originalidad.docx (D145196551)
<b>Submitted</b>	9/30/2022 8:14:00 AM
<b>Submitted by</b>	Jorge Tobaru
<b>Submitter email</b>	jtobaru@lamolina.edu.pe
<b>Similarity</b>	0%
<b>Analysis address</b>	jtobaru.unalm@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

### Entire Document

---

I.

INTRODUCCIÓN Las leguminosas de grano son de importancia mundial ya que se cultivan en más de 184 países entre los que destacan India, China, Canadá y Brasil, cultivándose 79 millones de hectáreas a nivel mundial. Al mismo tiempo es el cuarto cultivo de importancia después del trigo, el maíz y el arroz. Dentro de este grupo, el Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más estudiadas en América Latina, por ser fuente importante de proteínas y ser parte fundamental en la alimentación de la población (Durán et al. 2014; MINAGRI, 2016). Para la campaña 2014-2015, Cajamarca, Amazonas, Huánuco, Piura, Huancavelica, Apurímac, Junín y San Martín, tienen el 74% de la superficie sembrada de frijol común en nuestro país. Los departamentos de Lima, Ica y Moquegua son considerados de menor importancia en cuanto a las principales áreas productoras de este cultivo, pero ostentan los mayores rendimientos (2774 kg/ha en promedio). El rendimiento promedio nacional de esta leguminosa de grano es de 1166 kg/ha a nivel nacional (MINAGRI, 2015). Alrededor del 60% de la producción mundial de frijol se consigue bajo condiciones de déficit hídrico. En América Latina el 70% de la producción de esta leguminosa es realizada en regiones con déficit hídrico y solo un 7% es realizado en regiones con condiciones adecuadas de irrigación. (Polón et al., 2014)., esto es en muchos casos debido a la falta de políticas de prevención ante sequías tan comunes en nuestro país por su condición geográfica a los que se suman el poco desarrollo en obras de distribución de agua mediante bocatomas y otras estructuras hidráulicas que aprovechan en coleccionar las pocas precipitaciones para que el líquido en tiempos de baja o nula precipitación llegue adecuadamente a muchos lugares donde se siembran y cosechan innumerables productos agrícolas o de crianza de animales con ejecuciones de sistemas de riego eficientes acompañado de enseñanzas a la población en la utilización correcta del agua y su uso racional cuando sea necesario. Por todo ello ha ocasionado que se considere a la sequía como el segundo problema limitante para su rendimiento luego de las enfermedades. Los efectos del cambio climático, por desgracia, está causando serios impactos en los regímenes de temperatura y precipitación, los cuales se están viendo modificados y que provocan que los cultivos se enfrenten a condiciones ambientales hostiles. El Perú no es ajeno a este problema global debido a que el 63.8% de la superficie agrícola total (4'546,895.8 hectáreas) está bajo secano (MINAGRI, 2019) dependiendo solamente del agua de la lluvia. Por ello se propone la utilización de hidrogel para mitigar el efecto del estrés hídrico en el crecimiento, desarrollo y producción del frijol canario.

1.1. Objetivo principal • Determinar el efecto de un hidrogel en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de frijol canario variedad Centenario bajo déficit hídrico

1.2. Objetivos específicos • Determinar la mejor dosis de un hidrogel para lograr la mejor producción de frijol

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“HIDROGEL Y ESTRÉS HÍDRICO EN EL CULTIVO DE FRIJOL  
(*Phaseolus vulgaris* L.) CANARIO VARIEDAD CENTENARIO”**

**Tesis para optar el Título de:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**ISRAEL ALFONSO EFFIO BARRERA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto  
**PRESIDENTE**

Ing. Mg. Sc. Jorge Tobaru Hamada  
**ASESOR**

Ing. Mg. Sc. Amelia Huaranga Joaquín  
**MIEMBRO**

Ing. M. S. Karin Coronado Matutti  
**MIEMBRO**

**Lima – Perú**

**2022**

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Objetivo principal.....	3
1.2.	Objetivos específicos .....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	Origen .....	4
2.2.	Taxonomía.....	5
2.3	Morfología .....	5
2.4.	Etapas de desarrollo.....	8
2.4.1.	Fase vegetativa:.....	9
2.4.2.	Fase reproductiva: .....	9
2.5.	Requerimientos Edafoclimáticos.....	10
2.6.	Estrategias ante el estrés hídrico en la agricultura.....	12
2.7.	El hidrogel: sus propiedades .....	12
2.8.	El hidrogel: su modo de uso.....	14
2.9.	Estudios en el uso de hidrogeles en los cultivos .....	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1.	Lugar del experimento.....	18
3.1.1.	Ubicación.....	18
3.1.2.	Información Meteorológica .....	18

3.2. Materiales.....	19
3.3. Metodología .....	21
3.3.1. Diseño experimental.....	21
3.3.2. Tratamientos en estudio.....	22
3.4. Conducción del experimento.....	23
3.4.1. Obtención de las plántulas y trasplante .....	23
3.4.2. Preparación de las macetas .....	24
3.4.3. Aplicación del estrés hídrico.....	24
3.4.4. Cosecha.....	24
3.5. Variables en estudio.....	25
3.5.1. Altura de planta.....	25
3.5.2. Número de nudos .....	25
3.5.3. Número de vainas por planta .....	25
3.5.4. Longitud de vaina.....	25
3.5.5. Ancho de vaina .....	25
3.5.6. Número de granos por vaina.....	25
3.5.7. Número de lóculos por vaina.....	26
3.5.8. Rendimiento de grano por maceta.....	26
3.5.9. Peso de 100 semillas .....	26
3.5.10. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	26

3.5.11. Registro de la fenología.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. Altura de planta .....	30
4.2. Número de nudos.....	30
4.3. Número de vainas por planta.....	31
4.4. Longitud de vainas.....	32
4.5. Ancho de vainas .....	33
4.6. Número de granos por vaina .....	33
4.7. Número de lóculos por vaina .....	34
4.8. Rendimiento de grano por maceta .....	35
4.9. Peso de 100 semillas .....	36
4.10. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) .....	37
4.11. Análisis Económico .....	42
V. CONCLUSIONES .....	44
VI. RECOMENDACIONES .....	45
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	46
VIII. ANEXOS .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos meteorológicos registrados en la Estación Von Humboldt entre septiembre y diciembre del 2018.....	19
Tabla 2: Características del material genético usado en el estudio .....	20
Tabla 3: Tratamientos evaluados en el estudio.....	23
Tabla 4: Evaluación de la fenología del frijol bajo los tratamientos en estudio.....	27
Tabla 5: Prueba de comparación de medias de Tukey para la variable en estudio por factor ..	28
Tabla 6: Comparación de medias de tratamientos de Tukey para cada variable en estudio .....	29
Tabla 7: Regresión lineal simple por cada tratamiento durante el agoste.....	40
Tabla 8: Comparación de medias de Tukey para valores de NDVI de los tratamientos durante todo el periodo de suspensión de riegos (06 de noviembre al 20 de noviembre).....	41
Tabla 9: Comparación de medias para valores de NDVI de los momentos de evaluación durante el periodo de suspensión de riegos (06 de noviembre al 20 de noviembre) .....	42
Tabla 10: Análisis económico de los tratamientos de hidrogel en el frijol canario "Centenario" entre setiembre y diciembre del 2018. Todos los valores están en soles .....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de desarrollo del frijol.....	8
Figura 2: Evaluación del NDVI durante la suspensión del riego x tratamiento entre el 06 de noviembre al 20 de noviembre del 2018 .....	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: ANVA con los cuadrados medios para las variables evaluadas.....	56
Anexo 2: ANVA de los efectos simples de la interacción hidrogel x dosis.....	57
Anexo 3: ANVA con los cuadrados medios para la variable NDVI medido en el tiempo.....	58
Anexo 4: Efectos simples de la interacción tratamiento x momento de evaluación durante el agoste .....	59
Anexo 5: Ficha técnica del hidrogel proporcionado por la empresa XILEMAGEL SAC .....	60
Anexo 6: Preparación de sustrato localizado con hidrogel .....	62
Anexo 7: Bandejas para almácigo .....	63
Anexo 8: Transplante .....	64
Anexo 9: Etapa vegetativa.....	65
Anexo 10: Etapa de agoste .....	66
Anexo 11: Etapa reproductiva .....	67
Anexo 12: Etapa de senescencia.....	68
Anexo 13: Análisis de suelo usado en el experimento .....	69
Anexo 14: Análisis de agua usado en el experimento .....	70

## RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial por ser una fuente importante de proteínas y ser parte fundamental en la alimentación de la humanidad. Más de la mitad de la producción mundial de este cultivo se consigue bajo condiciones de déficit hídrico, por ello resulta fundamental estudiar el uso de hidrogeles en el manejo agronómico del frijol para poder contrarrestar la escasez del recurso hídrico. La investigación se llevó a cabo en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) ubicado en Lima, distrito de La Molina con el objetivo de evaluar los efectos de hidrogeles en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de frijol canario variedad Centenario bajo déficit hídrico. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con diseño factorial de dos niveles de modo de aplicación de hidrogel en el suelo (mezclado y localizado), cuatro niveles de dosis de hidrogel en el suelo (5, 10, 15 y 20 gramos por maceta) y obteniéndose en 8 tratamientos y nueve repeticiones. Se realizó el análisis de variancia del rendimiento y sus componentes y la prueba de comparación de medias de Tukey al 95%. Se obtuvo diferencia significativa en la mayoría de los componentes del rendimiento, siendo el peso de 100 semillas el que mostró mayor promedio que los testigos. Se concluyó que la dosis de 5 gramos de hidrogel tuvo un efecto significativo en la longitud de vainas, número de granos por vaina y rendimiento de granos y el modo de aplicación de hidrogel localizado tuvo un efecto significativo en el número de nudos y rendimiento de granos.

**Palabras clave:** agoste, componentes del rendimiento, frijol común, hidrogel, poliacrilamida.

## ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important crops around the world for being an important source of protein and being a fundamental part of the human feeding. More than half of the world production of this crop is achieved under conditions of water deficit, consequently, it is essential to study the use of hydrogels in the agronomic management of beans in order to counteract the scarcity of water resources. The research was carried out in the Experimental Agricultural Field at Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) which is located in Lima, district of La Molina with the aim of evaluating the effects of hydrogels on the yield and its components in the canary bean crop "Centenario" variety under water deficit. A completely randomized design (CRD) was used, with a factorial design of two levels of hydrogel application mode in the soil (mixed and localized), four levels of hydrogel dose in the soil (5, 10, 15 and 20 grams per pot) obtaining eight treatments and nine repetitions. Analysis of variance was performed for yield and yield components and Tukey's comparison of means test at 95%. A significant difference was obtained in most of the yield components, being the weight of 100 seeds the one that showed a higher average than the controls. It was concluded that the dose of 5 grams of hydrogel had a significant effect on pod length, number of grains per pod, grain yield and the localized hydrogel application method significantly affected the number of nodes and grain yield.

**Keywords:** withering, yield components, common bean, hydrogel, polyacrylamide.

## I. INTRODUCCIÓN

Las leguminosas de grano son de importancia mundial ya que se cultivan en más de 184 países entre los que destacan India, China, Canadá y Brasil, cultivándose 79 millones de hectáreas a nivel mundial. Al mismo tiempo es el cuarto cultivo de importancia después del trigo, el maíz y el arroz. Dentro de este grupo, el Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más estudiadas en América Latina, por ser fuente importante de proteínas y ser parte fundamental en la alimentación de la población (Durán et al. 2014; MINAGRI, 2016).

Para la campaña 2014-2015, Cajamarca, Amazonas, Huánuco, Piura, Huancavelica, Apurímac, Junín y San Martín, tienen el 74% de la superficie sembrada de frijol común en nuestro país. Los departamentos de Lima, Ica y Moquegua son considerados de menor importancia en cuanto a las principales áreas productoras de este cultivo, pero ostentan los mayores rendimientos (2774 kg/ha en promedio). El rendimiento promedio nacional de esta leguminosa de grano es de 1166 kg/ha a nivel nacional (MINAGRI, 2015).

Alrededor del 60% de la producción mundial de frijol se consigue bajo condiciones de déficit hídrico. En América Latina el 70% de la producción de esta leguminosa es realizada en regiones con déficit hídrico y solo un 7% es realizado en regiones con condiciones adecuadas de irrigación. (Polón et al., 2014)., esto es en muchos casos debido a la falta de políticas de prevención ante sequías tan comunes en nuestro país por su condición geográfica a los que se suman el poco desarrollo en obras de distribución de agua mediante bocatomas y otras estructuras hidráulicas que aprovechan en coleccionar las pocas precipitaciones para que el líquido en tiempos de baja o nula precipitación llegue adecuadamente a muchos lugares donde se siembran y cosechan innumerables productos agrícolas o de crianza de animales con ejecuciones de sistemas de riego eficientes acompañado de enseñanzas a la población en la utilización correcta del agua y su uso racional cuando sea necesario. Por todo ello ha ocasionado que se considere a la sequía como el segundo problema limitante para su rendimiento luego de las enfermedades.

Los efectos del cambio climático, por desgracia, está causando serios impactos en los regímenes de temperatura y precipitación, los cuales se están viendo modificados y que provocan que los cultivos se enfrenten a condiciones ambientales hostiles. El Perú no es ajeno a este problema global debido a que el 63.8% de la superficie agrícola total (4'546,895.8 hectáreas) está bajo secano (MINAGRI, 2019) dependiendo solamente del agua de la lluvia. Por ello se propone la utilización de hidrogel para mitigar el efecto del estrés hídrico en el crecimiento, desarrollo y producción del frijol canario.

### **1.1. Objetivo principal**

- Determinar el efecto de un hidrogel en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de frijol canario variedad Centenario bajo déficit hídrico

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la mejor dosis de un hidrogel para lograr la mejor producción de frijol canario variedad Centenario bajo condiciones de déficit hídrico
- Determinar la mejor ubicación del hidrogel para lograr la mejor producción de frijol canario variedad Centenario bajo condiciones de déficit hídrico

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen

Se ha establecido que el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tuvo dos centros de domesticación: los Andes y Mesoamérica siendo este último su centro de origen. Por ello de la línea andina derivan 3 razas: Perú, Chile y Granda, y de la línea mesoamericana derivan 3 razas: Durango, Jalisco y Mesoamericana (Hernández et al., 2013; Voysest, 1983).

Según estudios arqueológicos se encontraron restos de la domesticación del frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Cueva del Guitarrero, Callejón de Huaylas, Ancash, Perú con una antigüedad de 8000 a 10000 años y en donde se descubrieron alrededor de 30 especies de frejoles de distintas formas y colores, en el Valle de Tehuacán, Puebla, México con una antigüedad de 7000 años, en el Valle de Nazca, Ica con 2500 años y en Huaca Prieta, La Libertad con 2000 años siendo estos dos últimos también ubicados en Perú (Voysest, 1983; Bitocchi et al., 2012; Kaplan, 1965, citado en Hernández et al., 2013).

El género *Phaseolus* dispone de 5 especies domesticadas: *P. vulgaris*, *P. dumosus*, *P. lunatus*, *P. coccineus* y *P. acutifolius*. (Freytag y Debouck, 2002, citado en Hernández et al., 2013).

Debido a la importancia alimentaria del frejol para la sobrevivencia de las culturas prehispánicas lograron seleccionar diferentes formas y colores acorde a su costumbre y ubicación geográfica en todo el continente americano dando origen a muchos nombres comunes como frejol, frijol, caraota, poroto, nuña, habichuela, judía y feijao (Ulloa et al., 2011, citado en Molina, 2018).

Cuando los conquistadores de la Península Ibérica llegaron al Nuevo Mundo, florecían diversas variedades de frijoles. Cristóbal Colón les llamó “faxónes” y “favas” por su parecido a las habas del viejo mundo, los Aztecas los llamaban “etl”, los Mayas “búul” y “quinsoncho”, los Incas “purutu”, los Cumanagotos de Venezuela “caraotas”, en el Caribe les denominaban “cunada”, los Chibchas “jistle” o “histe” (Martinez et al., 2011, citado en Holguín, 2015).

## 2.2. Taxonomía

Valladares (2010) detalló la taxonomía del frijol común de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Sub reino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnolipsida

Sub Clase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Sub Familia: Faboideae

Tribu: Phaseoleae

Sub Tribu: Phaseolinae

Género: Phaseolus

Especie: *Phaseolus vulgaris*

## 2.3 Morfología

CIAT (1985) describen al Frijol morfológicamente como sigue:

**Raíz:** dispone de una raíz principal proveniente de la radícula del embrión, luego y pasando algunos días inician el crecimiento las raíces secundarias cercanas al cuello de la raíz principal. A medida que transcurre su desarrollo normal emergen las raíces terciarias y sobre ellas las cuaternarias que disponen de las partes más jóvenes del tejido radicular como los pelos absorbentes, siendo este último el que dispone de nodulaciones característica común de la subfamilia Papilionoideae y muy importante ya que su función principal es absorber agua y nutrientes.

**Tallo:** inicia su crecimiento en el meristema apical del embrión y a medida que se va desarrollando genera nudos siendo soporte de numerosos órganos como: hojas, axilas, peciolos, estipulas, yemas, ramas, etc. Para determinar las variedades de frejoles se basan en la pilosidad (pubescente o subglabro), color (morado, rosado, verde), tipo de crecimiento (determinado e indeterminado) y tamaño que está relacionado al número de nudos.

El crecimiento determinado (I) se caracteriza porque el desarrollo del tallo termina en inflorescencias y puede llegar a 50 centímetros de altura o 10 entrenudos aproximadamente.

El crecimiento indeterminado se caracteriza por disponer de hábitos del tipo arbustivo (II) postrado (III) o trepador (IV). Para el tipo II se caracteriza por tener más de 12 nudos y el tallo termina en una guía. En el tipo III la altura siempre es mayor a 80 cm de altura llegando hasta 20 nudos y el tallo con las ramas acaban en guías. En el tipo IV el tallo dispone entre 20 a 30 nudos alcanzando por lo menos 2 metros de altura y presenta a un mismo tiempo la floración, llenado y formación de vainas y madurez.

Otra característica muy importante es el sentido de la floración; mientras en los determinados la floración ocurre en forma descendente, en los indeterminados es en sentido opuesto.

**Ramas y complejos axilares:** su crecimiento inicia en el llamado complejo axilar que son las yemas ubicadas en los cotiledones y demás axilas de hojas trifoliadas, las cuales se ubican a lo largo del tallo. Este grupo de tres yemas o triadas pueden desarrollarse según su ubicación espacial de la siguiente manera: vegetativo, floral y vegetativo o floral.

Desarrollo vegetativo: se forma en el nudo de los cotiledones, hojas primarias y las primeras hojas trifoliadas.

Desarrollo floral y vegetativo: se inician desde la mitad y en sentido ascendente de los tallos y sus ramas.

Desarrollo floral: aquí las yemas rompen su latencia en botones florales normalmente en la parte superior del tallo y sus ramas.

**Hojas:** son de dos arquetipos: simples y compuestas. Las hojas simples son las primeras que se desarrollan luego de los cotiledones y están ubicados en el segundo nudo del tallo. Su forma es unifoliada y son opuestas, las estipulas que acompañan a estas hojas son de forma bífida. Las hojas compuestas o de tres folíolos dispone de un raquis, un peciolo y de estipulas triangulares. La forma de los dos folíolos laterales que la componen son asimétricos y el folíolo central simétrico.

**Inflorescencia:** está constituido por el pedúnculo y el raquis, brácteas florales y los botones florales. Son los racimos secundarios o racimos de racimos. El raquis secundario está compuesto de tres nudos o inserciones y cada uno de ellos disponen de tres yemas florales las cuales están ubicadas alternadamente sobre el raquis; dos de ellas se desarrollan en flores y la tercera o

central tiene el potencial de desarrollar otro grupo de tres yemas florales los cuales producirán una flor pero su desarrollo depende de la competencia generada por la madurez de las vainas de cada yema lateral ya que se ve reducida su actividad fotosintética y en consecuencia no se desarrolla la flor.

**Flor:** puede originarse en las yemas axilares o de los racimos. La flor del frijol es perfecta. Esto significa que en la misma flor se encuentran los órganos masculinos y femeninos. Además de ser perfecta, la flor del frijol es completa, ya que posee corola y cáliz. En el proceso de desarrollo se distinguen dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. El botón floral es una flor joven en la cual no ha ocurrido la antesis. La antesis se define como el fenómeno de apertura de la flor. En su estado inicial está envuelto por bractéolas de forma ovalada y en su estado final la corola continúa cerrada con bractéolas que cubren el cáliz. La flor tiene simetría bilateral con las siguientes características:

- Un pedicelo glabro que en cuya base se ubica una pequeña bráctea unilateral o pedicelar.
- Cáliz con sépalos soldados entre sí, campanulado. En la base del cáliz hay dos bractéolas ovoides y multinervales que persisten hasta poco después de la floración.
- Corola pentámera con dos pétalos soldados en su base y tres no soldados; el pétalo más sobresaliente y no soldado es el estandarte, el cual es glabro y simétrico, dos alas y la quilla asimétrica formada por dos pétalos soldados. La quilla envuelve al androceo y gineceo.
- Androceo de nueve estambres soldados por su base en un tubo y un estambre libre llamado vexilar el cual se encuentra frente al estandarte.
- Gineceo de ovario comprimido, estilo encorvado y estigma interno lateral terminal.
- Anteras al mismo nivel que el estigma y ambos están envueltos por la quilla favoreciendo la autopolinización. Cuando se produce la dehiscencia (antesis) de las anteras el polen cae sobre el estigma.

**Fruto:** es una vaina que puede llegar hasta 20 centímetros de longitud en promedio. Generalmente contienen pelos en su superficie y pueden ser de color verde, amarillo o púrpura dependiendo de la variedad. Esta se divide internamente en dos valvas y contienen dos suturas: placentar y ventral donde se ubicarán alternadamente las futuras semillas que pueden llegar hasta 12 por vaina en su mayoría.

**Semilla:** sus reservas de nutrimentos se encuentran en los cotiledones por ello no tiene albumen. Asimismo, puede tener diferentes formas: arrionado, esférico o tipo cilindro. Dispone de caracteres externos (testa, hilum, micropilo, rafe) e internos (embrión):

- Testa: o cubierta de la semilla
- Hilum: cicatriz que une a la semilla con la placenta
- Micropilo: ranura cerca al hilum cuya función es absorber el agua.
- Rafe: es la unión del funículo con las cubiertas externas de la semilla.
- Embrión: está compuesto por la plúmula, hojas primarias, hipocótilo, cotiledones y radícula.

## 2.4. Etapas de desarrollo

Fernández et al. (1986); Ventura et al. (2018) afirmaron que el frijol común comprende dos fases sucesivas de desarrollo y diez etapas fenológicas:

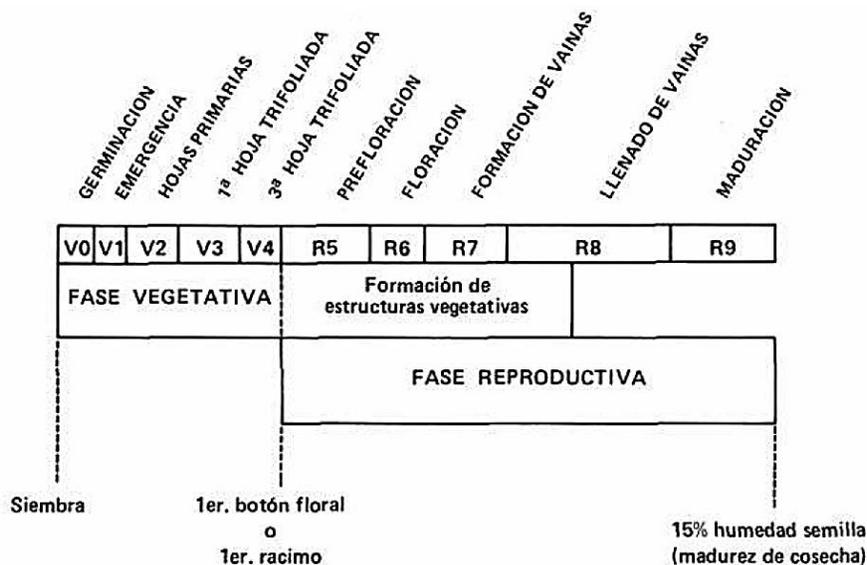


Figura 1: Etapas de desarrollo del frijol

Fuente: Fernández et al. (1986)

#### **2.4.1. Fase vegetativa:**

**Germinación V0**, comienza cuando la semilla del frijol dispone de una humedad favorable y/o suficiente y sumada a ello las condiciones ambientales que propicien reacciones bioquímicas que liberan nutrientes desde los cotiledones permitiendo el crecimiento de la radícula (futura raíz) y el hipocótilo el cual puede observarse a nivel del suelo.

**Emergencia V1**, comienza cuando el 50% de los cotiledones de la siembra del frijol aparecen en la superficie del suelo y el hipocótilo se encuentra en posición erecta.

**Hojas primarias V2**, luego de la emergencia de los cotiledones sobre la superficie del suelo empieza a desarrollarse el epicotilo el cual está conformado desde los cotiledones hasta la hoja primaria; cuya característica más importante para su reconocimiento es ser unifoliada y opuesta. Entonces es en este momento con un 50% de las hojas primarias visibles del total de la siembra y los cotiledones se encuentran en su mayoría deformes que estamos en esta etapa.

**Primera hoja trifoliada V3**, el inicio de esta etapa ocurre al presentarse el 50% del total de la siembra del cultivo con las hojas trifoliadas visibles es en este momento que su crecimiento está por encima de las hojas primarias y ya se empieza a notar la aparición de la segunda hoja trifoliada y los cotiledones están totalmente secos y caídos.

**Tercera hoja trifoliada V4**, empieza cuando la tercera hoja trifoliada es visible en el 50% de la siembra del cultivo y se encuentra por debajo de la primera hoja trifoliada. Es en esta etapa que se empiezan a desarrollar las yemas de los nudos inferiores del tallo y la aparición de las primeras ramas y otras hojas trifoliadas.

#### **2.4.2. Fase reproductiva:**

**Prefloración R5**, se inicia cuando en el 50% de las plantas aparecen los primeros botones florales en los últimos nudos del tallo o la rama (crecimiento determinado) y por el contrario los racimos se observan primero en los nudos inferiores y luego en los superiores (crecimiento indeterminado), al finalizar esta etapa los pedúnculos de los racimos se alargan.

**Floración R6**, se inicia cuando está abierta la primera flor en el 50% de las plantas del cultivo; se inician en el último nudo del tallo principal en forma descendente para variedades determinadas y empieza en la parte baja continuando en forma ascendente para variedades

indeterminadas. Las flores permanecen frescas y turgentes y poseen la coloración característica de la variedad, la cual sucede solo el mismo día de la antesis.

**Formación de vainas R7**, después de tres o cuatro días de la antesis, la corola se marchita y puede estar colgando próxima a desprenderse, dejando visible la vaina joven. Cuando la planta presenta la corola desprendida de la primera vaina en el 50% de las plantas, se ha iniciado esta etapa, y termina cuando las vainas han alcanzado su máxima longitud y solo entonces comienza el crecimiento de los granos.

**Llenado de vainas R8**, comienza cuando en el 50% de las plantas la primera vaina cesa de alargarse y comienza a llenarse las semillas, la cual alcanza su máximo peso alrededor de 40 a 45 días después de la antesis. Al final de esta etapa, las hojas empiezan a perder su coloración verde y algunas caen y los granos pierden su color verde para comenzar a adquirir el color característico de la variedad. Es en esta etapa que para tipos de crecimiento indeterminado termina la fase vegetativa.

**Maduración R9**, se inicia cuando las primeras vainas del 50% de las plantas cambia su color verde por amarillo rojizo o pigmentado y las hojas inferiores se tornan de color amarillo y se caen. Todas las partes de la planta se secan y el contenido de humedad de las semillas bajan hasta un 15 por ciento, las semillas adquieren su color final termina el ciclo biológico y la planta está lista para la cosecha.

## **2.5. Requerimientos Edafoclimáticos**

Atilio y Reyes (2008); Ventura et al. (2018) afirmaron que la planta de frijol se desarrolla muy bien entre temperaturas promedio de 18 a 27 °C y necesita de suelos fértiles, ricos en materia orgánica con texturas medias o moderadamente pesadas (franco arenoso o franco arcilloso) de buena aireación y drenaje, ya que este cultivo no tolera suelos compactos y de poca aireación. El pH deberá de fluctuar entre 6.5 a 7.5, ya que dentro de este rango está disponible la mayoría de elementos nutritivos para la planta. Además, el cultivo del frijol puede llegar a resistir pH hasta de 5.5 pero menor aquel parámetro puede presentar problemas de toxicidad por manganeso o aluminio.

Holguín (2015); Cántaro (2018) afirmaron que el frijol es una especie de día corto cuyo umbral térmico es de 10°C como temperatura mínima y 25°C como temperatura máxima. Por ello las

temperaturas superiores a 25°C complementado con una humedad relativa baja pueden ser perjudiciales para la planta del frijol sobre todo en el desarrollo normal de la etapa de floración afectando de manera definitiva la formación de las vainas con la consecuente pérdida de cosecha.

Cántaro (2018) mencionó que la planta del frijol es muy sensible a excesos o carencias de la humedad en el suelo. El aumento de la frecuencia del riego o inundaciones por fenómenos naturales o antrópicos pueden ocasionar que las raíces se estresen y no puedan intercambiar oxígeno disminuyendo la tasa fotosintética de la planta y su respiración causándole una marchitez definitiva y posterior muerte.

INTA (2009); Cántaro (2018); Ventura et al. (2018) afirmaron que la demanda del recurso hídrico en el cultivo del frijol deberá de tener una distribución óptima en las distintas etapas del crecimiento del cultivo. En vista de la sensibilidad del frijol a los excesos o deficiencias del recurso hídrico durante toda su etapa de crecimiento se requerirá de una óptima repartición del agua: desde la siembra hasta la prefloración con un promedio de 3.4 litros de agua por metro cuadrado al día, en la floración de 6 litros de agua por metro cuadrado al día y desde la aparición de las primeras vainas hasta el llenado de granos de 5 litros de agua por metro cuadrado al día. La provisión de agua desde la etapa de prefloración hasta el llenado de vainas es muy importante para avalar una excelente producción de granos.

Núñez (1984) citado en Valladolid (2001) indicó que luego de un análisis químico del suelo en donde el nitrógeno sea pobre se tiene que fertilizar de 40-60kg de N<sub>2</sub>/ha. Asimismo, con bajo contenido de fósforo y paralelamente se tiene que fertilizar de 40-60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Terranova (2002) citado en Molina (2014) indicó que una gran cantidad de nitrógeno (65%-70%) es asimilado por la planta debido a la simbiosis generada en las nodulaciones de sus raíces con la bacteria nitrificante *Rhizobium phaseoli*. La cantidad que no llega a ser fijada y/o reemplazada por la simbiosis es absorbida por las raíces desde el suelo. Por ello la aplicación del nitrógeno faltante (60-70 kg/ha) deberá ser partido entre sus distintas etapas de crecimiento del frijol: 25-30 kg/ha al instante de la siembra y 35-40 kg/ha a inicios de la floración.

## **2.6. Estrategias ante el estrés hídrico en la agricultura**

Uno de los problemas a los que se enfrenta hoy en día la agricultura en el país es al cambio climático, que está generando pérdidas de cosecha por sequías prolongadas en todas las regiones del Perú. Por ello se están desarrollando labores orientadas a mitigar los efectos ocasionados por estos acontecimientos que vienen aumentando con el transcurrir de los años. En las zonas altoandinas de nuestro país que se practica pequeña agricultura familiar en terrenos con pendientes considerables, han generado una solución socioeconómica muy apropiada a los Andes basado en la construcción de zanjas de infiltración, que permiten captar el agua de lluvia y de reservorios acuíferos revestidos en barro de arcilla con suficientes canales de distribución del agua destinada al riego de muchos cultivos de panllevar, aumentando la eficiencia del mismo que junto al mejoramiento en la productividad de las semillas, las familias han diversificado la producción y aumentado sus ingresos (CEPAL, 2011). Además, estas acciones están acompañadas con la modificación de la fecha de siembra que coinciden con las precipitaciones, uso de cultivos de ciclo corto y labores de conservación de suelo como curvas de nivel, andenería, acolchado para mantener la humedad, descanso del suelo y asociación de cultivos (MINAM, 2016).

Existen otras estrategias que vienen adoptando países de la región con el mismo problema de estrés hídrico incluso aún más grave en comparación a nuestro país como lo que está sucediendo en Chile, siendo el sector más perjudicado la agricultura. Para enfrentar este problema están aplicando estrategias como la construcción de pozos para almacenar agua, mejorar canales con revestimiento, uso de riego tecnificado con alta eficiencia, no sembrar especies forestales, reducir la siembra e incluso emplear prácticas culturales de conservación del suelo (Meza, Corso, & Soza, 2010).

## **2.7. El hidrogel: sus propiedades**

Bernabé (2018) afirmó que los geles de poliamidas son compuestos formados por la unión en cadena o por entrecruzamiento de acrilamidas que le confieren propiedades hidrófilas llegando a absorber dentro de su estructura de 40-500 veces su peso en agua, cuya eficacia depende de las sales presentes en el agua de riego, de la fertilización, tipos de suelo, temperatura del medio ambiente y pH de suelo.

Guzmán (2016) afirmó que las cadenas de acrilatos unidos a sales de potasio (poliacrilato de potasio) generan una carga a lo largo de la cadena que al entrar en contacto con el agua de naturaleza polar forman una sustancia gelatinosa llamada hidrogel muy usado en la agricultura. Sojka et al. (2007) señalaron que los compuestos finales producto de la degradación de los polímeros absorbentes en el suelo son CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O, los cuales no presentan toxicidad para el medioambiente y para las plantas.

Granados (2013) afirmó que son moléculas de acrilato unidas entre sí en cadenas largas las cuales en condiciones naturales pueden llegar a biodegradarse en alrededor de 8 años. Además, absorben agua de lluvia o de canales de regadío y las libera de manera paulatina en la solución suelo a las raíces de la planta entre 40 a 60 días la que dependerá de la textura del suelo, temperatura del medio ambiente y del sustrato presente en el suelo. Por ello y debido a esta característica tan importante permite ahorrar hasta un 50 % de gasto en agua de riego o reducir la frecuencia de riego a la mitad.

Mikkelsen, R. (1999) afirmó que los polímeros hidrófilos se encuentran en tres tipos que incluyen: naturales (derivados de polisacáridos), semiartificiales (derivados primitivos celulósicos) y artificiales.

Orzolek (1993) señaló que los polímeros pierden del 10% al 15% de su actividad cada año cuya degradación parecen ser por los microorganismos del suelo, modificación de la estructura física a lo largo del tiempo y a su descomposición química.

Seybold (1994), mencionado por Guzmán, (2018), destacaron que entre sus propiedades está: la poliacrilamida es un polímero sintético orgánico de alto peso molecular que es soluble en agua, interactuando primeramente en las fracciones de las arcillas del suelo. Es efectiva en la estabilidad de los agregados del suelo, reduce la erosión del mismo e incrementa la infiltración del agua.

Roshan (2005) citado en Pouresmaeil et. al (2013) señalaron que los polímeros son compuestos orgánicos sintéticos y son producidos a partir de copolímeros de poliacrilamida y poliacrilatos de potasio. Además, pueden absorber varias veces su volumen al exponerse al agua y se convierten en reservorios hídricos listos para usarse por el sistema radicular de la planta. Por ello, incrementan la habilidad del suelo para conservar el agua y reducir el estrés hídrico mejorando el crecimiento de las plantas. Los hidrogeles son inodoros, incoloros y no tienen ningún efecto de contaminación en el suelo, agua y órganos de la planta.

La aplicación de hidrogeles en la agricultura ha permitido aumentar la capacidad de retener agua en el suelo evitando grandes pérdidas de agua por infiltración en el suelo y sumado a ello las pérdidas de nutrientes por el arrastre generado cuando el agua atraviesa los horizontes del suelo. De esta manera se mejoran las propiedades físicas del suelo (aireación y drenaje) y químicas del suelo como la conservación de los nutrientes en la solución suelo aumentando su disponibilidad en las raíces de los cultivos (López et al. 2016).

Elshafie et. al (2021) mencionaron que los hidrogeles pueden degradarse fácilmente cuando se exponen a los rayos UV. En particular, el poliacrilato se vuelve mucho más sensible a los microorganismos aeróbicos y anaeróbicos del suelo degradándose fácilmente en agua, dióxido de carbono y sus compuestos nitrogenados.

Nazarli et. al (2010) sugirieron que al menos el 95% del agua almacenada en los polímeros absorbentes está disponible para las plantas y minimizan los niveles de estrés por las fluctuaciones de humedad manteniendo gradualmente disponible el agua para la planta siendo unas de las características más importantes de esta sustancia en la agricultura.

Bagherifard et al. (2020) mencionaron que la aplicación de polímeros absorbentes en el medio edáfico modera el efecto negativo del riego deficitario en el crecimiento y la productividad de las plantas. Este efecto puede deberse a la considerable absorción de agua en la estructura tridimensional del polímero y volver disponible al agua absorbida gradualmente en el suelo circundante de la raíz de la planta.

## **2.8. El hidrogel: su modo de uso.**

Guzmán (2016) afirmó que los polímeros súper absorbentes han sido ampliamente utilizados en la industria de manufactura, en el cuidado personal como los paños absorbentes, en la minería, potabilización de agua, en las RILES (siendo estos los “Residuos Industriales Líquidos”, es decir, son “aguas” que resultan del procesamiento y elaboración de distintos productos, y que deben ser debidamente tratados, de manera de que no perjudiquen el alcantarillado) y sobre todo en la agricultura siendo de especial importancia en este sector por las propiedades benéficas del hidrogel a la insuficiencia del recurso hídrico.

Bernabe (2018) indicó que los polímeros de acrilamida aumentan la retención del agua en el suelo permitiendo el aprovechamiento de las lluvias o riegos que son desperdiciados en su

mayoría por la escorrentía que genera erosión y pérdida de suelo agrícola. Además, cede paulatinamente al sistema radicular el agua que tanto requiere por las pérdidas sufridas debido a la elevada evapotranspiración generada por factores bióticos y abióticos que generan fuertes sequías ayudando a mejorar la producción en los cultivos.

El hidrogel debiera ser mezclado con el suelo antes de sembrar las semillas de plantas, arbustos y árboles. Para ello la dosis recomendada sería 250-300 gramos/100 litros de tierra (2-3 gramos por litro). El suelo no debe de estar mojado, el hidrogel necesita mezclarse bien con el sustrato o el suelo antes de que la tierra sea regada. Para áreas de uso más amplio (campos) la dosis recomendada es de 30 gramos por metro cuadrado (Hidrogel.es, 2018).

Las poliacrilamidas de potasio son una elección factible para los beneficios que conlleva su uso como compuesto absorbente del agua en explotaciones agrícolas; estos polímeros tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua y liberarla de forma controlada y paulatina, al mezclar el hidrogel con el suelo se logra aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad del vital líquido por filtración, además se disminuye la evaporación de la misma, se mejora la actividad biológica y la producción del suelo (Bustamante et al. 2013).

Aparte de la conservación del agua en el medio edáfico, el hidrogel muestra otros efectos en el suelo, por ejemplo, Valencia (2014) indicó el comportamiento positivo de las poliacrilamidas como producto controlador de la erosión.

## **2.9. Estudios en el uso de hidrogeles en los cultivos**

Sojka et al. (2007) mencionaron que los estudios de los hidrogeles se iniciaron en riego por surcos, para obtener un mejor aprovechamiento del agua por las raíces y con ello disminuir las pérdidas del recurso hídrico causado por una profunda filtración y percolación que además erosionan y perjudican la capa del suelo rica en nutrientes donde se desarrollan las raíces.

Miramontes et al. (1997) citado en López (2012), realizaron un estudio para incrementar la disponibilidad de agua en el suelo utilizando hidrogel en tres tipos de suelo y al mismo tiempo se buscó la profundidad óptima de colocación del mismo. Encontraron que en suelos arenosos la profundidad óptima fue de 25 cm. Además, encontraron diferencias en las alturas de plantas de frejol a los 30 días y que en las plantas con hidrogel solo requirieron el 11% del agua que las plantas sin tratar.

Alves y Ribeiro (2016), hallaron que distintas dosis de los hidrogeles en el cultivo de la soya causaron diferencias significativas en el peso de 100 semillas, el número de vainas por planta y su rendimiento acreditando de esta manera la eficacia del hidrogel en la retención y aprovechamiento del agua en la soya.

López et al. (2016), encontraron que las poliacrilamidas de potasio mejoran la retención del agua y su aprovechamiento por parte de la planta, pero dependerá de la concentración de sales en el riego mermando su capacidad retenedora.

Bowman et al. (1990) citado en López et al. (2016), indicaron que el uso de fertilizantes como la urea no afecta la retención del agua por parte del hidrogel, pero si se verá perjudicada con la presencia de cationes como el calcio, magnesio, potasio y amonio.

Macias et al. (2019), realizaron un estudio de hidrogeles en el rendimiento y calidad del olivo sobre una zona semiárida y no encontraron diferencias en su aplicación.

Andrada y Di Barbaro (2018), en un experimento sobre el efecto de la aplicación de los hidrogeles en *Lactuca sativa* encontraron que usando acrilatos de potasio la lechuga presentaba mayor emergencia, crecimiento y alto rendimiento debido al aumento del contenido de humedad del suelo por su aplicación.

Baron et al. (2007), evaluaron la aplicación de hidrogeles en sistemas agroforestales sobre un suelo franco arcilloso y encontraron que las acacias en condiciones de sequía y usando hidrogeles continuaban su crecimiento y desarrollo por más tiempo que las acacias sobre suelos sin hidrogeles.

Ortega et al. (2020), indicaron que la mezcla de hidrogeles y sustratos en cultivos bajo invernaderos como el tomate y pepino permiten economizar agua y fertilizantes.

Albuquerque et al. (2009) citado en López et al. (2016) señalaron que los polímeros absorbentes al ser usados gradualmente en el cultivo del cilantro extendieron la eficiencia del agua disponible y aprovechable por las raíces, además de aumentar el peso seco del cultivo y el número de plantas.

Pieve (2012) determinó el efecto de los polímeros absorbentes en el crecimiento de las plantas de café en campo abierto y determinaron que la aplicación de una solución de polímero en el momento de la nueva plantación puede reducir la mortalidad de las plantas de café.

Konzen et al. (2017) estudiaron el efecto combinado del hidrogel con diferentes tipos de fertilizantes basados en NPK tradicional como el superfosfato y cloruro de potasio en *Mimosa scabrella* y observaron que el crecimiento de las plántulas fue promovido por el aumento en la retención de agua y absorción de nutrientes en el hidrogel.

Albuquerque et al. (2018) evaluaron la dosis más adecuada de hidrogel para establecer plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* bajo dos niveles de luminosidad 50% y 100% y 10 dosis de hidrogel que varía entre 0 y 6 gramos por litro. Observaron que las dos dosis probadas 2 y 3 gramos por litro mostraron el mejor desarrollo de las plántulas incluso bajo pleno sol y ambientes sombreados respectivamente.

Bernardi et al. (2012) señalaron que la aplicación de 6 gramos por litro de hidrogel en sustratos de *Corymbia citriodora* fue capaz de aumentar la altura de la planta y el diámetro del tallo en un 23%.

Fallahi et al. (2015) en un estudio realizado en el cultivo de algodón bajo estrés hídrico encontraron que intervalos de riego moderados de aproximadamente cada 15 días junto con la aplicación de 60 kilogramos por hectárea de polímeros absorbentes fue el mejor tratamiento en términos de rendimiento e índices de crecimiento del algodón. Los resultados para la altura de la planta, el peso seco de la planta, el número de cápsulas por planta y el rendimiento de fibra en este tratamiento fueron 16, 28, 42 y 10% más altos que el tratamiento control, respectivamente.

Kargar et al. (2017) evaluaron la reducción de los efectos de estrés hídrico en dos especies de árboles tales como *Ulmus pumila* y *Acer saccharinum* usando hidrogeles. Para ello monitorearon el estrés mediante un medidor de clorofila (SPAD) y a su vez usaron otro parámetro que estima la respuesta de la planta al déficit hídrico como es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) encontrando que el estrés hídrico disminuyó el NDVI ( $p < 0.05$ ) pero no tuvo un efecto significativo en las lecturas SPAD. Además, con un suelo al 0.5% de concentración de hidrogel fue positivamente asociado a una mayor altura y NDVI ( $p < 0.01$ ) para ambas especies arbóreas.

Sarvaš et al. (2007) observaron que el uso de hidrogeles afectó la supervivencia de las plántulas de pino (*Pinus sylvestris*) cuya aplicación de 7 gramos por hoyo de plantación provocaron una sobredosis y con ello una elevada humedad que provocó la presencia de enfermedades fungosas ocasionando una alta mortalidad del 64%.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar del experimento**

##### **3.1.1. Ubicación**

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Agrícola Experimental (ex Fundo) de la Universidad Nacional Agraria La Molina. A continuación, se detalla más información acerca del mismo.

##### **a. Ubicación política**

Lugar : Universidad Nacional Agraria La Molina

Distrito : La Molina

Provincia : Lima

Departamento : Lima

##### **b. Ubicación geográfica**

Latitud : 12° 05' 06" S

Longitud : 76° 57' 00" O

Altitud : 238 msnm

##### **3.1.2. Información Meteorológica**

Los datos meteorológicos que corresponden a la zona experimental durante el desarrollo del cultivo estuvieron comprendidos entre septiembre y diciembre del 2018, los cuales se

obtuvieron de la Estación Von Humboldt. En la tabla 1 se puede observar que el cultivo se desarrolló a una temperatura entre 11.6°C y 30.3°C.

**Tabla 1: Datos meteorológicos registrados en la Estación Von Humboldt entre septiembre y diciembre del 2018**

Mes	Temperatura (en °C)		
	Media mensual	Máxima absoluta	Mínima absoluta
<b>Septiembre</b>	17.9	27.9	11.6
<b>Octubre</b>	18.4	30.3	11.9
<b>Noviembre</b>	19.7	25.8	13.1
<b>Diciembre</b>	21.5	28.3	13.3

### 3.2. Materiales

Macetas plásticas de 4 kg de capacidad. Suelo agrícola extraído del Campo Agrícola Experimental (ex Fundo) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyo análisis se muestra en el anexo 13. De dicho análisis se puede indicar que el suelo es ligeramente salino, el pH es ligeramente alcalino y su textura es de un suelo con una cantidad de arcilla importante (franco arcilloso). Su cantidad de materia orgánica es importante (pero no excesiva), y su potasio disponible es alto y el fósforo también. Respecto a las relaciones catiónicas, todas son normales excepto Ca/Mg donde se presenta deficiencia de magnesio. Por último, respecto a los carbonatos es moderadamente calcáreo.

Agua de riego superficial proveniente de los canales de irrigación de la UNALM, cuyo análisis se muestra en el anexo 14, donde se observa en los resultados que en general no hay mayor inconveniente en la salinidad, en el RAS, o en los cloruros, todos estos indicadores o variables del análisis son relevantes para el estudio dado que la conductividad eléctrica está relacionada con la respuesta del hidrogel en el suelo tal como ya se conoce al respecto.

Semillas de frijol canario variedad Centenario, cuyas características se mencionan a continuación:

**Tabla 2: Características del material genético usado en el estudio**

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
Patrón de crecimiento	determinado
Habito de crecimiento	arbustivo (Tipo I)
Periodo vegetativo	110 a 120 días
Densidad poblacional	150,000 a 214,000 plantas/ha
Altura de planta	50 a 60 cm
N° de vainas/planta	15 a 30
N° de granos/vaina	5
Color de grano	amarillo intenso brillante
Tamaño de grano	mediano
Peso de 100 granos	55.50 g
Forma de grano	ovoide truncado
Calidad de grano	muy buena
Días a floración	50 días
Días a madurez fisiológica	90 días
Días a madurez de cosecha	110 días
Testa de la semilla	intenso brillante
Abonamiento	suelos de baja fertilidad: 80-60-60 NPK kg/ha suelos de mediana fertilidad: 40-40-40 NPK kg/ha
Cantidad de semillas	siembra manual: 60 a 70 kg/ha siembra mecánica: 90 a 100 kg/ha
Reacción a enfermedades	resistente al virus del mosaico común del frijol (BCMV)
Rendimiento promedio	tolerante a roya ( <i>Uromyces appendiculatus</i> ) costa: 2,500 a 3,000 kg/ha sierra baja: 2,000 kg/ha
Distribución geográfica	Costa y valles interandinos hasta los 2400 m.s.n.m.

**Fuente: Camarena et al. (2009)**

Xilemagel, siendo este producto un Hidrogel o un polímero (más precisamente una Poliacrilamida entrecruzada a base de potasio y amonio) que retiene la humedad en el suelo, dispone de las siguientes características:

- Apariencia: Cristales blancuzcos, gránulos de flujo libre.
- Promedio de tamaño de partícula: 0.8 – 2 mm.
- Contenido de polvo menor a 225 mesh.

- Densidad: 700g/l (cristales sin compactar)
- Absorción: Hasta 300 litros de agua por kilogramo (dependiendo de la calidad del agua).
- Toxicología / Ecología: No es tóxico a plantas, organismos del suelo y al agua del subsuelo.

Además de bandejas de germinación de 72 celdas, sustrato premix 3 a base de musgo *Sphagnum* para la germinación de las semillas, fungicidas e insecticidas según evaluación del cultivo, fertilizantes (urea, fosfato diamónico, cloruro de potasio) en dosis de nitrógeno, fósforo y potasio de 80 – 60 – 60 kg/ha.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Diseño experimental**

Para la presente investigación se utilizó un experimento con arreglo factorial en un diseño completamente al azar (DCA), siendo el primer factor (A) la forma de aplicación del hidrogel con dos niveles (Hidrogel mezclado en el suelo y localizado en el suelo) y el segundo factor (B) que es la dosis de hidrogel con 4 niveles (5, 10, 15 y 20 gramos por maceta), resultando en este caso en 8 tratamientos con 9 repeticiones (totalizando 72 unidades experimentales en este caso). Cabe indicar que adicionalmente se han instalado dos tratamientos adicionales sin hidrogel, siendo uno sometido al mismo estrés hídrico aplicado a los tratamientos del experimento factorial (siendo este el testigo relativo), y en el caso del otro tratamiento adicional se obtuvo este sin la aplicación de estrés hídrico alguno (siendo este el testigo absoluto). Por estos últimos casos de tratamientos mencionados es que se introduce en el diseño factorial del estudio como factor los tratamientos testigo, y además se introdujo otro factor el que considera los tratamientos que provienen de la combinación de los factores A x B. Finalmente, se hará el análisis de varianza y la prueba de comparación tomando en cuenta la prueba de Tukey al 95 %.

### **3.3.2. Tratamientos en estudio**

Establecimiento de los factores (control) en cada experimento:

Factor A: modo de aplicación del Hidrogel (2 niveles), aplicado en forma localizada o en cada golpe de siembra (nivel 1), y aplicado mezclado con todo el sustrato usado en cada una de las macetas o unidades experimentales (nivel 2).

Factor B: dosis de aplicación (4 niveles), aplicado en dosis de 5, 10, 15 y 20 gramos por maceta o unidad experimental, representando cada dosis cada nivel de este factor propuesto en el estudio.

Asimismo, en el estudio se introdujeron dos tratamientos más, siendo estos los tratamientos testigo, siendo uno testigo relativo y el otro absoluto, donde en el primero se sometió al mismo estrés aplicado a los demás tratamientos pero en este caso no se realizó aplicación alguna de hidrogel, y en el caso del testigo absoluto se introdujo en ese caso un tratamiento sin aplicación de estrés hídrico y sin aplicación de hidrogel, donde en dicho caso se hizo un manejo convencional o comúnmente usado en el cultivo.

Consecuentemente, los tratamientos que se plantearon y realizaron en esta investigación, se detallan a continuación:

**Tabla 3: Tratamientos evaluados en el estudio**

Tratamientos (experimento factorial)		
Código	Modalidad de aplicación	Dosis de aplicación (gramo por maceta)
T1	Hidrogel mezclado en el suelo	5
T2	Hidrogel mezclado en el suelo	10
T3	Hidrogel mezclado en el suelo	15
T4	Hidrogel mezclado en el suelo	20
T5	Hidrogel localizado en el suelo	5
T6	Hidrogel localizado en el suelo	10
T7	Hidrogel localizado en el suelo	15
T8	Hidrogel localizado en el suelo	20
Tratamientos adicionales (testigos)		
A1	Sin hidrogel sin agoste	
A2	Sin hidrogel con agoste	

### 3.4. Conducción del experimento

#### 3.4.1. Obtención de las plántulas y trasplante

Para asegurar la población de plantas por maceta y uniformizar las plantas previstas, estas se sembraron el 18 de septiembre del 2018, en bandejas de germinación de 72 celdas con sustrato premix 3 a base de musgo Sphagnum. Por cada alveolo se colocó una sola semilla de frijol canario variedad Centenario y luego en el trasplante se seleccionaron las plántulas más vigorosas que soporten la formación de costras en la superficie de la maceta. Una vez que las plántulas estuvieron en la etapa V2 (Hojas primarias) se procedió a seleccionar aquellas con un tamaño y vigor lo más uniforme posible. Estas plántulas fueron luego trasplantadas el 05 de octubre del 2018, a las macetas con un volumen de 4.5 litros de sustrato previamente preparado. En cada maceta se establecieron tres plantas definitivas.

### **3.4.2. Preparación de las macetas**

Previamente al mismo tiempo que las semillas son sembradas en las macetas (haciéndose una siembra de 3 plantas por golpe), se procedió a llenar las macetas con suelo de chacra procedente del campo “Santa Rosa”. Durante el llenado de las macetas se colocó el hidrogel previamente hidratado según correspondió a cada tratamiento. En los tratamientos con el hidrogel localizado, este se estableció como una capa fina a 10 cm debajo de la superficie. Luego del llenado con el suelo, se regó cada maceta hasta saturarlo y se dejó drenar el exceso de agua. Finalmente, se hizo un experimento previo que consistía en aplicar el hidrogel en seco, pero no se dieron los resultados esperados ya que al realizar la siembra con el modo de aplicación del hidrogel en forma localizada y mezclada se generó una marchitez generalizada en todas las unidades experimentales debido a que el hidrogel no mostró su eficacia por la presión del suelo sobre su superficie evitando la hidratación y absorción del agua de riego y por ello se reinició todo el experimento.

### **3.4.3. Aplicación del estrés hídrico**

Un poco antes de la prefloración (etapa R5), cuando la planta presentó su sexta hoja trifoliada se procedió a realizar su último riego y se dejó sin suministro de agua desde el 06 de noviembre del 2018 hasta el 20 de noviembre del 2018 simulando de tal forma condiciones de sequía en las etapas más críticas al déficit de agua. Luego de los 15 días de agoste se retomó el riego de forma normal.

### **3.4.4. Cosecha**

La cosecha se realizó tomando todas las plantas por maceta cuando las hojas estuvieron secas luego de alcanzar la madurez fisiológica (R9).

### **3.5. Variables en estudio**

#### **3.5.1. Altura de planta**

Se midió la longitud del tallo principal de las plantas en cada unidad experimental; desde el cuello de la planta hasta el ápice del tallo principal evaluándose en cada unidad experimental del estudio.

#### **3.5.2. Número de nudos**

Se contabilizó el número de nudos del tallo principal en cada unidad experimental y en cada tratamiento.

#### **3.5.3. Número de vainas por planta**

Esta variable es parte del componente del rendimiento, representa la carga potencial de granos por planta. Para evaluarlo se promediaron el número de vainas totales encontradas en cada unidad experimental y en cada tratamiento.

#### **3.5.4. Longitud de vaina**

Se midieron las longitudes de las vainas de cada unidad experimental y de cada tratamiento.

#### **3.5.5. Ancho de vaina**

Se midieron los diámetros de las vainas de cada unidad experimental y de cada tratamiento.

#### **3.5.6. Número de granos por vaina**

Esta variable representa el número de granos logrados por vaina. Se contabilizaron 10 vainas tomadas al azar del total de vainas por cada unidad experimental.

### **3.5.7. Número de lóculos por vaina**

De esta variable se infiere el número potencial de granos por vainas. Se obtuvieron del número de lóculos presentes en diez vainas tomadas al azar de cada unidad experimental y en cada tratamiento.

### **3.5.8. Rendimiento de grano por maceta**

Es el peso en gramos de los granos producidos por unidad experimental (maceta) e indica la producción potencial por golpe de tres plantas. Se determinó pesando el total de granos por maceta en una balanza.

### **3.5.9. Peso de 100 semillas**

De esta variable se infiere el tamaño de grano. El valor se obtuvo de la evaluación del peso ponderado de 100 granos tomados al azar de cada unidad experimental, establecida en el estudio y su peso llevado al 14 % de humedad.

### **3.5.10. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**

Es un parámetro mediante el cual permite comprobar la vigorosidad de la plantación o por el contrario, su fragilidad a condiciones adversas. El NDVI varía de -1 a 1, donde 0 representa que no hay vegetación. Valores negativos representan superficies no vegetativas, mientras que los valores cercanos a 1 representan vegetación muy densa (Pask et al., 2012). Para evaluarlo se midió antes, durante y después del agoste que se indica en este estudio.

### **3.5.11. Registro de la fenología**

Se registró la duración de cada etapa fenológica conforme en días después de la siembra (DDS) en cada tratamiento en estudio.

Los cultivos frente a sequías o déficits hídricos detienen su crecimiento y aceleran su desarrollo completando todo su ciclo antes de que ocurra una sequía generalizada (Passioura, 1996).

Las plantas como el frijol al ser una leguminosa esquivan el déficit hídrico adelantado sus etapas fenológicas antes de que se desarrolle una carencia importante de la humedad del suelo (Elston y Bunting, 1980, citado en Reyes et al., 2014). Sin embargo, según este estudio realizado, el tratamiento sin hidrogel y con agoste (A2) así como el tratamiento con hidrogel mezclado con dosis de 5 gramos (T1) no llegaron adelantar sus etapas fenológicas si no por lo contrario alargaron sus etapas fenológicas como lo ocurrido en el llenado de vaina (R8).

**Tabla 4: Evaluación de la fenología del frijol bajo los tratamientos en estudio**

	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8
	DDS							
T1	9	16	25	32	48	51	54	63
T2	9	16	25	32	48	51	54	65
T3	9	16	25	32	48	51	54	64
T4	9	16	25	32	48	51	54	63
T5	9	16	25	32	48	51	54	65
T6	9	16	25	32	48	51	54	64
T7	9	16	25	32	48	51	54	64
T8	9	16	25	32	48	51	54	64
A1	9	16	25	32	50	52	55	66
A2	9	16	25	32	48	51	54	64

DDS: días después de siembra; V1: emergencia; V2: hojas primarias; V3: primera hoja trifoliada; V4: tercera hoja trifoliada; R5: prefloración; R6: floración; R7: formación de vainas; R8: llenado de vainas

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes tablas se muestran las medias de cada variable por factores y tratamientos:

**Tabla 5: Prueba de comparación de medias de Tukey para la variable en estudio por factor**

Hidrogel	Altura de plantas (cm)		Número de nudos		Número de vaina/planta		Número de vainas		Longitud de vainas (cm)	
mezclado	30.0000	a	8.3148	a	4.2870	a	1.2870	a	9.4259	a
localizado	30.5926	a	8.7500	b	4.5463	a	0.7870	b	9.3765	a
<b>Dosis</b>										
5	29.4815	a	8.1296	b	4.7593	a	0.9630	a	9.5702	a
10	30.4815	a	8.6667	a	4.9074	a	1.2593	a	9.5825	a
15	30.0185	a	8.5370	a b	3.5185	b	0.9444	a	9.3016	a
20	31.2037	a	8.7963	a	4.4815	a	0.9815	a	9.1506	a

Promedio de nueve repeticiones. En una columna, por cada factor, las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 5%

...Continuación

Ancho de vainas (cm)		Número de granos/vaina		Número de lóculos		Rendimiento /maceta (g)		Peso de 100 semillas (g)	
1.0121	a	2.8912	a	3.6534	a	12.0560	a	40.1932	a
1.0478	a	2.8157	a	3.7095	a	14.3140	b	41.3778	a
1.0342	a	2.9840	a	3.7340	a	15.0060	a	40.8100	a b
1.0039	a	3.0127	a	3.6921	a	14.6330	a	39.0840	b
1.0127	a	2.7227	a	3.6388	a	10.4280	b	42.3620	a
1.0689	a	2.6944	a	3.6611	a	12.6720	a b	40.8860	a b

**Tabla 6: Comparación de medias de tratamientos de Tukey para cada variable en estudio**

Código	Tratamientos		Altura de plantas (cm)	Número de nudos	Número de vaina/planta	Longitud de vainas (cm)
	Modo de aplicación	Dosis de hidrogel				
T1	mezclado	5	30.22	A	7.74	A B
T2	mezclado	10	29.63	A	8.44	A
T3	mezclado	15	29.74	A	8.44	A
T4	mezclado	20	30.41	A	8.63	A
T5	localizado	5	28.74	A	8.52	A
T6	localizado	10	31.33	A	8.89	A
T7	localizado	15	30.30	A	8.63	A
T8	localizado	20	32.00	A	8.93	A

Medias de los tratamientos adicionales

A1	Sin hidrogel sin agoste	30.96	A	9.19	A	7.67	A
A2	sin hidrogel con agoste	29.07	A	8.67	A	5.63	B

Promedio de nueve repeticiones. Una columna para cada tratamiento, las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 5%

... Continuación

Ancho de vainas (cm)	Número de granos/vaina	Número de loculos	Rendimiento /maceta (g)	Peso de 100 semillas (g)					
1.02	A	2.78	A	3.61	A	13.00	A B	40.51	A B
0.99	A	3.23	A	3.86	A	14.42	A B	37.31	B
1.00	A	2.82	A	3.58	A	8.90	B	42.68	A
1.04	A	2.73	A	3.57	A	11.90	A B	40.27	A B
1.05	A	3.19	A	3.86	A	17.01	A	41.11	A B
1.02	A	2.79	A	3.53	A	14.84	A B	40.85	A B
1.02	A	2.63	A	3.70	A	11.96	A B	42.04	A B
1.10	A	2.66	A	3.76	A	13.44	A B	41.50	A B
1.00	A	3.44	A	4.08	A	23.10	A	37.96	A
1.03	B	3.07	B	3.76	B	15.02	B	38.76	A

#### **4.1. Altura de planta**

En el estudio de esta variable no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y tampoco se encontraron diferencias significativas en la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1). Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel ni entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel y no se detectó interacción entre ambos factores (tabla 5).

Los resultados obtenidos en esta variable no concuerdan con lo encontrado por Norodinvand et al. (2018) en un estudio realizado en invernadero con polímeros absorbentes para el cultivo de arveja bajo estrés por sequía, que revelaron que condiciones adecuadas de humedad en toda la zona radicular permitió un crecimiento óptimo en la altura y en las ramas secundarias para el desarrollo de la planta, debido al efecto positivo que generó la localización del polímero en el límite inferior de las macetas. También en un estudio realizado por Orrala (2017) en una especie nativa del Ecuador llamado guasango determinó que el uso de hidrogeles en seco a una dosis de 10 gramos por planta y con un previo abonamiento de 1 kg de materia orgánica por planta, mantenían un ligero promedio superior en la altura de la planta comparado al tratamiento testigo quizás su efecto positivo se deba a la localización del polímero y a un abonamiento previo en el hoyo de plantación como mejorador de suelo.

#### **4.2. Número de nudos**

En el estudio de esta variable se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y para la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (8.93 nudos) de los tratamientos adicionales fueron superiores al promedio (8.53 nudos) del experimento factorial (tabla 6). Por otro lado, se encontraron diferencias significativas entre las medias del modo de aplicación del hidrogel y entre las medias de la dosis del hidrogel, pero no se detectó interacción entre ambos factores (tabla 5). De esta manera, se observó que el hidrogel de modo localizado mostró mayor número de nudos (8.75) y a medida que aumentó la dosis también lo hizo el número de nudos ya que con 5 gramos de hidrogel se obtuvo una media de 8.1296 nudos, con 10 gramos de hidrogel se obtuvo una media de 8.6667 nudos y con 20 gramos de hidrogel se obtuvo una media de 8.7963 nudos. Además, en el comparativo de medias de tratamientos; el tratamiento sin agoste y sin hidrogel (A1) mostró

9.19 nudos y fue 6% mayor al tratamiento con agoste y sin hidrogel (A2) el cual mostró 8.67 nudos.

Estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Khateri et al. (2019) en un estudio realizado en invernadero con polímeros absorbentes para el cultivo de haba bajo estrés por sequía, que revelaron un incrementaron en el número de ramas en comparación al tratamiento testigo, el cual está estrechamente relacionado al número de yemas vegetativas y florales que componen a los nudos debido a que mejoró la textura del suelo, redujo los intervalos de riego e incrementó la retención de agua del suelo conduciendo a una mayor germinación y rápido crecimiento de la planta. Sin embargo en un estudio realizado por Ghasemi Nezhad-raeini et al. (2021) para medir la respuesta del uso de polímeros absorbentes en el cultivo de *Ocimum basilicum* a diferentes dosis del polímero ( 0, 3, 5 gramos por kilo de suelo) y riego (40%, 60%, 80% y 100% de capacidad de campo) determinaron ligeros incrementos a medida que aumentaba la dosis de hidrogel en el número de ramas (14.74 a 15.6) pero fueron estadísticamente similares como consecuencia del estrés hídrico generado que altera el mecanismo fisiológico de la planta.

#### **4.3. Número de vainas por planta**

En el estudio de esta variable se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y para la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (6.65 vainas) de los tratamientos adicionales fueron superiores al promedio (4.42 vainas) del experimento factorial (tabla 6). Por otro lado, no se encontró diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel, pero si entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel y no se detectó interacción entre ambos factores (tabla 5). De esta manera, se observó que con 15 gramos de hidrogel se obtuvo el menor número de vainas por planta (3.5185).

En el comparativo de medias de tratamientos; el tratamiento sin estrés y sin hidrogel (A1) mostró 7.67 vainas por planta y fue 36.23% mayor que el tratamiento con estrés y sin hidrogel (A2) el cual mostró 5.63 vainas por planta.

Los resultados obtenidos en esta variable no concuerdan con lo encontrado por Khateri et al. (2019) en un estudio realizado en invernadero con polímeros absorbentes para el cultivo de haba

bajo estrés por sequía, que revelaron que a pesar de reducir el desarrollo de los órganos fotosintéticos y sobre todo de perjudicar los demás componentes de rendimiento del cultivo en la etapa de floración permitió un mayor desarrollo de las vainas en comparación al tratamiento testigo debido al rol del polímero absorbente de proveer de suficiente humedad y nutrientes para la planta e incrementar la absorción de nutrientes por las raíces. Sin embargo, si concuerda con lo encontrado por Kameran et al. (2019) en un estudio realizado para medir el efecto de déficit de riego y uso de polímeros superabsorbentes en las características morfológicas y componentes de rendimiento de frijol que determinaron que con 20% menos de agua de riego y 5 gramos del polímero hubo un ligero aumento del número y peso de vainas, si bien el polímero disminuyó los efectos nocivos del estrés por sequía en el crecimiento del frijol aun así siguió siendo menor el número de vainas a los resultados esperado.

#### **4.4. Longitud de vainas**

Para esta variable se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y para la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (9.90 centímetros) de los tratamientos adicionales fueron superiores al promedio (9.40 centímetros) del experimento factorial (tabla 6). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel, y entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel, pero si hubo interacción entre ambos factores (tabla 5). De esta manera, al analizar los efectos simples (anexo 2) se sugiere la dosis de 5 gramos de forma localizada.

En el comparativo de medias de tratamientos; el tratamiento sin estrés y sin hidrogel (A1) mostró 10.12 centímetros y fue 4.44% mayor que el tratamiento con estrés y sin hidrogel (A2) el cual mostró 9.69 centímetros.

Estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Ahmed et al. (2015) en un estudio realizado con polímeros absorbentes para el cultivo de frejol bajo estrés por sequía, que revelaron una mejora en la longitud de la vaina del frejol en comparación al tratamiento testigo aplicando la máxima dosis del polímero absorbente (0.9%) debido a que promueve en el sistema suelo-planta un reservorio de agua en condiciones de estrés permitiendo una humedad constante y nutrientes necesarios ante la demanda de la planta en etapas críticas como la formación de la

vainas y sus granos. Sin embargo concuerda con un estudio realizado por Rentería (2019) con poliácridatos de potasio a dosis de 3, 4 y 5 gramos por planta para aumentar la eficiencia del uso de agua de lluvia en frijol que determinaron un mayor promedio de longitud de vainas en el tratamiento testigo en comparación al tratamiento de las unidades experimentales, llegando a obtener en uno de los tratamientos (T2) hasta 9.4 cm debido a que no hubo efecto alguno del hidrogel en el crecimiento y producción del frijol lo que conlleva a determinar que no reemplazaría al agua de riego en etapas de elevado requerimiento como la floración.

#### **4.5. Ancho de vainas**

En el estudio de esta variable no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos y en la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel, ni entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel y no se detectó interacción entre ambos factores (tabla 5).

Estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Ahmed et al. (2015) en un estudio realizado con polímeros absorbentes para el cultivo de frejol bajo estrés por sequía, que revelaron una mejora en el diámetro de la vaina del frejol en comparación al tratamiento testigo aplicando la máxima dosis del polímero absorbente (0.9%) debido a que promueve en el sistema suelo-planta un reservorio de agua para lograr una constante humedad en el medio radicular así como proveer de nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de la planta.

#### **4.6. Número de granos por vaina**

Para esta variable se encontraron diferencias significativas en los tratamientos y en la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (3.26 granos por vaina) de los tratamientos adicionales fueron superiores al promedio (2.85 granos por vaina) del experimento factorial (tabla 6). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel, y entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel, pero se encontró interacción entre ambos factores (tabla 5). De esta manera, al analizar los efectos simples (anexo 2), no se ha encontrado

efectos en la posición del hidrogel, pero se sugiere que la dosis de 5 gramos de hidrogel puede tener algún efecto en cualquiera de las posiciones del mismo.

En el análisis de comparación de medias, el tratamiento sin estrés y sin hidrogel (A1) que presentó 3.44 granos por vaina fue 12.05% mayor estadísticamente que el tratamiento con estrés y sin hidrogel (A2) el cual mostró 3.07 granos por vaina.

Los resultados obtenidos en esta variable no concuerdan con lo encontrado por Yazdani et al. (2007) en un estudio realizado con polímeros absorbentes en el cultivo de la soya bajo estrés por sequía, que hallaron un incremento en la cosecha de semillas (kilos por hectárea) en la medida que se aumentaba la dosis de los polímeros absorbentes así como también determinaron el mayor valor de materia seca bajo la dosis más elevada del polímero (225 kilos por hectárea) en todos los intervalos de riego debido al aumento en la capacidad de retención de agua y su disponibilidad junto a nutrientes para la absorción por parte de las raíces. Asimismo, en un estudio realizado por Rehman et al. (2011) para determinar el efecto del hidrogel en los componentes de rendimiento en arroz aeróbico bajo diferentes técnicas de siembra encontraron que el promedio del número de granos por panícula en los tratamientos con hidrogel a razón de 2.5 kg/ha fue de 69.85 en comparación al tratamiento sin el uso de hidrogel que fue 65.35, debido al aumento de la humedad del suelo por el uso de hidrogel que permite el desarrollo óptimo del cultivo.

#### **4.7. Número de lóculos por vaina**

En esta variable se encontraron diferencias significativas en los tratamientos y en la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (3.92 lóculos por vaina) de los tratamientos adicionales fueron superiores al promedio (3.68 lóculos por vaina) del experimento factorial (tabla 6). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel y entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel, pero si hubo interacción entre ambos factores (tabla 5). También, al analizar los efectos simples (anexo 2) no se encontró diferencia significativa que permita sugerir la dosis y su modo de aplicación adecuada.

En el comparativo de medias de tratamientos; el tratamiento sin estrés y sin hidrogel (A1) que mostró 4.08 lóculos por vaina fue 8.51% mayor que el tratamiento con estrés y sin hidrogel (A2) el cual mostró 3.76 lóculos por vaina.

Los resultados obtenidos en esta variable no concuerdan con lo encontrado por Souza et al. (2017) en un estudio realizado con polímeros absorbentes para el cultivo de frejol caupí bajo estrés por sequía, quienes revelaron que la formación de granos está relacionado intrínsecamente con el número de lóculos y que representa el potencial de granos a cosechar, el cual fue mayor en comparación al control usando la mayor dosis del polímero absorbente (6 gramos por maceta), debido a su destacado potencial de suministrar nutrientes y agua a la planta en los periodos más críticos como la floración y además de disponer el polímero de una granulometría favorable de 0.5 milímetros de diámetro a menos, que aumenta su área de superficie específica ocasionando una mayor absorción de agua disponible para la planta. De la misma manera, en un estudio realizado por Norodinvand et al. (2019) en un estudio realizado en invernadero con polímeros absorbentes para el cultivo de arveja bajo estrés por sequía encontraron diferencias significativas en el número de granos cuyo promedio fue superior al testigo siendo el tratamiento con 1% de hidrogel y al 75% de agua de riego el que mostró el mayor valor, a pesar de que disminuyó la fecundación del polen por el estrés hídrico causado en etapas sensibles como la floración permitiendo el polímero lograr una buena circulación de nutrientes y agua a la raíz y evitar pérdidas de rendimiento.

#### **4.8. Rendimiento de grano por maceta**

En el estudio de esta variable se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y para la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (19.06 gramos por maceta) de los tratamientos adicionales fueron superiores al promedio (13.18 gramos por maceta) del experimento factorial (tabla 6). Por otro lado, se encontraron diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel y entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel y no hubo interacción entre ambos factores (tabla 5). De esta manera, se observó que el hidrogel de modo mezclado mostro menor rendimiento promedio (12.056 gramos por maceta) que el localizado (14.314 gramos por maceta) y a medida que aumentó la dosis disminuyó el rendimiento promedio (tabla 6).

En el comparativo de medias de tratamientos, en el tratamiento sin estrés y sin hidrogel (A1) mostró 23.10 gramos por maceta y fue 53.79% mayor que el tratamiento con estrés y sin hidrogel (A2) el cual mostró 15.022 gramos por maceta.

Estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Soheilnejad et al. (2018) en un estudio realizado con polímeros absorbentes en el cultivo de frejol chino bajo estrés por sequía, que reportaron los mayores rendimientos de grano y biomasa en comparación al tratamiento testigo cuando se usaron 200 kilos por hectárea del polímero absorbente debido a una mayor eficiencia en el uso del agua que evitaron los efectos negativos del estrés por sequía y que además mejoraron las características agronómicas del cultivo. De igual modo, Huez-Lopez et al. (2012) en un estudio realizado para medir el efecto del uso de hidrogel con dosis de 1.5, 3, 5 y 10 gramos por kilo de suelo en el rendimiento de garbanzo, encontraron que el promedio del rendimiento usando hidrogel en forma seca (1,635 kg/ha) e hidratada (1,673.8 kg/ha) fueron mayores en comparación al tratamiento sin el uso de hidrogel (1,425 kg/ha), ya que el uso de este polímero evitó la percolación del agua con nutrientes haciéndose disponible a la raíces y que junto al mantenimiento de la humedad del suelo fue aprovechado por el sistema radicular.

#### **4.9. Peso de 100 semillas**

Para esta variable se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y para la comparación del experimento factorial versus los tratamientos adicionales (anexo 1) cuyo promedio (40.79 gramos de peso de 100 semillas) del experimento factorial fueron superiores al promedio (38.36 gramos de peso de 100 semillas) de los tratamientos adicionales (tabla 6). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las medias obtenidas por el modo de aplicación del hidrogel, pero si entre las medias obtenidas por la dosis del hidrogel y no hubo interacción entre ambos factores (tabla 5). De esta manera, se observó que la dosis de hidrogel de 15 gramos por maceta obtuvo el mayor peso promedio de 100 semillas (42.362 gramos) y la dosis de 10 gramos obtuvo el menor peso promedio de 100 semillas (39.084 gramos).

En el comparativo de medias de tratamientos; el tratamiento con estrés y sin hidrogel (A2) mostró 38.76 gramos de peso de 100 semillas que fue 2.11% mayor que el tratamiento sin estrés y sin hidrogel (A1) el cual mostró 37.96 gramos de peso de 100 semillas.

Los resultados obtenidos en esta variable concuerdan con lo encontrado por Rafiei et al. (2013) en un estudio realizado con polímeros absorbentes en el cultivo de maíz bajo estrés por sequía, que revelaron un incremento significativo en el peso de mil semillas comparado al tratamiento testigo, debido al suministro de humedad, de nutrientes y de la capacidad de la planta de asimilarlos al momento del llenado de las semillas. Caso contrario ocurrió en un estudio realizado por Rentería (2019) con poliacrilatos de potasio a dosis de 3, 4 y 5 gramos por planta para aumentar la eficiencia del uso de agua de lluvia en frijol encontraron resultados poco esperados en el peso de 25 granos, con un promedio (por debajo del teórico habitual) de los tratamientos de las unidades experimentales similar al testigo quizás pueda deberse a la poca calidad o tamaño deficiente de grano.

#### **4.10. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**

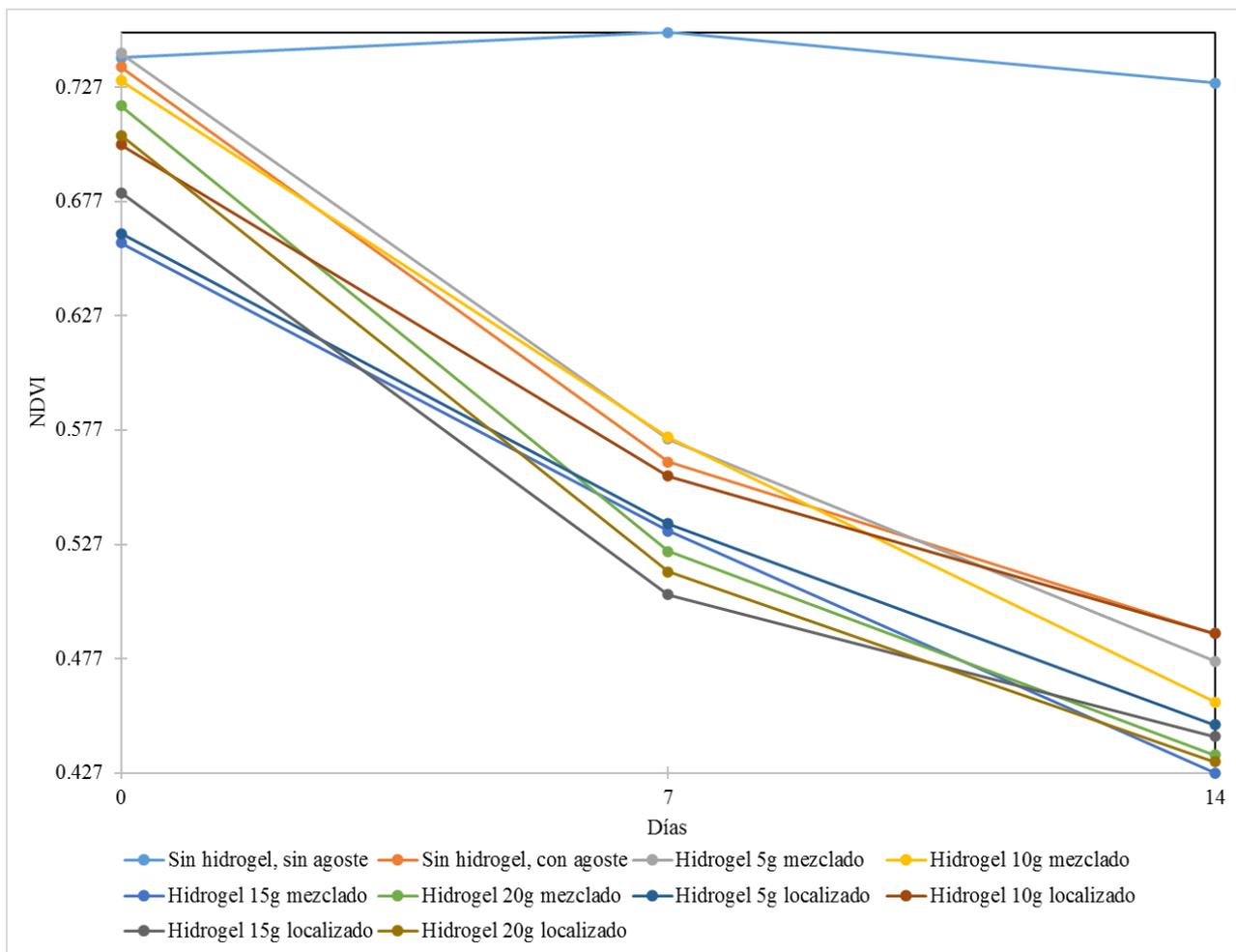
El periodo de evaluación del NDVI se inició en la etapa fenológica de la floración del frijol (R5), momento en el cual se procedió a la suspensión del riego el día 06 de noviembre y se extendió hasta el día 20 de noviembre donde se reanudó el suministro de agua porque las plantas presentaban marchitez bastante pronunciada. Se tomaron observaciones del NDVI en tres fechas, una cada siete días y fueron analizadas como una variable evaluada en el tiempo.

Se encontraron diferencias altamente significativas para los tratamientos y los momentos de evaluación del NDVI para todo este periodo (anexo 3). Esto significa que al menos un tratamiento mostró valores de NDVI diferentes a los demás y que la respuesta fue diferente en todo el periodo de evaluación. También se encontró una alta significación para la interacción de los tratamientos con los momentos de evaluación, lo que indicaría que al menos un tratamiento varía en el tiempo. El coeficiente de variabilidad de 5.82% indica que ha habido un buen control de la variabilidad del experimento a pesar de ser una variable altamente influenciada por los factores ambientales. El análisis de los efectos simples de la interacción (anexo 4) revela que la interacción se debe a la suspensión del suministro de agua en los tratamientos.

Al realizar la comparación de medias de Tukey al 0.05 de significación se encontró que el tratamiento adicional sin agoste y sin hidrogel presentó el mayor valor promedio de NDVI con respecto a los demás tratamientos y podría tomarse como el valor de “referencia” para una planta en condiciones “normales” de crecimiento. Los demás tratamientos que se sometieron a la

suspensión de riego, muestran valores promedio similares y menores de NDVI, lo que se esperaría de plantas con déficit de agua, pero no se aprecia algún patrón que podría esperarse del uso del hidrogel (tabla 8, figura 2). En la tabla 7 se presentan las ecuaciones del análisis lineal simple y el análisis de correlación donde el tratamiento con 15g de hidrogel mezclado (T3) muestra una fuerte evidencia de que la recta explica el comportamiento del NDVI.

Los resultados no concuerdan con lo encontrado por Kargar et al. (2017) en un estudio realizado con hidrogeles en dos especies de árboles *Ulmus pumila* y *Acer saccharinum* bajo estrés por sequía, que hallaron una correlación positiva del hidrogel a una dosis del 0.5% con el NDVI, debido a que los hidrogeles pueden absorber y liberar gradualmente los nutrientes y el agua al suelo en la zona radicular manteniendo de esta manera la tasa fotosintética de la planta. Tampoco concuerda con otro estudio realizado por Suresh, R. (2015) con polímeros absorbentes en tomates en invernadero bajo estrés por sequía, que reveló que la dosis al 0.5% del polímero absorbente registraron los valores más altos de NDVI en comparación con los tratamientos sin polímeros.



**Figura 2: Evaluación del NDVI durante la suspensión del riego x tratamiento entre el 06 de noviembre al 20 de noviembre del 2018**

**Tabla 7: Regresión lineal simple por cada tratamiento durante el agoste**

Tratamiento	Intercepto	Día (x)	R2	
A1	0.74550	-0.00079	0.25000	ns
A2	0.71967	-0.01771	0.95050	ns
T1	0.73000	-0.01900	0.97620	ns
T2	0.72333	-0.01943	0.99280	ns
T3	0.65567	-0.01657	0.99750	*
T4	0.70133	-0.02029	0.95560	ns
T5	0.65650	-0.01536	0.98920	ns
T6	0.68933	-0.01529	0.95970	ns
T7	0.66200	-0.01700	0.92900	ns
T8	0.68800	-0.01957	0.95080	ns

n = 3; ns = no significativo; \* = significativo al 5%. T1= hidrogel 5g mezclado, T2= hidrogel 10g mezclado, T3= hidrogel 15g mezclado, T4= hidrogel 20g mezclado, T5= hidrogel 5g localizado, T6= hidrogel 10g localizado, T7= hidrogel 15g localizado T8= hidrogel 20g localizado, A1= sin hidrogel sin agoste, A2= sin hidrogel con agoste

**Tabla 8: Comparación de medias de Tukey para valores de NDVI de los tratamientos durante todo el periodo de suspensión de riegos (06 de noviembre al 20 de noviembre)**

Tratamiento	Media	Significación (agrupamiento)
A1	0.740000	A
T1	0.597000	B
A2	0.595666	B
T2	0.587333	C B
T6	0.582333	C B
T4	0.559333	C D
T8	0.551000	D
T5	0.549000	D
T7	0.543000	D
T3	0.539667	D

Promedio de 30 observaciones, las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 5%. T1= hidrogel 5g mezclado, T2= hidrogel 10g mezclado, T3= hidrogel 15g mezclado, T4= hidrogel 20g mezclado, T5= hidrogel 5g localizado, T6= hidrogel 10g localizado, T7= hidrogel 15g localizado T8= hidrogel 20g localizado, A1= sin hidrogel sin agoste, A2= sin hidrogel con agoste

En cuanto al análisis de las medias de los momentos de evaluación (tabla 9), se encontró que cada uno de los momentos presentan medias estadísticamente diferentes entre sí, lo que es esperado dado la falta de riego con la consecuente disminución del contenido de agua de las plantas y, por lo tanto, la disminución del valor del NDVI. (Diaz García, 2015; Pertovt et al., 2008; Rueda et al., 2015)

**Tabla 9: Comparación de medias para valores de NDVI de los momentos de evaluación durante el periodo de suspensión de riegos (06 de noviembre al 20 de noviembre)**

Momento	Media	Significación (agrupamiento)
m1 (0 días)	0.707800	A
m2 (7 días)	0.563100	B
m3 (14 días)	0.482400	C

Promedio de 100 observaciones, las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 5%.

m1= 06-nov, m2= 13-nov, m3= 20-nov

Estos resultados sugieren una estrecha relación del NDVI con el contenido o estado hídrico de la planta. Pero no se ha observado alguna evidencia clara de que el contenido hídrico de la planta sea influenciado por la cantidad de hidrogel o su ubicación en el suelo.

#### **4.11. Análisis Económico**

La evaluación económica de los tratamientos se realizó en base a un costo de producción para frijol en el año 2018 publicado por el INEI (INEI, 2021). A este costo de producción se adicionó el costo asociado a la cantidad de hidrogel utilizado por hectárea y por tratamiento y el costo en mano de obra por la incorporación de este al suelo. El precio en chacra utilizado fue publicado por el MIDAGRI (MIDAGRI, 2022) y corresponde a 3.69 soles por kilo en promedio para el año 2021. El tratamiento con el menor costo de producción es el tratamiento de 5 g de hidrogel localizado (T5) con 2026.5 soles por hectárea mientras que el tratamiento de 20g de hidrogel mezclado (T4) es el más caro con 8014.81 soles. La diferencia del costo de producción entre los tratamientos con la misma dosis de hidrogel radica en la cantidad de mano de obra necesaria para su incorporación según la forma en que han sido colocados. En términos generales la colocación del hidrogel de forma mezclada con 5, 10, 15 y 20 g requiere de más jornales para su incorporación lo que influye en el costo total final (tabla 10).

La rentabilidad de los tratamientos se calculó asumiendo los valores del rendimiento reportados para la variedad obteniendo un ingreso bruto teórico por cada tratamiento. Los tratamientos más rentables son aquellos que utilizan la menor cantidad del hidrogel en el campo; mientras que los tratamientos que usan una mayor dosis del polímero obtendrían una rentabilidad negativa.

**Tabla 10: Análisis económico de los tratamientos de hidrogel en el frijol canario "Centenario" entre setiembre y diciembre del 2018. Todos los valores están en soles**

Actividades	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Jornales	1549.86	1549.86	1549.86	1549.86	1291.55	1291.55	1291.55	1291.55
Costo de los insumos	2404.95	2404.95	2404.95	2404.95	2404.95	2404.95	2404.95	2404.95
Costo de la dosis de hidrogel <sup>a</sup>	910.00	1820.00	2730.00	3640.00	910.00	1820.00	2730.00	3640.00
Mano de obra por incorporación	420.00	420.00	420.00	420.00	420.00	420.00	420.00	420.00
<b>Total</b>	<b>5284.81</b>	<b>6194.81</b>	<b>7104.81</b>	<b>8014.81</b>	<b>5026.50</b>	<b>5936.50</b>	<b>6846.50</b>	<b>7756.50</b>
Rendimiento (kg/ha) <sup>b</sup>	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
Precio al productor por kg <sup>c</sup>	3.69	3.69	3.69	3.69	3.69	3.69	3.69	3.69
Ingreso Bruto (teórico)	7380.00	7380.00	7380.00	7380.00	7380.00	7380.00	7380.00	7380.00
Ingreso neto	2095.19	1185.19	275.19	-634.81	2353.50	1443.50	533.50	-376.50

<sup>a</sup> costo brindado por la empresa XILEMAGEL SAC de 52 soles por kilo. <sup>b</sup> rendimiento teórico de la variedad centenario. <sup>c</sup> precio promedio tomado de MIDAGRI (2022) y los demás valores de INEI (2021). T1= hidrogel 5g mezclado, T2= hidrogel 10g mezclado, T3= hidrogel 15g mezclado, T4= hidrogel 20g mezclado, T5= hidrogel 5g localizado, T6= hidrogel 10g localizado, T7= hidrogel 15g localizado T8= hidrogel 20g localizado

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y en las condiciones en las que fue conducido el experimento se concluye lo siguiente:

- Se determinó que la adición de hidrogel hidratado en las macetas evaluadas mejoró el peso de 100 semillas. En los otros componentes de rendimiento, a medida que el agoste se prolongaba, los valores de altura de planta, número de nudos, número de vainas, longitud de vainas, ancho de vaina, número de granos por vaina, número de lóculos por vaina, rendimiento de grano e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se reducían. Esto indicaría que el hidrogel no tendría efecto sobre el rendimiento y sus componentes bajo las condiciones en la cual fue evaluado debido a que quizás la efectividad del hidrogel sea afectada por la textura del suelo y la presencia de sales en el agua de riego.
- Se determinó que la mejor dosis de hidrogel fue de 5 gramos por maceta ya que tuvo un efecto significativo en las variables longitud de vainas, número de granos por vaina y rendimiento de grano por maceta.
- Se determinó que la mejor ubicación del hidrogel en las macetas fue con el hidrogel localizado en el sustrato. Esta posición del hidrogel tuvo un efecto significativo en las variables número de nudos y rendimiento de granos; siendo estos valores menores en promedio a los tratamientos testigos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las conclusiones se recomienda lo siguiente:

- Profundizar el estudio de la efectividad del uso de hidrogeles a dosis elevadas sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo.
- Realizar ensayos conducentes a estudiar la efectividad de la aplicación del hidrogel tanto en seco (cristales) como hidratado como enmienda retentiva de humedad.
- Establecer experimentos para comprender el efecto de las características físicas y químicas del suelo sobre el desempeño del hidrogel.
- Desarrollar estudios para establecer el comportamiento de los hidrogeles respecto a las características químicas del agua de riego.
- Estudiar el efecto del hidrogel en la disponibilidad de los fertilizantes adicionados a un cultivo.
- Hacer estudios del efecto del hidrogel en cultivos perennes que requieran agua bajo seco.
- Utilizar el hidrogel en dosis bajas para que no influya negativamente en los costos de producción y se obtenga el beneficio de su uso.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, E., El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M., Aggor, F. & Nada, S. (2015). Response of snap bean plants to super absorbent hydrogel treatments under drought stress conditions. *Current Science International*, 4 (3), 467-472. Recuperado de <https://curresweb.com/csi/csi/2015/467-472.pdf>
- Alves, D. & Ribeiro, R. 2016. Efeito do uso de hidrogel no desenvolvimento da soja cultivada no sul do estado do Tocantins. Recuperado de <https://docplayer.com.br/86687671-Efeito-do-uso-de-hidrogel-no-desenvolvimento-da-soja-cultivada-no-sul-do-estado-do-tocantins.html>
- Andrada, H. & Di Barbaro, G. (2018). Effect of the application of copolymers on lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 35(2), 27-35. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.89>
- Ulloa, J. A., Rosas, P., Ramirez, J. C. & Ulloa, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5-9. Recuperado de <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/582>
- Atilio, C. & Reyes, C. H. (2008). *Guía técnica para el manejo de las variedades de frijol*. Recuperado de <https://fddocuments.es/document/2011-centa-guia-tecnica-para-el-manejo-de-las-variedades-de-frijol.html?page=1>
- Bagherifard, A., Hamidoghli, Y., Biglouei, M. & Ghaedi, M. (2020). Effects of drought stress and superabsorbent polymer on morpho-physiological and biochemical traits of caper (*Capparis spinosa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 14(01), 13-20. Recuperado de [https://www.cropj.com/bagherifard\\_14\\_1\\_2020\\_13\\_20.pdf](https://www.cropj.com/bagherifard_14_1_2020_13_20.pdf)
- Baron, A., Barrera, I. X., Boada, L. F. & Rodriguez, G. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 35-44. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a04.pdf>

- Bernabe, J. (2004). *Efecto del uso de una poliacrilamida sobre la sobrevivencia al trasplante y rendimiento de lechugas (Lactuca sativa L.) en la XI Región de Chile* (Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile). Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fab517e/pdf/fab517e.pdf>
- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Spagnoletti, P., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G. & Papa R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(14), E788-E796. Recuperado de <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1108973109>
- Bustamante, S., Villegas, O. G., Dominguez, M. L., Andrade, M., Alia, I. & Sotelo, H. (2013). Poliacrilato de potasio: uso eficiente de agua y nutrientes en el cultivo de ornamentales. *Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México*, 121(5). Recuperado de <https://pcti.mx/wp-content/uploads/2020/12/PCTI-121-Poliacrilato-uso-eficiente-de-agua-y-nutrientes.pdf>
- Camarena, M. F., Huaranga, A. W., Mostacero, N. E. (2009). Innovación Tecnológica para el Incremento de la Producción de Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Nacional Agraria la Molina - Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. 241 p.
- 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 de pregrado). Universidad nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- CEPAL. (2011). *Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación*. (p.89–90). Santiago de Chile. Recuperado de [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/7021/LCL3353s\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/7021/LCL3353s_es.pdf)
- CIAT. (1977). Cruzamiento Del Frijol [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/77931/11613.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIAT. (1985). Frijol: Investigación y Producción [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81884/Capitulo\\_Fr% c3%adjol\\_Investigaci% c3%b3n\\_y\\_producci% c3%b3n-Morfologia%20de%20la%20planta%20de%20frijol%20comu n-1985.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81884/Capitulo_Fr%c3%adjol_Investigaci% c3%b3n_y_producci% c3%b3n-Morfologia%20de%20la%20planta%20de%20frijol%20comu n-1985.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Díaz García, C. J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión (Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid). Recuperado de [https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- Durán, A., Lambert, G. T. & Velazquez, F. R. (2014). Evaluación de genotipos mejorados de frijol negro *Phaseolus vulgaris* en Barinas y Monagas, Venezuela. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 63-75. doi: [doi.org/10.22267/rcia.143102.32](https://doi.org/10.22267/rcia.143102.32)
- Elshafie, H. S. & Camele, I. (2021). Applications of Absorbent Polymers for Sustainable Plant Protection and Crop Yield. *Sustainability*, 13(6): 3253. doi: [doi.org/10.3390/su13063253](https://doi.org/10.3390/su13063253)
- Fallahi, H. R., Taherpour Kalantari, R., Aghhavani-Shajari, M. & Soltanzadeh, M. G. (2015). Effect of Super Absorbent Polymer and Irrigation Deficit on Water Use Efficiency, Growth and Yield of Cotton. *Notulae Scientia Biologicae*, 7(3), 338-344. doi: [doi.org/10.15835/nsb739626](https://doi.org/10.15835/nsb739626)
- Fernández, C., Gepts, P. & Lopez, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/284254397\\_Etapas\\_de\\_desarrollo\\_en\\_la\\_planta\\_de\\_frijol](https://www.researchgate.net/publication/284254397_Etapas_de_desarrollo_en_la_planta_de_frijol)
- Albuquerque, R., Aragão, F. & Gomez, M. C. (2018). Seedling growth of tree species under doses of hydrogel and two levels of luminosity. *Revista Árvore*, 42(1). doi: [doi.org/10.1590/1806-90882018000100012](https://doi.org/10.1590/1806-90882018000100012)
- Ghasemi Nezhad-raeini, Mahdiyeh Zare-Kohan. & Marofi, S. (2021). Response of basil (*Ocimum basilicum* L.) to superabsorbent polymer under various irrigation regimes. *Life Science Informatics Publications*, 7(1), 15-25. doi: [10.26479/2021.0701.02](https://doi.org/10.26479/2021.0701.02)
- Granados, D. (2013). Implementación de hidrogel bajo sistema de agricultura de conservación en parcelas de temporal en el ejido Ignacio Zaragoza. *Procuraduría Agraria*, 221-226. Recuperado de <https://studylib.es/doc/5291427/implementaci%C3%B3n-de-hidrogel-bajo-sistema-de-agricultura-de>
- Guzmán, C. (2016). Análisis de tres nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia del uso del agua en Mandarinos W. Murcott (*Citrus reticulata*) sobre citrange C-35 (Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica de Chile). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/308631589\\_Analysis\\_of\\_three\\_new\\_technologies\\_to\\_improve\\_the\\_efficiency\\_of\\_water\\_use\\_in\\_Mandarin\\_Citrus\\_reticulata\\_W\\_Murcott\\_on\\_C-35\\_citrange](https://www.researchgate.net/publication/308631589_Analysis_of_three_new_technologies_to_improve_the_efficiency_of_water_use_in_Mandarin_Citrus_reticulata_W_Murcott_on_C-35_citrange)

- Hernández, V., Vargas, M., Muruaga, J., Hernández, S. & Mayek, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común. Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n2/v36n2a2.pdf>
- Hidrogel.es. (2018). *Instrucciones de uso*. Recuperado de [http://hydrogel.info/download/Hydrogel\\_Directions\\_for\\_use\\_EN2018.pdf](http://hydrogel.info/download/Hydrogel_Directions_for_use_EN2018.pdf)
- Huez-Lopez, M., Lopez, J., Jimenez, J., Rueda-Puente, E., Garza-Ortega, S. & Preciado, F. (2012). Capacidad de retención de agua del suelo y comportamiento de garbanzo afectado por la aplicación de un polímero al suelo. XV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, 595-600. Recuperado de <https://dagus.unison.mx/publicaciones/congresos/XV%20Congreso%20Internacional%20en%20Ciencias%20Agr%20C3%ADcolas/Huez%20L%20C3%B3pez-%20595-600.pdf>
- INTA. (2009). *Cultivo del frijol guía tecnológica para la producción de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Recuperado de <https://docplayer.es/8405391-Frijol-guia-tecnologica.html>
- INEI. (2021). Costos de producción para la actividad agricultura, ganadería, caza y silvicultura en base a la encuesta nacional agraria (ENA) 2018. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/costos-de-produccion-v7.pdf>
- Kameran, Y., Nabavi Kalat, S. & Sadrabadi Haghghi, R. (2019). Effect of Irrigation Deficit and Superabsorbent Polymer on Morphological Characteristics and Yield of Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(14), 241-250. Recuperado de [https://idj.iaid.ir/article\\_107675\\_ed3df6692f8651be626238c4474065cf.pdf?lang=en](https://idj.iaid.ir/article_107675_ed3df6692f8651be626238c4474065cf.pdf?lang=en)
- Kargar, M., Suresh, R., Legrand, M., Jutras, P., Clark, O. G. & Prasher, S. O. (2017). Reduction in water stress for tree saplings using hydrogels in soil. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 27-39. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2017.51002>
- Khateri, M., Dehkordi, D. & Asareh, A. (2019). Effect of superabsorbent polymer on the yield and growth factors of *Vicia faba* L. under water deficit stress conditions. *The Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 18(2-3), 58-73. Recuperado de [https://ajas.ubt.edu.al/wp-content/uploads/2019/10/9\\_Dawood-pp-58-73.pdf](https://ajas.ubt.edu.al/wp-content/uploads/2019/10/9_Dawood-pp-58-73.pdf)
- Konzen, E. R., Navroski, M. C., Friederichs, G., Ferrari, L. H., Pereira, M. D. O. & Felipe, D. (2017). The use of hydrogel combined with appropriate substrate and fertilizer improve quality and growth performance of *Mimosa scabrella* B. *Cerne*, 23(4), 473-482. Recuperado de <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/1727/1030>

- López, J. (2012). Evaluación de dos polímeros para incrementar el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.var. itálica) mediante la retención de humedad en el suelo (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10543/1/Tesis-101%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20325.pdf>
- López, J., Garza, S., Jiménez, J., Huez, M. A. & Garrido, O. D. (2016). Uso de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida para mejorar la eficiencia en el uso del agua. *European Scientific Journal* 15(12), 160-175. doi: <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n15p160>
- Macias, R., Grijalva, R. L., Robles, F., Lopez, A. & Nuñez, F. (2019). Déficit de riego y aplicación de hidrogel en la productividad de olivo en regiones desérticas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 393-404. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1751>
- Meza, L., Corso, S., & Soza, S. (2010). Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Recuperado de <https://www.fao.org/3/as447s/as447s.pdf>
- MIDAGRI. (2022). Boletín estadístico mensual “El agro en cifras”. Mes: Diciembre 2021. Dirección General de Estadística, Seguimiento y Evaluación de Políticas. Consultado el 7 de setiembre del 2022. Recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2861470/Bolet%C3%A9n%20Mensual%2022El%20Agro%20en%20Cifras%22%20-%20Diciembre%202021.pdf>
- MINAGRI. (2015). *Ficha Técnica N°5 Requerimientos agroclimáticos del cultivo de frijol*. Recuperado de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha05-frijol.pdf>
- MINAGRI. (2016). Leguminosas de grano [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/legumbres/catalogo-leguminosas.pdf>
- MINAGRI. (2019). Plan Nacional de Cultivos 2019-2020 [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan\\_Nacional\\_de\\_Cultivos\\_2019\\_2020b.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf)
- MINAM. (2016). *Estrategia nacional de lucha contra la desertificación y la sequía 2016-2030*. [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/LUCHA-CONTRA-LA-DESERTIFICACION-Y-LA-SEQUIA-2016-2030.pdf>
- Mikkelsen, R., (1994). Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 38, 53-59. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/22583>

7248\_Using\_Hydrophilic\_Polymers\_to\_Control\_Nutrient\_Release

- Molina, M. (2014). Respuestas de dos dosis de abonos orgánicos (humus, pollinaza) y dos fertilizantes foliares (wuxal doble, naturamin) sobre el rendimiento del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), en el recinto Chipe Hamburgo №2 del cantón La Maná, provincia de Cotopaxi (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi). Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3535/1/T-UTC-00812.pdf>
- Nazarli, H., Zardashti M. R., Darvishzadeh, R. & Najafi, S. (2010). The Effect of Water Stress and Polymer on Water Use Efficiency, Yield and several Morphological Traits of Sunflower under Greenhouse Condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(4), 53-58. doi: <https://doi.org/10.15835/nsb244823>
- Norodinvand, F., Dehkordi, D. & Egdernezhad, A. (2018). Evaluation of the superabsorbent effect on the yield and some growth factors of *Pisum sativum* L. under drought stress conditions. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 10(2), 106-114. doi: [10.2174/2212798410666180924142716](https://doi.org/10.2174/2212798410666180924142716)
- Orrala, E. (2017). Sobrevivencia del guasango (*Loxopterigium huasango* S.), bajo tres métodos de prendimiento en la parroquia Ancón de la provincia de Santa Elena (Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena). Recuperado de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/3992/1/UPSE-TIA-2017-040.pdf>
- Ortega, A. E., Flores, L. B., Guevara, R. G., Rico, E. & Soto, G. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1447-1455. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2222>
- Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D. & Reynolds, M. (2012). *Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping* [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/1288/96144.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Passioura, J. B. (1996). Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*, 20, 79-83. doi: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1299-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1299-6_1)
- Pertovt, L. E., Rivas, R., Schirmbeck, J., Coelho, O. G. & Vives, L. (2008). Análisis de condicionantes ambientales del estrés hídrico de la vegetación en el sur de Brasil mediante imágenes NOAA - AVHRR. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1), 119-124. Recuperado de [https://www.igme.es/boletin/2008/119\\_1\\_2008/ARTICULO%2010.pdf](https://www.igme.es/boletin/2008/119_1_2008/ARTICULO%2010.pdf)

- Pieve, L. M. (2012). Uso de polímero hidrorretentor na implantação de lavouras cafeeiras (Tesis de maestría, Universidade Federal de Lavras). Recuperado de [http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6725/Dissertacao\\_Leonardo%20Miari%20Pieve.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6725/Dissertacao_Leonardo%20Miari%20Pieve.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pouresmaeil, P., Habibi, D., Mashadi, M. & Tarighaleslami, M. (2013). Effect of super absorbent polymer application on chemical and biochemical activities in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress. *European Journal of Experimental Biology*, 3(3), 261-266. Recuperado de <https://www.imedpub.com/articles/effect-of-super-absorbent-polymer-application-on-chemical-and-biochemicalactivities-in-red-bean-iphaseolus-vulgaris-li-ultivars-u.pdf>
- Polón, R., Miranda, A., Ramirez, M. A. & Maqueira, L. A. (2014). Efectos del estrés de agua sobre el rendimiento de granos en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 33-36. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n4/rcta06414.pdf>
- Rafiei, F., Nourmohammadi, G., Chokan, R., Kashani, A. & Abad, H. (2013). Investigation of superabsorbent polymer usage on maize under water stress. *Global Journal of Medicinal Plant Research*, 1(1), 82-87. Recuperado de <http://www.aensiweb.com/old/GJMPPR/2013/82-87.pdf>
- Rehman, A., Ahmad, R. & Safdar, M. (2011). Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques. *PLANT SOIL ENVIRON.*, 57(7), 321–325. Recuperado de [https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/81\\_2011-PSE.pdf](https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/81_2011-PSE.pdf)
- Rentería, O. (2019). Evaluación de la tecnología poli acrilato 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 (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26153/1/Tesis%20posgrado%20Olga%20G.%20Renteria%20Tamayo.pdf>
- Reyes, J., Martínez, D., Rueda, R. & Rodríguez, T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2), 191-203. Recuperado de <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200132.pdf>
- Rueda F, Peñaranda L. A., Velásquez, W. L. & Díaz S. A. (2015). Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad

de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 25-40. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v16n1/v16n1a03.pdf>

Sarvaš, M., Pavlenda, P. & Takáčová, E. (2007). Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *Journal of Forest Science*, 53(5), 204-209. doi: <https://doi.org/10.17221/2178-JFS>

Soheilnejad, A., Mahdavi Damghani, A.; Liaghati, S. & Pezeshkpour, P. (2018). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(4), 363-375. Recuperado de <http://agrobreedjournal.ir/article-1-825-en.pdf>

Sojka, R., Bjerneberg, D., Entry, J., Lentz, D. & Orts, W. (2007). Polyacrylamide in agriculture and environmental land management [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.516.1046&rep=rep1&type=pdf>

Souza, M. B., Coelho de Oliveira, T., Alves, D., Da silva, N. C. & Ribeiro, R. (2017). Cowpea bean production under water stress using hydrogels. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 87-92. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/pat/a/RmSw94mQp56bwLKr7FjdLfv/?lang=en&format=pdf>

Suresh, R. (2015). Increase the crop water use efficiency using super absorbent polymers (Tesis de Maestría, McGill University). Recuperado de <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/r494vn86b>

Valencia, S. (2014). Efectos de la calidad del agua y de distintas sales en la capacidad hidrohinchable de una poliacrilamida comercial (Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22746/memoria.pdf;jsessionid=E5372C5197073D464BB30A12A9E7BC0C?sequence=4>

Valladares, C. A. (2010). Taxonomía y botánica de los cultivos de grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras: Cultivos de grano, 10(2), 3-4. Recuperado de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf>

Ventura, R., Clará, A., Bruno, O. & Ramón, J. (2018). *Guía Técnica Cultivo de Frijol*. Recuperado de <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-frijol/>

Valladolid, A. (2001). *El Cultivo del Frijol (Phaseolus Vulgaris L.) en la costa del Perú*. Recuperado de [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/860/1/Valladolid-Cultivo\\_Frijol\\_cost](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/860/1/Valladolid-Cultivo_Frijol_cost)

a.pdf.

Voysest, O. (1983). Variedad de frijol en América Latina y su origen [versión de Adobe Acrobat Reader]. Recuperado de [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54318/SB327.V67\\_Variedades\\_de\\_fr%3%adjol\\_en\\_Am%3%a9rica\\_Latina\\_y\\_su\\_origen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54318/SB327.V67_Variedades_de_fr%3%adjol_en_Am%3%a9rica_Latina_y_su_origen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

White, J. W. (1985). *Conceptos básicos de fisiología del frijol*. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81995/conceptos-708bacf3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yazdani, F., Allahdadi, I. & Abas, G. (2007). Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(23), 4190-4196. doi: 10.3923/pjbs.2007.4190.4196

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1: ANVA con los cuadrados medios para las variables evaluadas**

Fuente de variación	GL	Altura de planta	Número de nudos	Número de vainas/planta	Número de vainas	Longitud de vainas	Ancho de vainas	Número de granos/vaina	Número de lóculos/vaina	Rendimiento/ maceta	peso de 100 semillas	
Tratamiento	t - 1	9	9.076132 ns	0.037721 **	0.571883 **	0.631728 **	1.100186 **	0.008754 ns	0.052545 **	0.015528 **	128.4255 **	27.93409 *
Factorial	t <sub>fact</sub> - 1	7	9.216931 ns	0.035365 **	0.218522 **	0.152138 ns	0.774219 *	0.01034 ns	0.036422 **	0.009462 *	52.13458 **	23.38255 ns
A	a - 1	1	6.320988 ns	0.09424 **	0.080952 ns	0.574743 *	0.043947 ns	0.022924 ns	0.00856 ns	0.003266 ns	91.80125 *	25.25778 ns
B	b - 1	3	9.592593 ns	0.042523 **	0.404843 **	0.090839 ns	0.805211 *	0.015079 ns	0.036491 *	0.001718 ns	79.66384 **	32.34358 ns
AB	(a - 1)(b - 1)	3	9.806584 ns	0.008582 ns	0.078056 ns	0.07257 ns	0.98665 *	0.001407 ns	0.045641 *	0.019273 **	11.3831 ns	13.79645 ns
Adicional	t <sub>adic</sub> - 1	1	16.05556 ns	0.031757 *	0.72241 **	0.627094 **	0.836972 ns	0.004136 ns	0.042464 ns	0.025604 *	293.6272 **	2.85379 ns
Factorial vs adicional	experim - 1	1	1.111111 ns	0.060175 **	2.894891 **	3.993486 **	3.645173 **	0.002272 ns	0.175485 **	0.047915 **	497.26 **	84.87515 *
Error		90	5.134431	0.005928	0.05628	0.08579	0.294112	0.008213	0.012563	0.003983	17.86407	13.66911
Total	rt-1	99										
Media			30.24	8.61	4.86	1.34	9.50	1.03	2.93	3.73	14.36	40.30
CV (%)			7.49	2.55	10.35	22.54	5.71	8.82	6.06	3.07	29.43	9.17

ns = no significativo; \* = significativo al 0.05; \*\* = significativo al 0.01

**Anexo 2: ANVA de los efectos simples de la interacción hidrogel x dosis**

Fuente de variación	GL	Longitud de vainas		Número de granos/vaina		Número de lóculos	
Localizado en dosis	3	1.075610	**	0.047140	ns	0.010866	ns
Mezclado en dosis	3	0.716250	ns	0.035000	ns	0.010125	ns
Dosis 5 en hidrogel	1	1.634700	*	0.060230	*	0.016830	ns
Dosis 10 en hidrogel	1	1.182870	ns	0.069557	ns	0.030804	ns
Dosis 15 en hidrogel	1	0.088060	ns	0.012848	ns	0.003860	ns
Dosis 20 en hidrogel	1	0.098270	ns	0.002849	ns	0.009590	ns

ns = no significativo; \* = significativo al 0.05; \*\* = significativo al 0.01

**Anexo 3: ANVA con los cuadrados medios para la variable NDVI medido en el tiempo**

Fuente de variación	GL	NDVI
Bloque	a - 1	9
Tratamiento	b - 1	9
Bloque x tratamiento	(a - 1)(b - 1)	81
Tiempo	t <sub>m</sub> - 1	2
tratamiento x tiempo	ab	18
Error		180
Total	rt-1	299
Media		0.584433
CV (%)		5.819558

ns = no significativo; \* = significativo al 0.05; \*\* = significativo al 0.01

**Anexo 4: Efectos simples de la interacción tratamiento x momento de evaluación durante el agoste**

Tratamientos	Factor	Significación
Sin hidrogel sin agoste	momentos	ns
Sin hidrogel con agoste	momentos	**
Hidrogel 5g mezclado	momentos	**
Hidrogel 10g mezclado	momentos	**
Hidrogel 15g mezclado	momentos	**
Hidrogel 20g mezclado	momentos	**
Hidrogel 5g localizado	momentos	**
Hidrogel 10g localizado	momentos	**
Hidrogel 15g localizado	momentos	**
Hidrogel 20g localizado	momentos	**
Momentos	Factor	Significación
m1 (06-nov)	Tratamientos	**
m2 (13-nov)	Tratamientos	**
m3 (20-nov)	Tratamientos	**

ns = no significativo; \*\* = significativo al 1%

## Anexo 5: Ficha técnica del hidrogel proporcionado por la empresa XILEMAGEL SAC



**XILEMAGEL®** está diseñado especialmente para su uso como acondicionador de suelos para la retención de agua y nutrientes en paisajismo urbano, forestación, reforestación, revegetación, horticultura y agricultura intensiva y extensiva.

### **PARA USO AGRÍCOLA**

- Económico; incrementa la capacidad de retención de agua utilizable del suelo y mezclas de suelo.
- Reduce la frecuencia de riego y evita el lavado de valiosos nutrientes.
- Incrementa el rendimiento de suelos y sustratos.
- Vida útil de varios años en cultivos perennes y semi-perennes.

### **DESCRIPCIÓN**

**XILEMAGEL®** es un polímero retenedor de agua, absorbe cientos de veces su peso en agua y se hincha para formar un gel cristalino duradero, posee las siguientes características:

- **Apariencia:** Cristales blancuzcos, gránulos de flujo libre. Promedio de tamaño de partícula es de 0.8 – 2 mm. Contenido de polvo menor a 225 mesh.
- **Densidad:** 700g/l (cristales sin compactar)
- **Absorción:** Hasta 300 litros de agua por kilogramo (dependiendo de la calidad del agua).
- **Toxicología / Ecología:** No es tóxico a plantas, organismos del suelo y agua del subsuelo.

## **MODO DE EMPLEO Y APLICACIÓN**

- **Hoyo de siembra:** 30 – 120 g (árboles, arbustos)
- **Relleno:** Mezcle Hidrogel con el relleno.
- **Camas de Siembra y engramados:** 5 - 7 kg. / 100 m<sup>2</sup> (Flores de corte, vegetales, semillas de grama).
- **Aditivo de materia orgánica (estiércol, compost):** 1 - 3 kg/m<sup>3</sup> sustrato: 2 - 4 kg/m<sup>3</sup>
- **Aplicación al voleo:** Riegue XILEMAGEL ® a mano o con un dispensador de fertilizante antes de la siembra. Are el suelo. Profundidad de incorporación 15 cm. Dosificación: 80 – 100kg por hectárea.
- **Aplicación en surcos:** Coloque los gránulos secos en conjunto con el fertilizante en surco de la semilla/planta (equipo de dosificación) Dosificación 20 – 25 kg por hectárea.

## **DESPACHO Y ALMACENAMIENTO**

**XILEMAGEL ®**, Se despacha en presentaciones de 1 kilo, 5 kilos y 25 kilogramos. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación.

## **MANEJO Y SEGURIDAD**

**XILEMAGEL ®** No presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucha agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

**Anexo 6: Preparación de sustrato localizado con hidrogel**



**Anexo 7: Bandejas para almácigo**



## Anexo 8: Transplante



**Anexo 9: Etapa vegetativa**



**Anexo 10: Etapa de agoste**



### Anexo 11: Etapa reproductiva



**Anexo 12: Etapa de senescencia**



**Anexo 13: Análisis de suelo usado en el experimento**

CE					pH	CaCO <sub>3</sub>	MO	P	K	CIC	Ca <sup>2++</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	suma cationes	suma de bases
dS/m	arena	limo	arcilla	text		%	%	ppm	ppm	meq/100g							
1.56	45	26	29	Fr.Ar	7.68	3.2	1.84	33.2	455	14.88	11.8	1.82	0.94	0.32	0	14.88	14.88

**Fuente: Laboratorio de análisis de suelo y aguas de la UNALM**

**Anexo 14: Análisis de agua usado en el experimento**

Parámetro	Resultado
pH	7.22
C.E. dS/m	0.51
Calcio meq/L	2.63
Magnesio meq/L	0.58
Potasio meq/L	0.31
Sodio meq/L	1.92
Suma de cationes	5.44
Nitratos meq/L	0.00
Carbonatos meq/L	0.00
Bicarbonatos meq/L	2.17
Sulfatos meq/L	1.82
Cloruros meq/L	1.40
Suma de aniones	5.39
Sodio %	35.31
RAS	1.52
Boro ppm	0.24
Clasificación	C2-S1

**Fuente: Laboratorio de análisis de suelo y aguas de la UNALM**