

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Desde los años sesenta, la producción mundial de alimentos ha mantenido el paso del crecimiento demográfico mundial, suministrando más alimentos por cápita a precios cada vez más bajos en general, pero a costa de los recursos hídricos. A finales del siglo XX, la agricultura empleaba por término medio el 70% de toda el agua utilizada en el mundo, las proyecciones de la FAO 2002, indican que para el 2030, la escasez de agua será cada vez mayor en algunos lugares y en algunos casos, en algunas regiones, lo que limitara la producción local de alimentos.

El cambio climático tiene como consecuencia un aumento de las temperaturas, mayor en verano y con mayores valores extremos, y una disminución de las precipitaciones, aumentando la evapotranspiración y la evapotranspiración y disminuyendo la escorrentía. No sólo lloverá menos, también se perderá más agua. (Org. Ecologistas en acción, 2007).

El cambio climático está asociado a una serie de fenómenos climáticos, un par de ellos es el fenómeno del niño (sequía, reducciones de caudales de río en un 26%), y el fenómeno de la niña (intensas precipitaciones, incremento en los caudales de río hasta un 60%), estos efectos constituyen un claro indicador de la necesidad de definir políticas e instrumentos que faciliten reacción inmediata y efectiva a la variación de los fenómenos climatológicos (García, 2012).

Para Espinoza *et al.*, (2015), el mayor efecto de los eventos climáticos sobre los medios de vida son la sequía y helada con una magnitud alta son los que más afectan a los medios de vida especialmente al agua; los efectos de la sequía se verían agravados con el incremento de la temperatura media anual de 2 a 2,9 °C y la disminución de la precipitación anual de 55,1 a 62,8mm. El efecto mayor sería en los

municipios del SubAndino y La Llanura chaqueña; en el resto de los municipios el efecto será bajo. Existe una alta vulnerabilidad de los medios de vida al cambio climático principalmente a la sequía, helada y granizada.

El 2017 el Cevita, las asociaciones de productores de uva del valle central de Tarija y la región autónoma del chaco, reportaron que la producción de uva tempranera que se preveía cosechar los primeros días de diciembre, tuvo una reducción en la producción de un 20% con relación a la cosecha del 2016, a consecuencia de los fenómenos naturales como la sequía, granizo, heladas que se registraron durante el año, (Cardozo, 2017).

En Enero del 2018 el Ministro de Desarrollo Rural y Tierras, Cesar Cocarico, informó en conferencia de prensa, que los desastres naturales sólo afectó al 1,3% de los cultivos del Estado Plurinacional de Bolivia, por el cambio climático, han afectado a cuatro zonas en la producción agropecuaria, en Tarija se afectó 460 ha (maíz); en Santa Cruz 28000 ha. (Soya y arroz); en el Beni 2200 ha (Arroz); y en Cochabamba 7000 ha. (Frutales); haciendo un total de 50000 ha de producción afectadas, (Cuiza, 2018).

La vulnerabilidad del recurso hídrico se aborda desde dos aspectos: la capacidad de los sistemas hídricos para conservar y mantener su régimen hidrológico ante las posibles alteraciones climáticas y la vulnerabilidad de quienes usan este recurso. La evaluación de este segundo aspecto se realiza a través de las funciones de producción de cada uno de los sectores que lo usan, incluyendo factores tales como la tecnología, la inversión de capital, la construcción de capacidades y la influencia de otros insumos, (SRMARNAT & PNUMA, 2006).

Para la producción en sustratos, el agua de calidad es parte fundamental para lograr el máximo aprovechamiento de las soluciones nutritivas que comúnmente son aplicados a través de riego. La baja capacidad de retención de agua y nutrientes del sustrato, es

muy frecuente que se pierda un porcentaje del total de la solución nutritiva en el drenaje; por esta razón es necesario buscar alternativas para solventar este tipo de problemas (Dominguez & Sibrián, 2016).

El poli-acrilato de potasio es un material polimérico entrecruzado en forma de red tridimensional de origen natural o sintético. Se expande en contacto con el agua formando materiales blandos y elásticos, y que retienen una fracción significativa de la misma en su estructura sin disolverse (Rojas de Gascue, 2006).

El déficit de agua en el suelo es el factor principal que impide que los cultivos alcancen su potencial de productividad. El agua afecta la forma química en la que los nutrientes se encuentran en el suelo y cuando ocurre un déficit de humedad se disminuye la disponibilidad de aquéllos a pesar de que se encuentran en cantidades suficientes. La cantidad de lluvia y su distribución en el tiempo en un sitio o región determinados pueden permitir que se alcancen rendimientos óptimos en los cultivos o pueden impedirlo. (Muñoz, 2016).

Los aportes de agua al suelo son la lluvia y el riego, sin embargo no toda el agua aportada es almacenada y puesta a disposición de las plantas, sino que se producen pérdidas debido a los siguientes fenómenos: escorrentía, filtración profunda o percolación y evapotranspiración. La relación de escorrentía es la cantidad de agua que se escurre sobre la superficie del suelo regado dividida entre el total de agua aplicada con el riego. Por ejemplo, si en un riego se aportan 1000 metros cúbicos de agua y se pierden 200 por escorrentía, la relación de escorrentía será 0.2 o del 20%.

1.1 Justificación

Ante la importancia de los efectos del cambio climático y sus consecuencias en la producción de alimentos, es imprescindible buscar alternativas para mitigar sus efectos y consecuencias, la aplicación del poli-acrilato de potasio al cultivo del frijol

como una alternativa para contrarrestar los efectos de la sequía, que debido a este fenómeno climatológico, el elemento agua es cada vez más escaso. Esta alternativa nos permite tener humedad en suelo por más tiempo y poder tener a los nutrientes disponibles para un mejor aprovechamiento de las plantas y así un mejor desarrollo y producción.

La presente tesis, busca: insertar una alternativa de adaptación al cambio climático para hacer frente a uno de sus efectos. Innovar en la agricultura usando productos agroquímicos con características particulares que permiten mitigar los efectos del cambio climático como ser la sequía. Aportar con información de primera mano sobre los beneficios de la aplicación del poli-acrilato de potasio en el rendimiento del cultivo del frijol, para el beneficio de los estudiantes de la facultad de ciencias agrícolas y forestales y productores que deseen utilizar esta alternativa para mitigar el problema de la sequía.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Determinar el rendimiento óptimo del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. *blanquizcal*), en base a la aplicación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio y una frecuencia de riego.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros químicos (N, P, K, M.O. pH, Ca, Na, Mg) como nutrientes y físicos (%SB, Da, Textura) del suelo que tienen relación con el almacenamiento de agua.

- Evaluar las características agronómicas del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. blanquizcal) en sus 5 tratamientos:
- Comparar los rendimientos entre los diferentes tratamientos del ensayo y expresarlos en ton/ha, para identificar el tratamiento con mayor producción.
- Determinar la rentabilidad del uso de poliacrilato de potasio en la producción del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. blanquizcal), para proponer como nueva alternativa frente a la escasez de agua.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis nula

H_0 = La aplicación del poliacrilato de potasio no tiene efectos en el rendimiento de la producción del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. blanquizcal).

1.3.2 Hipótesis alternativa

H_A = La aplicación de poliacrilato de potasio si tiene efecto sobre el rendimiento de la producción del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. blanquizcal).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El poli acrilato de potasio

Para la marca comercial Hidrokeeper (2016), es un copolimero super-absorbente de acrilamida y acrilato de potasio. Es un compuesto insoluble en agua que tiene la capacidad de absorber alrededor de 350 veces su peso en agua destilada, aumentando de tamaño proporcionalmente. El poliacrilato de potasio es un material polimérico entrecruzado en forma de red tridimensional de origen natural o sintético. Se expande en contacto con el agua formando materiales blandos y elásticos, y que retienen una fracción significativa de la misma en su estructura sin disolverse (Rojas de Gascue 2006).

2.1.1 Definición de hidrogel

Katime *et al.*, (2004), define a un gel como una red tridimensional de cadenas flexibles, constituidas por segmentos conectados de una determinada manera e hinchada por un líquido. También menciona que si el líquido que solvata las cadenas es orgánico recibe el nombre de organogel, mientras que si el responsable de la solvatación es el agua, entonces se denomina hidrogel. En la actualidad existen dos tipos de geles, en función de la naturaleza de las uniones de la red tridimensional que los constituyen físicos y químicos.

El termino hidrogel se utiliza para denominar a un tipo de material de base polimérica caracterizado por su extraordinaria capacidad para absorber agua y diferentes fluidos (Escobar *et al.*, 2002).

Los materiales denominados como hidrogeles son polímeros hidroabsorbentes que tienen la capacidad de absorber y ceder grandes cantidades de agua y otras

disoluciones acuosas sin disolverse. Dicho proceso ocurre a distintas velocidades de acuerdo al grado de polimerización del monómero constituyente (Estrada, 2012)

2.1.2 Características del poliacrilato de potasio

Palacios & Castillo, (2009) señalan varias características del poli-acrilato de potasio como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro N° 1 Características del poliacrilato de potasio

Forma	Granular sólido
Tamaño de partículas	3mm
pH	Neutro
Densidad	0.7 - 0.085
Solubilidad en agua	Insoluble
Tiempo de absorción	De 5 a 45 min. Dependiendo de la granulometría
Almacenamiento	Indefinido
Composición	Poliacrilamida 94.13% Humedad 5.87%
Tiempo de vida	Hasta por 10 años
Empaque	Bolsas de Kg. y cubetas de 15Kg.

Fuente: Palacios & Castillo 2009.

2.1.3 Funcionamiento del poliacrilato de potasio

El polímero se compone de un conjunto de cadenas de polímeros que son paralelos entre sí y vinculadas entre sí por entrecruzamiento regulares, formando así una red. Cuando el agua entra en contacto con una de estas cadenas, entra dentro de la molécula por osmosis, el agua se desplaza rápidamente hacia el interior de la red del polímero en el que se almacena. Cuando el suelo se seca, el polímero libera hasta el 95% del agua absorbida en el suelo. (Aqua werehouse, 2009).

2.1.4 Mejoramiento del suelo y humedad con el uso del poliacrilato de potasio

Al ser mezclado en el suelo o en un sustrato, mejora las condiciones de aireación y almacenaje de agua, ya sea de riego o lluvia. Está compuesto por cristales de un polímero, que al entrar en contacto con el agua, se transforma en una sustancia gelatinosa llamada hidrogel. El agua (solución del suelo) retenida por el polímero (hidrogel) es fácilmente disponible para las raíces de las plantas, permitiendo que las mismas accedan a ella a medida que la necesitan. Aumenta la capacidad de absorción y almacenaje de agua del suelo, que naturalmente se pierde por evapotranspiración y escurrimiento. Un grano es capaz de almacenar hasta 100gramos de agua. (Aqua warehouse, 2009)

2.1.5 Composición química del poliacrilato de potasio

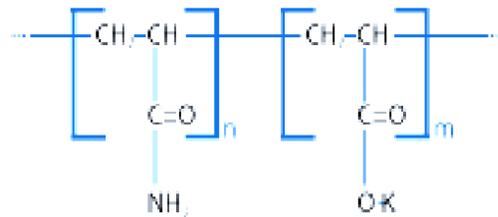
La composición química del hidrogel es la siguiente: poliacrilamida en un 94.13% y humedad 5.87%, (Aqua warehouse, 2009). Es una red de cadenas de polímeros que son hidrofílicos, algunas veces encontrados como un gel coloidal en el cual el agua es un medio de dispersión y un agente de hinchamiento.

2.1.5.1 Componentes del hidrogel

Cerdeira *et al.*, (2000), señalan que el hidrogel es un polímero que es compuesto por sustancias en estado coloidal con apariencia sólida como la albumina, coagulada por el calor o el colágeno gelificado por enfriamiento.

Escobar *et al.*, (2002), menciona que la hidrofilia de estos geles es debido a grupos como los oxidrilos (OH), carboxílico (COOH), amidas (CONH₂), ácido sulfónico (SO₃H). Wichterle O., (1960) menciona que los hidrogeles son materiales poliméricos que se hinchan con el agua y mantienen una estructura tridimensional distinta.

Tornado (2012), menciona que el Hidrogel está compuesto por una gama de polímeros aniónicos de poliacrilamida súper absorbentes. Son copolímeros reticulados de acrilato de potasio y acrilamida, que son insolubles en agua.



Imanen N°1. Diagrama de copolimerización del hidrogel (Tornado, 2012)

Sanchez *et al.*, (2012) mencionan que el hidrogel con características estructurales y de viscoelasticidad, son adecuados como sistemas para aplicaciones tanto biomédicas como no biomédicas. En una realización particular, el agente reticulante es una amina de fórmula general.



Imagen N°2. Formula general

2.1.5.2 Propiedades características del hidrogel

Una propiedad característica del hidrogel es la capacidad de hincharse y aumentar su volumen por absorción de agua y sustancias disueltas en ella, cuando entra en contacto con el agua, forma polímeros entrecruzados con una estructura 3D (Cerqueira *et al.*, 2000).

El hidrogel son polímeros hidrófilos, reticulados, insolubles y tienen la capacidad para retener el agua, muchas veces el doble de su propio peso en función de su estructura, también tienen la capacidad de liberar el agua absorbida en el medio ambiente (Akelah, 2013).

El hidrogel es un retenedor de agua que cuando se incorpora en un suelo o un sustrato, absorbe y retiene grandes cantidades de agua y nutrientes si éstos son solubles. A diferencia de la mayoría de los productos a los que se hidratan, el hidrogel tiene la propiedad de absorber el agua y nutrientes, que permite que la planta disponga de estos a voluntad, en función de los ciclos de absorción-liberación (Tornado, 2012).

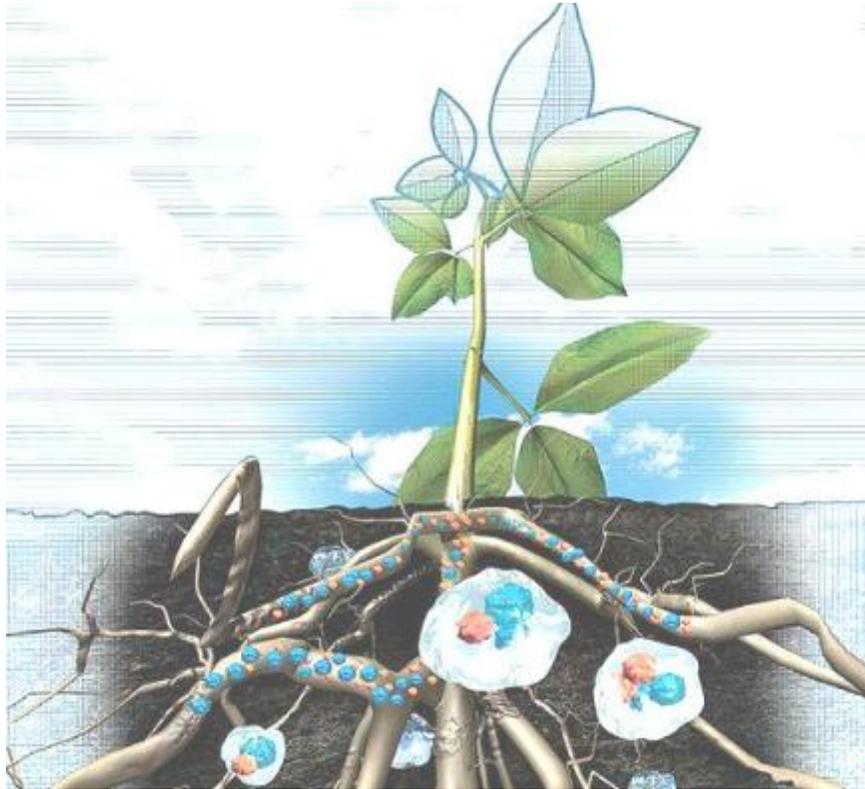


Imagen N°3 . El hidrogel absorbe el agua y los nutrientes proporcionándolos a las raíces de la planta (Estrada, 2012)

Ramos *et al* (2009), mencionan que el hidrogel se utiliza para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y para espaciar las frecuencias de riego. El hidrogel no tiene efectos sobre las características físicas del agua ni sobre la porosidad total del suelo, pero si absorbe la retención de agua (aumentándola) y la capacidad de aireación (disminuyéndola). Absorben agua durante el riego y la liberan a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituyendo una reserva hídrica que permite aprovechar mejor el agua de lluvia y disminuir las frecuencias de riego.

2.1.5.3 Los polímeros

Los polímeros son moléculas compuestas de unidades ligadas para formar largas cadenas. Un polímero simple se compone solamente de un tipo de unidades estructurales se llama homopolímero. A medida que más unidades estructurales, los monómeros están involucrados en la formación de la cadena, el polímero se vuelve más complejo y se forma un copolímero (Acuagel, 2011).

Palencia (2013), señala que el almidón, la celulosa, la seda y el ADN con ejemplos de polímeros naturales y entre los polímeros sintéticos encontramos el nylon, el polietileno y la baquelita.

Los organismos vivos sintetizan algunas de estas macromoléculas, por ejemplo: el colágeno es una proteína presente en los cartílagos y la albúmina está en la clara de huevo; en la familia de los glúcidos, se encuentra el almidón, presente en muchos vegetales, como la papa, otro ejemplo de un polímero súper absorbente es el poliacrilato de sodio (Cerdeira *et al.*, 2000)

2.1.5.3.1 Poliacrilato de sodio

Es una sustancia en forma de polvo, esto se usa más frecuentemente en los pañales o toallas sanitarias ya que es un polvo blanco sin olor que es colocado en estos productos para absorber la mayor cantidad de agua posible. Una vez que el agua hace contacto con esa sustancia se transforma en una especie de gel cristalino (Garcia, 2015).

Su capacidad para absorber grandes cantidades de agua se debe a que en su estructura molecular se encuentran grupos de carboxilatos de sodio que, al entrar en contacto con el agua, desprenden sodio, al desprenderse el sodio se libera iones negativos de carboxilo que se repelen. El efecto que esto tiene es que se estira la cadena principal y se aumenta el volumen del poliacrilato de sodio (Garcia, 2015).

Si se usan poliacrilatos de sodio (que son los polímeros utilizados en los pañales y toallas higiénicas), se puede provocar un efecto de deterioro en el suelo porque el sodio de la molécula sustituye el calcio y el magnesio que le dan estructura al suelo. Esto produce el deterioro de los suelos cultivables. (Hidrokeeper, 2016).

2.1.6 Formas de aplicación del poliacrilato de potasio

El poliacrilato de potasio se puede aplicar de dos maneras, de forma hidratada (poliacrilato de potasio cargado de agua) y sin hidratar (poliacrilato de potasio sin agua en el suelo), la aplicación se realiza de fondo, no en contacto directo con la semilla, sino de tal manera que exista una distancia entre el poliacrilato de potasio y la semilla, para posteriormente en su desarrollo de las raíces, puedan entrar en contacto (Alarcon, 2013).

2.1.6.1 Aplicaciones de hidrogel en cultivos agrícolas

Rubira (2013), menciona los siguientes métodos de aplicación:

2.1.6.1.1 Método seco

Una mezcla de 2 a 4Kg de cristales súper absorbentes, por metro cubico de tierra. Preparación de bolsas o recipientes de manera normal. este mismo autor menciona los siguientes métodos de aplicación para árboles frutales, ornamentales o forestales de 2 o más años.

- Protección prolongada de las sequia (30 días).
- Abrir de 4 a 8 hoyos alrededor del árbol, hasta 40cm de profundidad.
- Dosifique 40 a 80 gramos de producto por árbol.
- Llenado del hoyo con agua para hidratar el polímero.

2.1.6.1.2 Método húmedo

- Pre hidrate 1Kg de gel agrícola en 200 litros de agua en un tambor limpio
- Permita que expanda por 60 minutos para asegurar la máxima absorción.
- Con una mezcla de 200 a 400 litros de gel hidratado por metro cubico de tierra.

2.1.7 Experiencias del uso del poliacrilato de potasio

Los resultados obtenidos por Pedroza *et al.*, 2015, indica que son similares a los reportados por Rehman *et al.* (2011), quienes identificaron un mayor contenido de humedad del suelo al aplicar hidrogel a una profundidad del suelo de 0 a 0,15m con respecto al testigo, durante toda la estación de crecimiento del arroz (*Oryza sativa*). Similarmente, Barón *et al.* (2007), demostraron que las palicaciones de hidrogel en hortalizas y especies forestales retrasan hasta en 400% el marchitamiento de las plantas.

Por su parte, Bres y Weston (1993) observaron que la retención de agua por el hidrogel incrementa el crecimiento de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum*). El aumento en el rendimiento en condiciones de campo del frejol ICTA Altense cuando se utilizó el poliacrilato de potasio fue del 37%. Sin el poliacrilato de potasio fue de 41qq/ha y el rendimiento utilizando el poliacrilato de potasio fue de 57qq/ha, (Alarcon, 2013).

2.2 Taxonomía del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Cuadro N°2. Clasificación taxonómica del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) según ICTA, (2010).

Reino	Plantae
Subreino	Embryobiontha

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsidae
Suborden	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Genero	Phaseolus
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

Fuente: ICTA 2010

2.3 Morfología del frijol

2.3.1 Hábitos de crecimiento del frijol

Según estudios hechos por el CIAT (1984), se considera que los hábitos de crecimiento puedan ser agrupados en cuatro tipos principales.

Tipo I: hábito de crecimiento determinado arbustivo, con las siguientes características: El tallo y las ramas terminan en una inflorescencia desarrollada. En general el tallo es fuerte, con un número bajo de entre nudos, de cinco a diez normalmente cortos. La altura puede variar entre 30 a 35cm; sin embargo, hay casos de plantas enanas, más cortas. La etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo (CIAT 1984).

Tipo II: hábito de crecimiento indeterminado arbustivo, con las siguientes características: Tallo erecto sin aptitud para trepar, aunque termina en una gula corta. Las ramas no producen guías. Pocas ramas pero con un número superior al tipo I, generalmente cortas con relación al tallo. El número de nudos del tallo es superior al de las plantas del tipo I (más de 12). Continúa creciendo a menor ritmo en la etapa de floración (CIAT 1984).

Tipo III: hábito de crecimiento indeterminado postrado, cuyas plantas presentan las

siguientes características: plantas postradas o semipostradas con ramificaciones bien desarrolladas. La altura de las plantas es superior a las de las plantas de tipo I, generalmente mayor a 80cm. el número de nudos del tallo y de las ramas es superior al de los tipo I y II. Así mismo la longitud de los entre nudos, y tanto el tallo como las ramas terminan en guías. Pueden presentar aptitud trepadora (CIAT 1984).

Tipo IV: crecimiento indeterminado trepador, posee las siguientes características: a partir de la primera hoja trifoliada, el tallo desarrolla la doble capacidad de torsión, lo que se traduce en su habilidad trepadora. Las ramas muy poco desarrolladas debido a su dominancia apical. El tallo puede tener de 20 a 30 nudos y alcanzar más de 2m de altura con un soporte adecuado (CIAT 1984). La etapa de floración es significativamente más larga que la de los otros hábitos, de tal manera que en la planta se presentan a un mismo tiempo la etapa de floración, la formación de las vainas, el llenado de las vainas y la maduración.

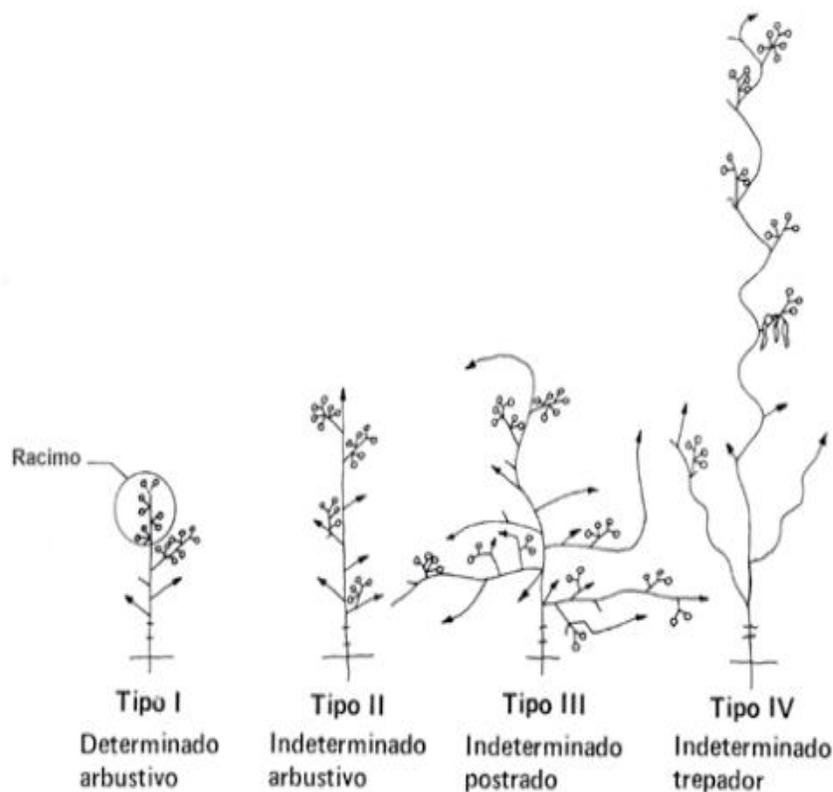


Imagen N°4. Esquema de los cuatro hábitos de crecimiento.

2.3.2 La raíz

Es la primera etapa de desarrollo, sistema radicular está formado por la radícula del embrión, la cual se convierte posteriormente en la raíz principal o primaria. A los pocos días de la emergencia de la radícula, es posible ver las raíces secundarias. Sobre las raíces secundarias se desarrollan las raíces terciarias y otras subdivisiones como pelos absorbentes. En general el sistema radical es superficial, ya que el mayor de volumen de raíces se encuentra en los primeros 0,20m de profundidad (Debouck & Hidalgo, 1985).

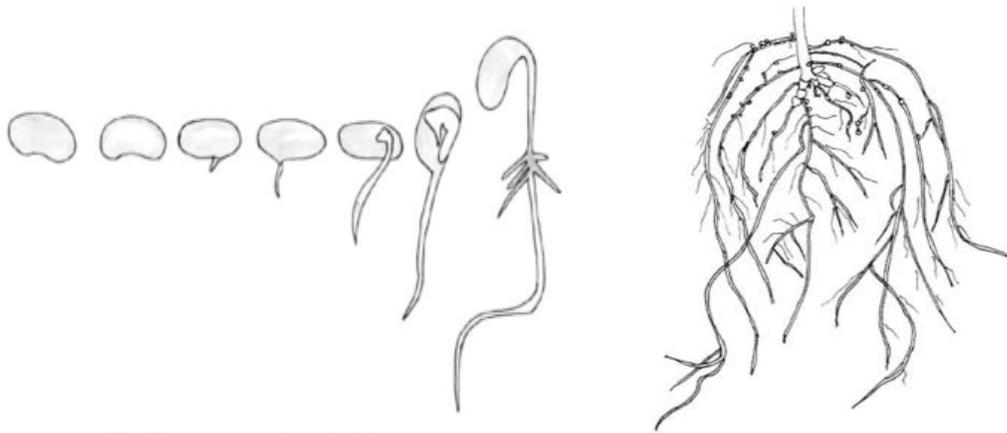


Imagen N°5. Sistema radical inicial.

Imagen N°6. Raíz completamente desarrollada.

Como miembros de la subfamilia papilionoideae, *Phaseolus L.* presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical. Estos nodulos son colonizados por bacterias del genero *Rhizobium*, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico que contribuya a satisfacer los requerimientos de este elemento en la planta (Debouck & Hidalgo, 1985).

2.3.3 El tallo

puede ser identificado como el eje central de la planta, el cual está formado por la sucesión de nudos y entrenudos. Se origina del meristemo apical del embrión de la

semilla. Desde la germinación, y en las primeras etapas de desarrollo de la planta, este meristema tiene fuerte dominancia apical y en su proceso de desarrollo genera nudos (CIAT, 1984). Un nudo es el punto de inserción de las hojas o de los cotiledones en el tallo. El tallo es herbáceo y con sección cilíndrica o levemente angular, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis.



Imagen N°7. Tallo, nudos y entrenudos.

El tallo es el resultado de un proceso dinámico de construcción activa desde sus primeras etapas de crecimiento por parte de un grupo de células situadas en su parte final, llamada meristemo terminal. Este proceso de construcción incluye también la formación de otros órganos en los nudos y la de los entrenudos (Debouck & Hidalgo, 1985). El tallo tiene generalmente un diámetro mayor que las ramas, y puede ser erecto, semiprostrados y prostrados, según el hábito de crecimiento de la variedad.

Existe una variación en lo que respecta a la pigmentación del tallo, de modo que pueden encontrarse derivaciones de tres colores fundamentales: verde, rosado y morado. El tallo empieza en la inserción de las raíces. En orden ascendente, el primer nudo que se encuentra es el de los cotiledones, que se caracteriza por tener dos inserciones opuestas correspondientes a los cotiledones. La primera parte del tallo comprendida entre la inserción de las raíces y el primer nudo se llama hipocótilo. El

siguiente nudo es el de las hojas primarias, las cuales son opuestas. Entre el nudo de los cotiledones y el de las hojas primarias se encuentra un entrenudo real llamado epicotilo. En el tallo se encuentran presentes, a nivel de cada nudo, otros órganos como las hojas, las ramas, los racimos y las flores (Debouck & Hidalgo, 1985).

2.3.4 La hoja

Las hojas del frijol son de dos tipos: simples y compuestas. Están insertadas en los nudos del tallo y las ramas. En dichos nudos siempre se encuentran estípulas que constituyen un carácter importante en la sistemática de las leguminosas (CIAT, 1984).

Las hojas primarias son simples; aparecen en el segundo nudo del tallo y se forman en la semilla durante la embriogenesis. Son opuestas, cordiformes, unifoliadas, auriculadas, simples y acuminadas. Éstas caen antes de que la planta esté completamente desarrollada (Debouck & Hidalgo, 1985). Las estípulas son bífidas al nivel de las hojas primarias.

Las hojas compuestas trifoliadas, son las hojas típicas del frijol. Tienen tres folíolos, un peciolo y un raquis. Tanto el peciolo como el raquis son acanalados (CIAT, 1984). El folíolo central terminal es simétrico y acuminado; los folíolos laterales son asimétricos y también acuminados.

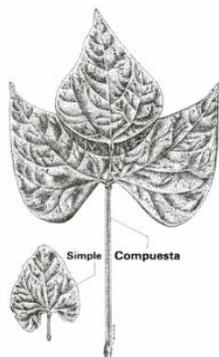


Imagen N°8. Hojas del frijol.

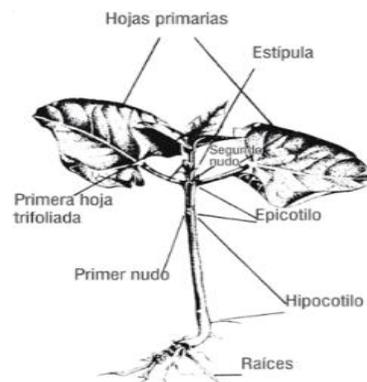


Imagen N°9. Plantula de frijol.

Los foliolos son enteros; la forma tiende a ser de ovalada a riangular, principalmente cordiformes, pero sin aurículas; son globros o subglabros (Debouck & Hidalgo, 1985). Tienen peciolulos que pueden ser considerados como pulvinulos y poseen estípelas; dos en el foliolo terminal y una en cada foliolo lateral, colocadas en la base de los peciolulos.

En la base del peciolo cerca del tallo o de las ramas está el pulvínulo, los pulvínulos están relacionados con los movimientos nictinásticos de las hojas (Debouck & Hidalgo, 1985). En la inserción de las hojas trifoliadas y de inserción basi-fija que siempre son visibles.

2.3.5 Inflorescencia

Las inflorescencias pueden ser axilares o terminales. Desde el punto de vista botánico se consideran como racimos de racimos: es decir, un racimo principal compuesto de racimos secundarios, los cuales se originan de un complejo de tres yemas (triada floral) que se encuentra en las axilas formadas por las brácteas primarias y el raquis (CIAT, 1984).

El racimo, se distingue en su estado inicial porque la forma del conjunto tiende a ser cilíndrica o esférica y está cubierto principalmente por dos estructuras foliáceas de forma triangular, es decir las bracteas primarias de la primeras inserciones florales de la inflorescencia; en dicho conjunto también se pueden distinguir las bracteolas redondeadas y multinervales de las primeras flores (CIAT, 1984).

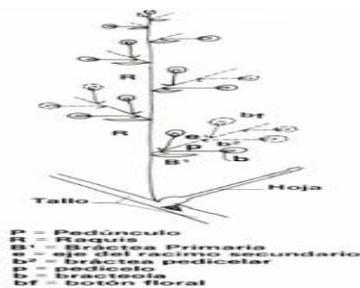


Imagen N°10. Inflorescencia terminales o axilares.

En la inflorescencia se pueden distinguir tres componentes principales: el eje de la inflorescencia que se compone de pedúnculo y de raquis, las bracteas primarias y los botones florales. Antes de abrir las primeras flores, el pedúnculo de la inflorescencia se alarga rápidamente (Debouck & Hidalgo, 1985). El raquis es una sucesión de nudos, se los puede distinguir porque en ellos se localizan las brácteas primarias.

Las bracteas del raquis son permanentes, de triangulares a redondeadas y multinerviales. En la axila de cada bractea primaria existe un complejo de yemas denominado triada puede ser utilizado de nuevo, pues se tiene un complejo axilar floral formado por tres yemas las cuales, con propiedades distintas, intervienen en el desarrollo reproductivo (Debouck & Hidalgo, 1985).

En cada triada floral cada una de las dos yemas laterales generalmente produce una flor; estas dos yemas laterales son las dos primeras que aparecen sobre el eje del racimo secundario, en sucesión alterna (CIAT, 1984).. En cambio la yema central no se desarrolla directamente; como el eje es muy reducido, las dos flores parecen estar al mismo nivel.

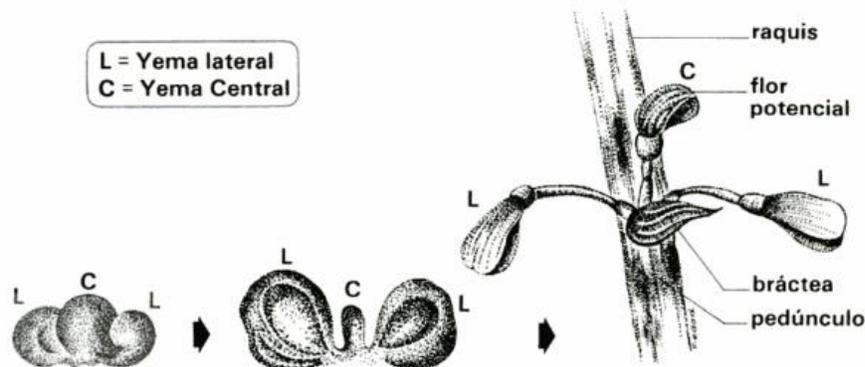


Imagen N°11. Desarrollo de la triada floral.

En algunos casos, especialmente cuando las vainas producto del desarrollo de las flores están ya desarrolladas, la yema central puede producir un pequeño eje con otra triada floral. De esta nueva triada puede resultar una tercera flor. Sin embargo el desarrollo a partir de la tercera flor está limitado por fenómenos de competencia ya

que al madurar las vainas de las dos primeras yemas, la planta generalmente está en la etapa de maduración y por lo tanto presenta disminución de su actividad fotosintética y normalmente esta flor ya no se desarrolla (CIAT, 1984).

2.3.6 La flor

Es una típica flor papilionácea. En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. Bien sea que se origine en las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila, en su estado inicial está encuelto por las bracteolas que tienen forma ovalada o redondeada. En su estado final, la corola que aún está cerrada sobresale y las bracteolas cubren solo el cáliz (CIAT, 1984).

Cuando ocurre el fenómeno de antesis la flor se abre. La flor tiene simetría bilateral con las siguientes características: un peciolo, cáliz, corola, androceo, gineceo.

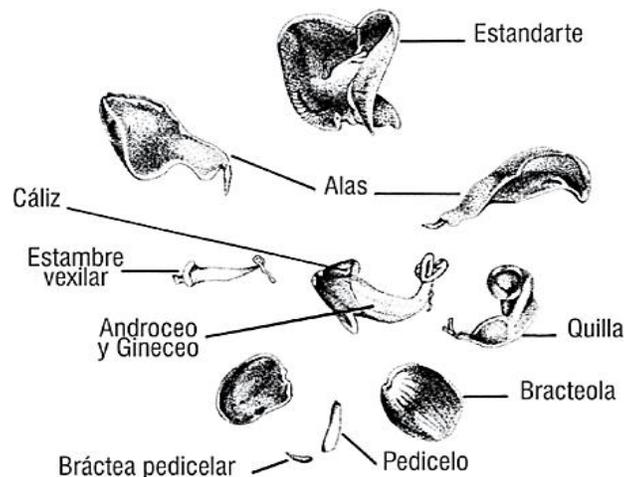


Imagen N°12. Componentes de la flor.

La morfología floral del frijol favorece el mecanismo de autopolinización, ya que las anteras están al mismo nivel del estigma y, además ambos órganos están envueltos completamente por la quilla. Cuando se produce el derrame del polen (antesis), éste cae directamente sobre el estigma (CIAT, 1984).

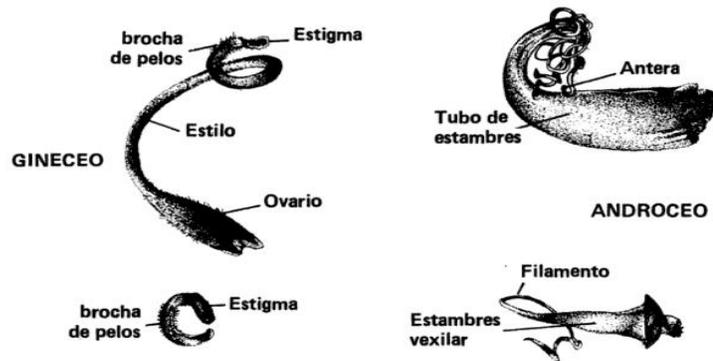


Imagen N°13. Componentes del androceo y gineceo

2.3.7 El fruto

es una vaina con dos calvas, las cuales provienen del ovario comprimido. Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa. Las vainas pueden ser de diversos colores, uniformes o con rayas dependiendo la variedad. Dos suturas aparecen en la unión de las valvas: la sutura dorsal, llamada placentar, la otra sutura se denomina sutura ventral. Los óvulos, que son las futuras semillas, se encuentran de manera alterna en la sutura placentar, y en consecuencia las semillas también alternan en las dos valvas (CIAT, 1984).

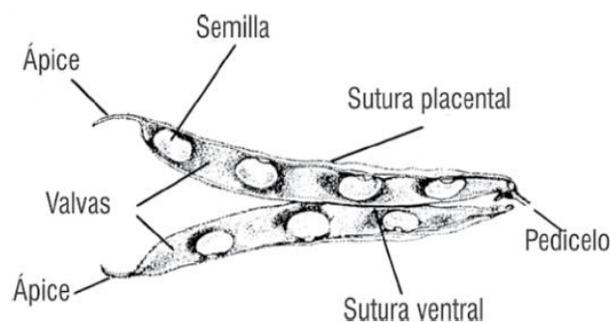


Imagen N°14. Fruto de la planta de frijol.

La presencia de fibra en las suturas y en las capas pergaminosas adheridas a la superficie interna de las valvas determina la dehiscencia, carácter morfo-agronómico muy importante usado algunas veces para clasificar las variedades de frijol. La

textura de la vaina permite considerar tres tipos de dehiscencia: el tipo de textura pergaminosa, el tipo coriáceo y el tipo carnoso (CIAT, 1984).

2.3.8 La semilla

la semilla es exalbuminosa es decir que no posee albumen, por lo tanto las reservas nutritivas se concentran en los totiledones. Se origina de un óvulo campilótropo. Puede tener varias formas: cilíndrica, de riñón, esférica u otras. Las partes externas más importantes de la semilla son:

La **testa** o cubierta, que corresponde a la capa secundaria del óvulo. El **hilum**, o cicatriz por el funículo, el cual conecta la semilla con la placenta. El **micrópilo** que es una abertura en la cubierta o corteza de la semilla cerca del hilum. A través de esta abertura se realiza principalmente la absorción de agua. La **rafe**, proveniente de la soldadura del funículo con los tegumentos externos del óvulo campilótropo (Debouck & Hidalgo, 1985).

Internamente la semilla está constituida solamente por el embrión el cual está formado por la plúmula, las dos hojas primarias, el hipocotilo, los dos cotiledones y la radícula. El complejo plúmula-radícula está situado entre los cotiledones, al lado ventral del grano de tal manera que la radícula está en contacto con el micrópilo. En el grano seco el complejo plúmula-radícula, ocupa solamente una parte muy reducida del espacio libre entre los cotiledones (Debouck & Hidalgo, 1985).

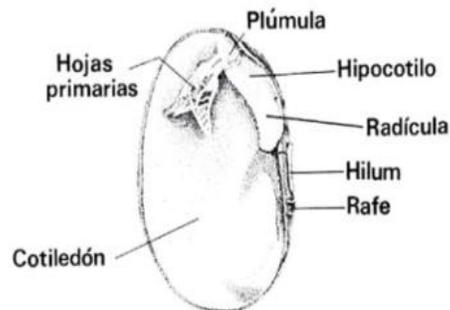


Imagen N°15. Composición interna de la semilla de frijol.

2.4 Prácticas agronómicas del cultivo

2.4.1 Fertilización del cultivo del frijol

El nitrógeno es un elemento muy importante en el cultivo de frijol, pero se debe recordar que el cultivo es capaz de tomarlo del aire mediante los nódulos en su raíz. También necesita cantidades pequeñas de fósforo; sin embargo este elemento, en la mayoría de los casos no se encuentra disponible en el suelo. El cultivo tiene necesidades grandes de potasio y de calcio, requiere una relación K:Ca de 15:1 en la parte apical (Debouck & Hidalgo, 1985). Estos elementos y otros pueden suplirse por medio del abonamiento con fórmulas comerciales.

La información que muestra la siguiente tabla, da una idea de los requerimientos de los nutrientes esenciales para el frijol, obtenida a partir de trabajos realizados en el trópico con frijoles de hábito de crecimiento I (arbustivo). Es de esperar que, para el caso de frijol de hábito IV (voluble), cuya producción de granos y vainas es más alta, la demanda por nutrientes sea mayor, surge entonces la necesidad de adelantar estudios locales sobre absorción de nutrimentos de frijol que se relacionen con las condiciones del cultivo en cada lugar, y así llegar a una recomendación más ajustada (Debouck & Hidalgo, 1985).

Cuadro N°3. Requerimiento mineral del frijol.

Componentes de la cosecha	Kg/ha					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Vainas	32	4	22	4	4	10
Tallos	65	5	71	50	14	15
Total	97	9	93	54	18	25

Fuente: Flor, 1985.

2.4.1.1 Importancia del análisis físico-químico del suelo

En el campo es de primordial importancia realizar un correcto muestreo del suelo

para que sea representativo del área o lote homogéneo del que se desea la información. En esta fase se deben tener criterios claros para seleccionar el área homogénea por su posición fisiográfica, topografía y relieve, etc.

El adecuado muestreo del suelo permite evaluar su fertilidad natural con anticipación a la siembra o durante el crecimiento del cultivo. Los resultados del análisis físico-químico del suelo indicaran la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo, y proporcionara la informacion necesaria para las recomendaciones de abonado enmiendas y fertilizantes (Gerrero, 1993).

2.4.1.2 Suelos requeridos por el frijol

El frijol requiere de suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franco limosa, aunque también tolera texturas franco arcillosas. Crece bien en suelos con pH entre 5.5 y 6.5, con topografía plana y buen drenaje. Las condiciones físicas y químicas de los suelos donde se cultiva el frijol son muy variadas. Ello demuestra que el frijol tiene la habilidad de adaptarse a una gran cantidad de condiciones de suelo y topografía (Ríos, 2002). Por lo general se siembra en zonas de montañas y también en valles.

2.4.2 Riego en el cultivo del frijol

2.4.2.1 Formas de agua en el suelo

Según Morell, 2015. Las formas del agua en el suelo se clasifican de la siguiente manera:

- **Agua de retención**, es el agua retenida en los poros o alrededor de las partículas del suelo en contra de la acción de la gravedad: **agua higroscópica**, es el agua inmóvil que rodea a las partículas del suelo y solo se desplaza en estado de vapor

(retención por medio de enlaces químicos entre los dipolos del agua y las valencias libres de los minerales); **agua pelicular**, es el agua que se encuentra rodeando las partículas del suelo y el agua higroscópica con una pequeña película que no sobrepasa 0,1 micras (retención por fenómenos de tensión superficial).

- **Agua capilar**, es el agua retenida en conductos de pequeño tamaño (microporos) por fenómenos de capilaridad y tensión superficial: agua capilar aislada o colgada y agua capilar continua.
- **Agua gravífica**, es el agua que se desplaza libremente por el suelo bajo efecto de la gravedad.

2.4.2.2 Retención de agua en el suelo

De acuerdo con Morell, 2015. El agua retenida en el suelo se clasifica de la siguiente manera:

- **Capacidad de campo**: es el grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravífica (agua que queda en el terreno después de 24 o 48 horas de un riego o lluvia y podrá ser aprovechada por las plantas).
- **Punto de marchitamiento**: el agua continua eliminándose por evaporación, el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, es tal que la succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia la planta no puede extraerla.
- **Punto higroscópico**: es el grado de humedad que corresponde al agua higroscópica, la cual no se desplaza. Un suelo en el punto de marchitamiento aun contiene agua que continua perdiéndose por evaporación. La cantidad de agua una vez finalizada la evaporación se denomina coeficiente higroscópico.

2.4.2.3 Función principal del agua en el suelo desde el punto de vista agrícola

El déficit de agua en el suelo es el factor principal que impide que los cultivos alcancen su potencial de productividad. El agua afecta la forma química en la que los nutrimentos se encuentran en el suelo y cuando ocurre un déficit de humedad se disminuye la disponibilidad de aquéllos a pesar de que se encuentren en cantidades suficientes (Muñoz, 2009).

Para que los nutrientes puedan ser absorbidos por la raíz y transportados a través de la planta hacia los lugares donde van a ser metabolizados, los nutrimentos deben estar disueltos en el agua presente en los poros que forman entre las partículas de suelo, es decir, en la solución del suelo, en la cual el agua actúa como solvente y los nutrimentos como soluto (Muñoz, 2009).

2.4.2.4 Calidad de agua de riego

Por sus características estructurales, el agua disuelve y mantiene en suspensión un gran número de sustancias, algunas de las cuales son potencialmente tóxicas para las plantas, por lo que su acumulación genera problemas en los vegetales por efecto salino (Hazem-Kalaji y Pietkiewicz 1993). En este sentido, uno de los factores más importantes en la producción intensiva de cultivos después de la disponibilidad del agua, es su calidad química y calidad agronómica (Bojórquez, 2008).

La calidad química del agua, que puede tener un uso muy amplio, está dada por las cantidades de sales y la proporción de diferentes iones que ésta tiene en solución; su conocimiento permite determinar si se puede recomendar con fines domésticos, industriales, pecuarios y/o agrícolas (Bojórquez, 2008).

El problema frecuente en el caso del riego de cultivos, es que generalmente no se especifica con qué calidad química se debe utilizar el agua, sino que solamente se da

importancia a la calidad agronómica determinada por: cultivo a regar, condiciones climatológicas, métodos de riego, condiciones de drenaje del suelo y prácticas de manejo de agua, suelo y plantas (Aceves, 2011).

2.4.2.5 Requerimiento hídrico del cultivo

Para determinar las necesidades de agua del cultivo se multiplica la evaporación (E_v) por un factor de cultivo (K), que varía con el desarrollo y es una expresión de sus características morfológicas y fisiológicas, y de la incidencia del ambiente edáfico, en cuanto al volumen de suelo explorado por las raíces y disponibilidad de nutrientes, agua y aire (Grassi, 1975). Para Movilla *et al.*, (1986), según su investigación para determinar las necesidades hídricas de dos variedades de frijol, obtuvieron como resultado, valores de láminas de riego de 199mm y 229mm en las que se registraron las mayores producciones.

2.4.2.6 Pérdida de agua en los cultivos

La evaporación de los cultivos anuales durante sus estados iniciales, tiene lugar fundamentalmente a expensas de la evaporación desde el suelo, es por eso, que la frecuencia de humedecimiento del suelo en ese periodo tiene una gran influencia en la magnitud de los valores de la evapotranspiración (Pacheco *et al.*, 2011).

El agua subterránea deriva del agua de lluvia que ha infiltrado en el suelo y drenado más debajo de la zona radical; es el agua en exceso de la cantidad necesaria para los cultivos y otra vegetación y sobrepasa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (FAO, 1995).

El agua de lluvia que escorre sobre la tierra se mueve rápidamente aguas abajo hacia los cursos de agua contribuyendo a los flujos máximos que siempre son motivo de preocupación. La escorrentía no es solamente un desperdicio del agua de lluvia que podría haber contribuido a la producción de cultivos y a reabastecer las aguas

subterráneas sino que además, frecuentemente, causa inundaciones o daña los caminos y las tierras agrícolas, erosiona el suelo que a su vez es depositado en el curso de los ríos y estanques aguas abajo (FAO, 2002).

2.4.3 Control fitosanitario

2.4.3.1 Control de malezas en el frijol

Se estima que en el cultivo del frijol, las malezas pueden ocasionar pérdida entre 15 y 97% en los rendimientos. Además de la reducción cuantitativa, también pueden llegar a afectar cualitativamente la producción al depreciar la calidad del frijol. Existen varios métodos para el manejo de malezas, por lo tanto, no es aconsejable el uso de un solo método, pero si la combinación de algunos de ellos. La selección de los métodos o el método debe fundamentarse en el conocimiento de las malezas y su biología, hábitos y desarrollo, comportamiento de la semilla en el suelo. (Córdoba y Casa, 2003)

Métodos preventivos: el primer cuidado que se debe tener es el de evitar la introducción, establecimiento y diseminación de nuevas especies en lugares donde normalmente no ocurren. Se deben tomar algunas medidas con el fin de prevenir nuevas infecciones: usar semilla pura y libre de malezas, limpiar cuidadosamente la maquinaria y los implementos agrícolas, e impedir la formación de semilla en la vegetación existente.

Métodos culturales: este método busca dar las condiciones favorables para el establecimiento del cultivo. Comprende todas aquellas prácticas que aseguren el desarrollo vigoroso del cultivo y que permiten competir favorablemente con las malezas. Ellas son: buena preparación del suelo, uso de buena semilla, selección adecuada de la variedad, densidad óptima, siembra oportuna, control de plagas y enfermedades, adecuada fertilización y rotación de cultivos.

Métodos mecánicos: el control mecánico consiste en el uso de prácticas para la eliminación de malezas por métodos físico-mecánicos, y entre ellos el control manual con implementos como el azadón y el machete, que es el método más recomendado para las condiciones de suelos en la mayor parte de los cultivos de frijol, especialmente de tipo voluble.

Métodos biológicos: el control biológico se puede definir como la acción de enemigos naturales que mantienen la densidad de poblaciones de otros organismos en niveles más bajos que los que tendrían en su ausencia. El hombre puede manipular los enemigos naturales de las malezas, y así obtener éxito en la campaña para combatirlos.

Métodos químicos: es el que se realiza con el uso de compuestos químicos que convencionalmente se denominan herbicidas, este método se recomienda como complemento de los métodos culturales y mecánicos, mediante su combinación (Córdoba y colaboradores, 2005).

Se conocen herbicidas apropiados para su aplicación en frijol, desde la etapa de preparación del suelo hasta las etapas de desarrollo del cultivo. De acuerdo con estos criterios, los herbicidas se clasifican como preemergentes y posembrantes, y según el tipo de maleza que van a controlar hay para maleza hoja ancha y maleza hoja angosta, entre las cuales hay selectivos y no selectivos a frijol.

2.4.3.2 Plagas en el cultivo del frijol

Son muchas las especies de insectos que se pueden encontrar asociadas al frijol. Según Guarín (citado por Ríos, 2002), en el cultivo de frijol hay más de 200 especies de insectos que en algún momento pueden actuar en detrimento de la producción; sin embargo, su sola presencia en el cultivo no les da la connotación de plaga, concepto que involucra el aspecto económico.

Es decir, se considera plaga en un cultivo aquel insecto que, además de estar presente, causa un daño de importancia económica. Por eso se debe tener la suficiente claridad acerca de cuáles son los factores que pueden favorecer la explosión de sus poblaciones por encima del umbral económico de daño, o que poblaciones favorecen la expresión de agentes reguladores que contribuyan a disminuirlos hasta niveles tolerables.

En Colombia se han registrado cerca de 85 plagas en frijol: 76 insectos, cinco ácaros, un miriápodo y tres moluscos. De éstos, solamente diez alcanzan el nivel de plaga de importancia económica (Posada, citado por Ríos, 2002). A continuación los insectos plagas más importantes para el frijol.

2.4.3.2.1. Mosca de la semilla (*Hilemya cilicrura* Rondani)

Los adultos de este insecto son muy parecidos a la mosca casera. Los suelos labrados y con alto contenido de materia orgánica atraen a las hembras que ovipositan en el suelo, cerca de las semillas o en las plántulas. Es más común en suelos de zonas frías, donde se ha observado en lotes con aplicaciones abundantes de gallinaza (Londoño, citado por Ríos, 2002).

La semilla atacada por la larva generalmente no emerge, y si lo hace, la plántula que resulta es muy débil. Las larvas son de color blanco o crema, de aproximadamente 6mm de largo. Después de eclosionar, barrenan los cotiledones y al alimentarse de ellos dañan con frecuencia el embrión. Las larvas también pueden penetrar por el pequeño tallo de las plántulas (CIAT, 1980). Este daño generalmente es más severo durante periodos húmedos y fríos. Se han registrado pérdidas hasta de un 80% ocasionadas por este insecto.

El mejor control de la mosca de la semilla se logra con el tratamiento de la semilla con insecticidas apropiados y de categoría toxicológica III y IV. También se

recomienda realizar la siembra después del invierno, cuando haya disminuido la humedad en el suelo (CIAT, 1997) y hacer rotación de cultivos.

2.4.3.2.2 Trozadores (*Argotis*, *Feltia* y *Spodoptera*)

Las larvas de estos insectos cortan los tallos de plántulas disminuyendo las poblaciones de plantas. El ataque de estos insectos ocurre de manera irregular y es difícil de predecir. En ensayos preliminares realizados por el CIAT, se encontró que aparentemente el frijol no era un hospedero preferido por *Spodoptera frugiperda*, una de las especies más importantes de trozadores.

Las larvas de *Spodoptera* pueden ser atacadas por el hongo *Nomuraea*, así como por la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Vélez, citado por Ríos, 2002). En cultivos asociados de frijol con maíz, el daño de los trozadores se reduce notablemente en el frijol.

Como el ataque de trozadores ocurre con frecuencia en focos definidos, se recomienda la aplicación de cebos tóxicos con base a insecticidas categoría toxicológica III y IV en las áreas afectadas, si el ataque está generalizado y sobrepasa el 10% de plantas trozadas, se recomienda aplicar el insecticida en forma generalizada y dirigido a la base de las plantas (CIAT, 1997).

2.4.3.2.3 Crisomélidos (*Diabrotica*, *Neobrotica* y *Cerotoma*)

Muchas especies de crisomélidos atacan el frijol. Los más comunes son los géneros arriba mencionados. La especie *Diabrotica balteata* es la más abundante (CIAT, 1980). Los adultos son cucarrones pequeños de diversos colores que causan perforaciones en las hojas y pueden atacar también flores y vainas. La mayor parte del daño ocurre durante el estado de plántula, cuando el insecto consume un porcentaje relativamente alto del follaje. Las larvas también pueden ocasionar daño en las raíces del frijol y en los nódulos radicales que contienen *Rhizobium*.

Estos insectos también son vectores del virus del mosaico rugoso (CIAT, 1980). Boonckamp (citado por CIAT, 1980) concluyó que la alimentación de los crisomélidos adultos tiene poco efecto en los rendimientos del frijol, excepto cuando el ataque tiene lugar durante las dos primeras semanas después de la siembra y en menor grado, durante la floración.

A menudo se observan chinches actuando como predadores de crisomélidos adultos en el campo (CIAT, 1980). Cuando las poblaciones de estas plagas llegan a niveles económicos que justifiquen su control, los adultos se pueden controlar con insecticidas categorías III y IV.

2.4.3.2.4 Trips (*trips palmi*)

En estado adulto es de color amarillo pálido, mide alrededor de un milímetro de longitud y presenta alas con bordes flecosos. Es de hábito gregario, se presenta normalmente en el envés de las hojas aunque también se puede hallar en las flores (Chang, citado por Guarín, 2003). Su crecimiento es favorecido por las altas temperaturas, cuando la humedad relativa es baja (Guarín, 2003).

Cuando se alimenta en el envés de las hojas reduce normalmente el vigor del hospedero. El insecto chupa los contenidos de las células más bajas del mesófilo, como resultado, quedan espacios de aire en estos tejidos y las hojas comienzan a distorsionarse. Las áreas afectadas presentan un brillo o resplandor que es característico, las plantas jóvenes son muy susceptibles, y altas poblaciones del insecto pueden llegar a ocasionar la muerte de la estructura afectada (Sastrosiswojo y Vos et al, citado por Guarín, 2003).

Londoño y colaboradores (2002), encontraron un efecto positivo de reducción de las poblaciones de *Trips palmi* en presencia de dos de los principales enemigos naturales de la plaga: *Chrisoperla asoralis* y *Orius* sp., los que se presentan como una buena alternativa dentro del manejo integrado de este insecto.

2.4.3.2.5 Barrenador de la vaina (*Epinotia aporema*)

Este insecto hace daño como larva y es conocido como perforador de la vaina. Afecta las yemas terminales e induce la emisión de nuevos brotes, y puede ocasionar también daños y abortos en flores. Las yemas afectadas por el insecto se deforman y las vainas se pudren por la acción de organismos secundarios (Guarín, citado por Ríos, 2002).

El umbral de acción es de 15-20% de brotes dañados o 10-15% de vainas perforadas. Si el daño es poco y está limitado a los brotes dañados o 10-15% de vainas perforadas. Si el daño es poco y está limitado a los brotes terminales, se puede hacer un control preventivo aplicando *Bacillus thuringiensis*. Si se encuentra el umbral de acción, se debe recurrir al control químico con insecticidas (Bueno y Cardona, 2004).

2.4.3.3 Enfermedades en el cultivo del frijol

2.4.3.3.1 Antracnosis (*Colletotrychum lindemuthianum*)

La antracnosis es causada por el hongo *Colletotrychum lindemuthianum*, enfermedad que ataca en todo el mundo las variedades susceptibles establecidas en localidades con temperaturas moderadas a frías, y con alta humedad relativa ambiental (CIAT, 1980). Los primeros síntomas pueden aparecer en las hojas cotiledonales como lesiones pequeñas de color café oscuro o negro.

Las lesiones inicialmente se pueden desarrollar en los peciolo y en el envés de las hojas en forma de manchas pequeñas y angulares de color rojo ladrillo o púrpura, las cuales posteriormente se vuelven café oscuro o negras. Las infecciones en vainas se manifiestan en forma de lesiones, de color entre encarnado y amarillo rojizo, y dan origen a chancros deprimidos, delimitados por un anillo negro, el cual está rodeado a su vez por un borde café rojizo (CIAT, 1980).

Cuando siembra variedades susceptibles es necesario considerar medidas de control químico. Los fungicidas que se vayan a utilizar pueden ser preventivos o sistémicos si es necesario. , estos deben usarse en rotación para evitar que se induzca resistencia del patógeno, solo se deben usar productos categoría III y IV como ser benomil, difenoconazol y propineb ya que hacen buen control de la enfermedad.

2.4.3.3.2 Pudrición radical por *Fusarium*

La enfermedad conocida como pudrición seca de las raíces es causada por el hongo *Fusarium solani*, *F. phaseoli*, está presente en la mayor parte de las zonas productoras de frijol en el mundo y además del frijol común. El daño por pudrición radical puede ser más grave durante los periodos de alta humedad del suelo, cuando se reduce la tasa de difusión del oxígeno.

Se conocen varios productos que aplicados al suelo pueden disminuir la infección por *Fusarium solani*. Adbel Rahman (citado por CIAT, 1980) consiguió muy buen control con benomil, aplicado en aspersión sobre el surco, inmediatamente después de la siembra. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos químicos no son muy efectivos, puesto que las raíces laterales se benefician muy poco o nada con la aplicación del fungicida (Burke et al, citados por CIAT, 1980).

2.4.4 Tutorado

El tutorado o tutoreo es una actividad que consiste en brindar soporte a los cultivos a través de estructuras para que las plantas puedan crecer adecuadamente, con esta función es posible evitar que los frutos o la hoja toquen el suelo lo cuales permite obtener mayores resultados y un mejor rendimiento en la producción (Hidroponia.mx 2016).

Hay que tomar en cuenta que para llevar a cabo esta actividad, la planta debe alcanzar una altura mínima de 25 a 30cm, por lo tanto se recomienda realizar en el segundo

mes de crecimiento, esto ayudara a evitar que los cultivos sufran algún daño en el tallo, los frutos o las hojas (Hidroponia.mx 2016).

Existen diferentes tutorados, estos van a depender del tipo de cultivo que se lleve a cabo y de la técnica. Entre los principales se encuentra el tutorado en caballete, este consiste en crear un barrera con estacas entrelazadas, las cuales forman una estructura con apariencia de triangulo (Hidroponia.mx 2016).

2.4.5 Cosecha y poscosecha

Las variedades de frijol de habito de crecimiento voluble tienen un periodo de floración largo, por lo consiguiente la maduración no es uniforme, es decir que las vainas en una planta no maduran al mismo tiempo, lo que hace necesario realizar la cosecha en varias etapas, a medida que las vainas alcanzan la madurez de cosecha.

Es necesario precisar que los granos adquieran su grado máximo de calidad en el momento de la madurez fisiológica, momento en el cual han acumulado la totalidad de materia seca y nutriente, al mismo tiempo que el embrión haya alcanzado su desarrollo total. Lo ideal sería realizar la cosecha en el momento en que el grano alcanza la madurez fisiológica, pero normalmente en este estado el grano tiene contenidos de humedad muy altos, superiores a los 30%.

Por lo consiguiente es recomendable postergar la recolección hasta la etapa de madurez de cosecha, que ocurre cuando el 75% de las vainas están secas, en esta etapa la humedad de los granos es de aproximadamente un 20%. Para frijol de hábito voluble, generalmente la cosecha se debe realizar en dos o tres etapas, a medida que las vainas alcanzan el estado apropiado para realizarla (Arias y colaboradores, 2001).

En aquellas regiones donde se tenga un buen conocimiento de las condiciones del clima, es recomendable hacer una programación de las épocas de siembra, procurando que la cosecha coincida con épocas secas de poca lluvia. De esta manera

se facilita de manera considerable las labores de cosecha y poscosecha y se obtiene un grano de excelente calidad.

2.4.5.1 Método de cosecha

Para las variedades de hábito voluble, por la arquitectura de la planta y porque su maduración no es uniforme, la cosecha debe hacerse de forma manual, desprendiendo las vainas secas de la planta y depositándolas en un recipiente adecuado.

Es conveniente que cuando se hace la selección de semilla en el campo, se haga primero una recolección de los granos de las plantas más grande, fuertes y vigorosas, que serán las semillas del próximo cultivo (Arias y colaboradores, 2001).

2.4.5.2 Secado

Como el frijol se cosecha con granos de humedad altos, generalmente superiores al 20%, es necesario secarlo y bajar su contenido de humedad hasta el 15% o menos, para evitar su deterioro, hay que anotar que es preferible hacer el secado en las vainas, antes del desgrane, tratando de proteger los granos de la acción directa del calor.

2.4.5.3 Trillado o desgrane

El desgrane consiste en separar los granos de la vaina, para hacerlo se emplean varios métodos: el desgrane manual que consiste en separar los granos de la vaina de forma manual generalmente cuando el grano es para semilla., el desgrane mecánico se realiza con desgranadoras mecánicas accionadas a un motor de energía., y el apaleo otro método de desgrane manual, que consiste en golpear las vainas con un palo sobre una lona hasta lograr la separación de los granos de la vaina.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se describen los materiales y la metodología empleada en la presente investigación de los efectos de la aplicación del poliacrilato de potasio en el rendimiento del cultivo de frijol.

3.1 Localización y ubicación

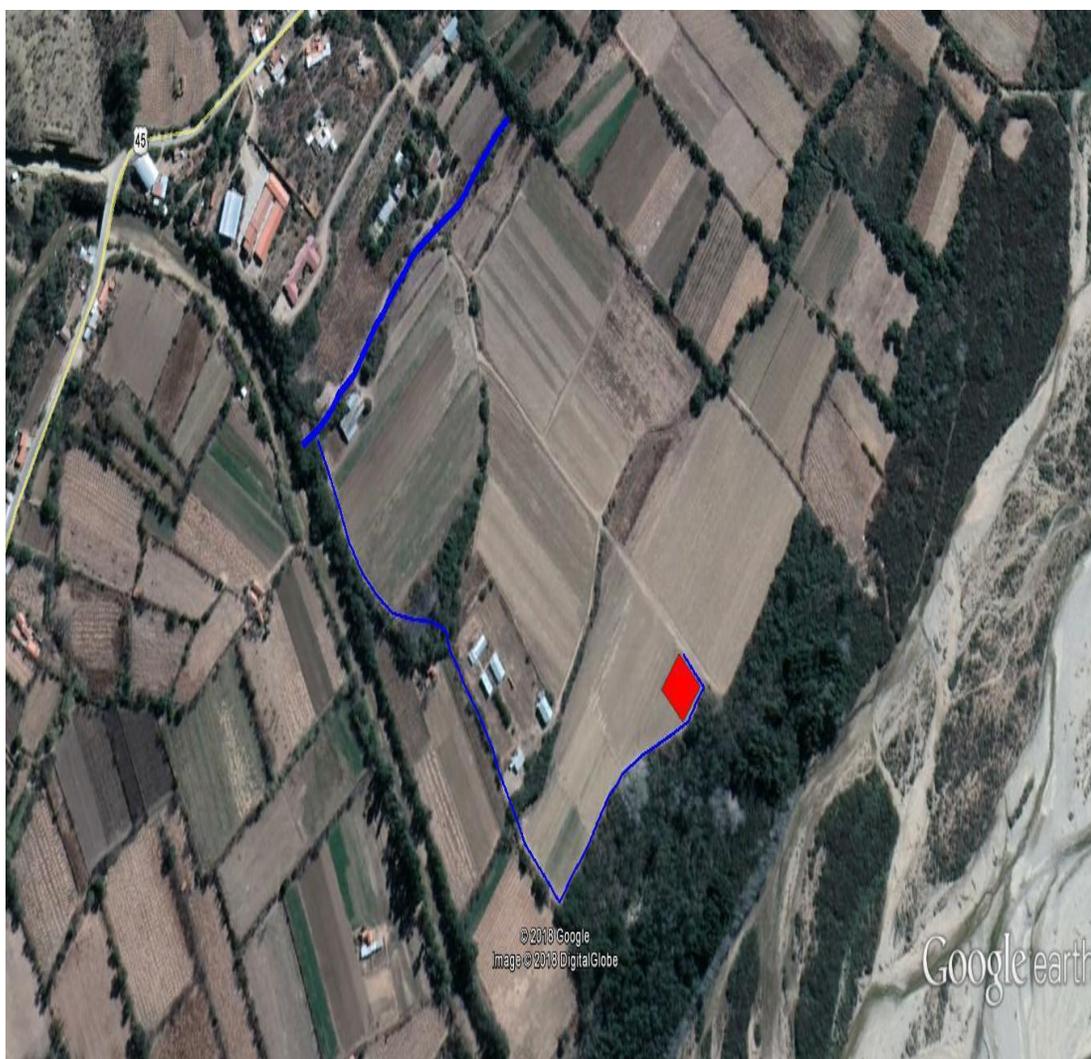


Imagen N° 16. Imagen satelital, ubicación del lugar donde se establecerá el diseño experimental en el Centro Experimental Chocloca.

El trabajo de investigación se realizó a campo abierto en el fundo del Centro Experimental Chocloca, predios dependiente de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en el Municipio de Uriondo primera sección de la Provincia Avilés del Departamento de Tarija. El experimento geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas: 21°44'57,54'' de latitud Sur y 64° 43'49,45'' de longitud Oeste, a una altura de 1787 m.s.n.m., en la parte del lado izquierdo del río Camacho y sub cuenca de la quebrada El Hauyco

3.2 Características climatológicas

De acuerdo al resumen climatológico del SENAMHI, 2017 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Tarija Bolivia), comprendido del periodo 1989-2017 de la Provincia de Avilés se puede identificar un comportamiento de temperaturas medias máximas anual de 26,5°C y temperaturas medias mínimas anuales de 9,5°C, con precipitaciones anuales promedio de 582,95mm, con un rango de 47 – 84 días de lluvia al año identificando los meses de mayo, junio, julio y agosto como los meses donde existe sequía, también se presentó una humedad relativa anual promedio de 60%, a la vez se pudo establecer que se presentan heladas de 25 – 34 días distribuidas durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, esto en los últimos 20 años.

3.3 Características edáficas

Los suelos donde se encuentra el Centro Experimental Chocloca, son de origen aluvial y fluvio – lacustre, presentan como relieve tres terrazas aluviales, los primeros son generalmente profundos, de textura media a fina. En cambio, los suelos de la zona de las colonias son de origen solo fluvio – lacustre mismos que tienen

profundidades variables y de texturas finas o texturas medias con contenidos de grava susceptibles a procesos de erosión Cuenca, 2005, mencionado por Segovia, 2016.

Según Cuenca (2005), los suelos del CECH son de origen aluvial y fluvio-lacustre, los primeros son generalmente profundos, de texturas media a finas. En cambio los suelos de la zona colinosa de origen fluvio-lacustre tienen profundidad variable, de textura finas a medias, gravosos y muy susceptibles a procesos de erosión hídrica.

Geomorfología: De acuerdo al mapa geomorfológico del Proyecto Cuenca del río Camacho, 1998 (citado por Cuenca 2005), en el CECH, se puede diferenciar las siguientes zonas o unidades geomorfológicas:

G1. Zona de río.- Comprende el lecho del río formado por barra de cauce y el lecho menor del río Camacho sujeto a la dinámica aluvial del citado río.

G2. Zona aluvial.- Comprende una serie de terrazas aluviales altas, medias y bajas conformando una llanura aluvial formada por un proceso de sedimentación por la dinámica fluvial de las aguas del río Camacho.

G3. Zona fluvio-lacustre.- Comprende la zona colinosa o inclinada del CECH, que forma parte de la antigua llanura fluvio-lacustre originada por un proceso de sedimentación en un ambiente de lago.

Vegetación: En la actualidad la vegetación nativa, corresponde una vegetación secundaria compuesta por: matorrales xerofíticos secundarios, las especies características son churqui (*Acacia caven*), tusca (*Acacia aroma*); algunas especies arbóreas residuales del bosque original distribuidas de manera dispersa en los linderos de la propiedad como el algarrobo blanco (*Prosopis alba*), algarrobo negro (*Prosopis nigra*), chañar (*Geoffroea decorticans*), sauce criollo (*Salix humboldtiana*) y molle

(*Schinus molle*). En áreas afectadas por erosión severa, se presentan matorrales dispersos formados por taquillo (*Prosopis alpataco*) y algunos cardones o cactáceas (ZONISIG, 2000; citado por Cuenca, 2005).

3.4 Características de riego en la zona

El fundo donde se realizó el trabajo de investigación, presenta un sistema de riego por gravedad que consta de un canal de riego revestido de concreto, con capacidad de un caudal mínimo de 140 litros/seg y un caudal máximo de 180 litros/seg., de agua proveniente por gravedad.

3.5 Características de desarrollo productivo de la zona

La principal actividad económica es la vitivinicultura, cadena productiva de uva, vinos y singanis, de significativa importancia para la región con un aporte social expresada en la generación de 3900 empleados directos.

El 78% de estas fuentes de trabajo está relacionado con la producción de vino y singani y el 22% exclusivamente con la producción de uva de mesa de los cuales el 85% de los productores cuenta en promedio con una hectárea, el 5% de los productores son medianos que cultivan entre 1 a 5 hectáreas y el 10% restante corresponde a los grandes productores. La cadena vitivinícola representa el 0,5% del PIB nacional y el 3,7% del PIB del Departamento de Tarija (FAUTAPO, 2012).

3.6 Materiales

- **De Campo:** cámara fotográfica, tablero de campo, planillas de riego, letreros,

flexómetro.

- **Equipos y Herramientas:** pala, azada, carretilla, aspersora manual de espalda de capacidad 20 litros, máscara protectora, manguera, balanza, fertilizante, fungicidas e insecticidas, manguera, poli-acrilato de potasio.
- **Material vegetal:** semillas de frijol, (*Phaseolus vulgaris* L. var. *blanquizcal*), tipo voluble o trepador indeterminado.

3.7 Metodología

3.7.1. Diseño experimental

Para obtener la información necesaria, se realizó el ensayo estructurado bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar, con 4 Tratamientos y 1 testigo. Constando de 5 tratamientos y 4 repeticiones haciendo un total de 20 unidades o parcelas experimentales, cada unidad experimental tiene una superficie de 37,1m², la superficie neta que se estima será de 742m² y una superficie total de 945,50m², con callejones principales y callejones secundarios de 1m.

3.7.1.1 Tratamientos.

Se aplicaron cuatro tratamientos con dosis de 1g., 2g., 3g., y 4g. de poliacrilato de potasio y una lámina de riego incluido al testigo T₀. La densidad de siembra para todos los tratamientos fue de 0,33m entre plantas y 1m entre surcos.

T₀ = Cultivo de frijol sin aplicar poliacrilato de potasio.

T₁ = Cultivo de frijol con poliacrilato de potasio (1g).

T_2 = Cultivo de frijol con poliacrilato de potasio (2g).

T_3 = Cultivo del frijol con poliacrilato de potasio (3g).

T_4 = Cultivo del frijol con poliacrilato de potasio (4g).

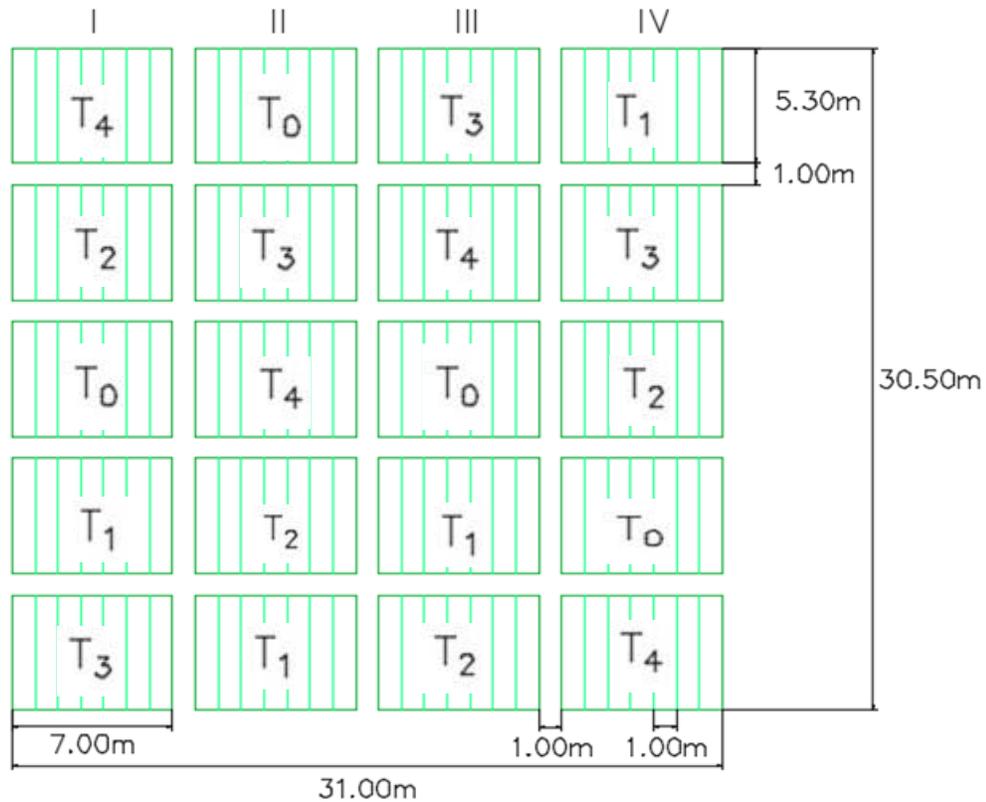


Imagen N° 17. Descripción gráfica de las unidades experimentales.

La dosis de los tratamientos se estableció de acuerdo a los resultados obtenidos por Alarcón, 2013. Al incrementar un 46% la producción al usar el poliacrilato de potasio en comparación a cultivos testigos.

3.7.2 Establecimiento del ensayo

- Muestreo de suelo: para extraer las muestras que se enviaron a analizar a laboratorio del SEDAG, se tomó en cuenta la metodología de muestreo de suelo proporcionada por Espinoza 2014, siguiendo todos los procedimientos sugeridos.

- **Análisis físico del suelo:** antes de implementar el ensayo se realizó un análisis físico para determinar los valores de los siguientes parámetros: textura, densidad aparente, punto de marchites permanente, capacidad de campo, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de bases.
- **Análisis químico del suelo:** antes de implementar el ensayo, se realizó un análisis químico, para determinar los valores de las cantidades de nutrientes presentes en el suelo para realizar una dosificación de fertilizantes adecuada, para ello se realizará un análisis de calcio, sodio, magnesio, fósforo, potasio, M.O. y pH, nitrógeno, del suelo donde se implementara el ensayo.
- **Preparación del terreno:** la superficie total del diseño experimental fue rastreada, cultivada y surcada de manera mecanizada, con la finalidad de obtener un suelo suelto y mullido para mejorar el contacto del suelo húmedo y la semilla.
- **Tratamiento de la semilla:** antes de realizar la siembra se realizó el tratamiento químico de desinfección, con la finalidad de controlar el ataque de hongos y bacterias como ser la *Rhizoctonia*, *Alternaria*, *Pythium*, *Fusarium*, *Phytophthora*, en la nueva plántula.
- **Siembra de la semilla:** las semillas se sembró a una distancia de 0,33m entre plantas y una distancia de surco a surco de 1m, la siembra fue a golpe y de 1 semilla por punto de siembra a una profundidad de 0,10m haciendo un total de 112 plantas por unidad experimental.
- **Aplicación del poliacrilato de potasio:** el poliacrilato de potasio se ha hidratado con agua, de acuerdo a la especificación de los tratamientos planteados. La aplicación del producto hidratado se realizó de fondo a una profundidad de 0.20m a chorro continuo como se muestra en la imagen N°18.



Imagen N° 18. Aplicación del poli-acrilato de potasio.

3.7.3 Manejo del ensayo

El manejo del ensayo corresponde a las labores culturales que se realizaron en el transcurso del ciclo del cultivo: riego, control de malezas, aporque, fertilización, aplicación fitosanitaria y otras.

- **Riego:** Para cubrir el requerimiento hídrico del cultivo se efectuó riegos dependiendo a la necesidad hídrica y etapa del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), para ello se establecerá una frecuencia de riego para cada tratamiento.
- **Aporque:** cuando las plantas presento una altura aproximada de 0,25 a 0,30m, se procedió al aporcado de las mismas. Esta actividad consiste en proporcionar mayor cantidad de tierra a las plantas, su función primordial es de darle mayor anclaje, evitar el ataque de patógenos y mantener la humedad en el área de las raíces.
- **Tutorado o encañado:** el tutorado o encañado se realizó después del aporque, cuando las plantas tengan entre 0,30 a 0,35m, en el momento en que la planta esté lanzo su primer guía principal para largar su primer macollo. El tamaño de las

cañas fueron de 2,5m de longitud y se unirán 4 cañas en un punto para tener cuatro patas o apoyos.

- **Guiado:** esta es una actividad se realizó constantemente, a partir del inicio de la salida de la guía principal y a medida que salgan los macollos.
- **Control de malezas:** Las malezas compiten con el frijol por agua, nutrientes y espacio. Además, de ser hospederos de enfermedades y plagas que puedan perjudicar al cultivo, por lo tanto, se realizó deshierbes manuales.
- **Fertilización:** Se utilizó fertilizantes nitrogenados y fosfatados granulados, la dosis de fertilización se realizó según el análisis de contenido de nutrientes en el suelo y tomando en cuenta el requerimiento del cultivo, los cinco tratamientos recibieron la misma dosis de fertilización. La fertilización no es un factor en estudio.

Se fracciono la dosis de la fertilización en dos aplicaciones, la primera que se incorporara al momento de la siembra, y la segunda aplicación se incorporará al suelo en el momento de la realización de las labores culturales.

- **Aplicación de pesticidas:** se realizó aplicaciones de control preventivo y curativo a los primeros signos o amenazas de plagas y/o enfermedades.
- **Arrancado:** se arrancó las planta del suelo, cuando el 50 a 60% de las hojas de la planta presentaron un amarillamiento y cuando el grano tenía un porcentaje de humedad de entre 18 y 20%, se dejó secar entre 10 a 15 días para luego proceder a al desgrane.
- **Cosecha:** al completar su ciclo el cultivo, pasando de 10 a 15 días se procedió al trillado o palizada para extraer los granos de frijol.

- **Selección del grano:** la selección del grano se realizó para retirar impurezas, granos manchados y granos partidos.

3.7.4 Variables analizar

Para analizar los datos de las variables de las características agronómicas del cultivo se tomaron los datos del 5% del total de plantas por unidad experimental (6 plantas por unidad experimental) las seis plantas se eligieron de los surcos centrales evitando los surcos laterales por los efectos de borde, las plantas seleccionadas se las muestra en el siguiente cuadro

Cuadro N°4. El 5% de las plantas donde se obtuvieron los datos de campo dentro de una unidad experimenta.

97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Elaboración propia.

- **Altura de la planta:** Para esta variable se seleccionó seis plantas por unidad experimental y se realizó la medición con flexómetro desde la base del tallo (cuello de la raíz del tallo) hasta la parte basal de la primera hoja (ápice del tallo o macollo principal) en el momento de la cosecha, cuando el cultivo finalizo su ciclo.
- **Número de vainas por planta:** Esta variable se realizó contando las vainas de seis plantas seleccionadas por unidad experimental y se hizo un promedio.

- **Número de granos por vaina planta:** Para determinar el número de granos por vainas de una planta, se seleccionó seis plantas por unidad experimental, de las cuales se procedió a contar el número de granos por cada vaina de las plantas, luego se sacó un promedio de número de granos por vaina planta.
- **Peso de los granos por vaina planta:** Esta variable se analizó pesando los granos que contienen las vainas de seis plantas seleccionadas por unidad experimental; se utilizó una balanza digital con capacidad de 5 kg.
- **Longitud de los granos:** Para analizar esta variable se midieron los granos de las vainas de seis plantas de cada unidad experimental, luego se pesó para clasificarlos según su tamaño según la clasificación de Voysest, 2000.

3.7.5 Rendimiento

Para determinar el rendimiento de los tratamientos, se pesó todos los granos de frijol obtenidos por vaina planta y se los expreso en kg por unidad experimental y también se los expresara en ton/ha y qq/ha.

3.7.6 Tabulación y análisis de datos

Para cada uno de los tratamientos, se efectuó la tabulación de las variables y se aplicó el análisis de varianza (ANVA) al 95% y al 99% de confiabilidad, para determinar si existe diferencia estadística entre los tratamientos y bloques en el caso de existir diferencia estadística entre los tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% y al 1%.

3.7.7 Análisis Económico

Para el análisis económico se realizó la hoja de costo de producción para cada

tratamiento, además se realizó los cálculos del ingreso bruto para cada tratamiento en función al rendimiento de cada tratamiento y precio de venta por Kg de frijol. La diferencia entre el ingreso bruto y el costo de producción no dan como resultado el beneficio el cual dividiendo entre el costo de producción obtenemos la relación beneficio costo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de los efectos de la aplicación de cuatro tratamientos de poliacrilato de potasio en el rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca.

4.1 Identificación de los parámetros del suelo

Para la identificación de los parámetros del suelo, se realizó un análisis químico físico en laboratorio de suelos y aguas del Servicio Departamental Agropecuario donde analizaron los siguientes parámetros: pH, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fosforo, Densidad aparente, Capacidad de Campo, Punto de Marchites Permanente y Textura.

4.1.1 Parámetros físicos del suelo en el ensayo realizado en la terraza baja del Centro Experimental Chocloca

Dentro de los parámetros físicos del suelo que se identificaron: Densidad aparente, Textura, Capacidad de Campo, Punto de Marchites Permanente, Capacidad de Intercambio Catiónico y Saturación de Bases.

Cuadro N° 5. Resultado de los Análisis Físico del Suelo del ensayo.

ID	Prof. (cm)	Txt	Da (gr/cc)	CC (%)	PMP (%)	CIC (meq/100g)	SB (%)
T0				24,41	13,72	22,65	
T1				24,86	14,00	37,68	
T2	15	FY	1,37	25,55	14,42	29,28	90,35
T3				26,15	14,81	39,25	
T4				27,84	15,87	29,95	

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas SEDAG

Los resultados obtenidos de los parámetros físicos del suelo realizados en el SEDAG son necesarios para realizar el diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra el suelo donde se estableció el ensayo y calcular sus frecuencias de riego.

Cuadro N° 6. Interpretación de los parámetros físicos del análisis de suelo.

PARÁMETRO	RESULTADO ANÁLISIS LAB.	RANGO	CLASIFICACIÓN
Textura	FY	A: 32,5% L: 30,0% Y: 37,5%	Franco arcilloso
Da.	1,37	1,25-1,50gr/cc	Limitante para el crecimiento radicular
%SB	90,35	> 80%	Alta concentración de bases alcalinotérreas, baja presencia de cationes ácidos de H ⁺ y Al ⁺⁺⁺
CIC	31,76	25-40	Alta

Elaboración propia.

De acuerdo al resultado se pudo identificar que el suelo presenta una textura Franco arcillosa por sus contenido de un 32,5% de Arena, 30% de Limo y 37,5% de Arcilla. Según su densidad aparente se pudo establecer que es un suelo limitante para el crecimiento radicular ya que el valor de la Densidad aparente es de 1,37g/cc y se encuentra dentro del rango 1,25-1,50g/cc.

Mediante el valor del porcentaje de Saturación de Bases de 90,35%, se puede afirmar que el suelo se contiene una alta concentración de bases alcalinotérreas (Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio), la diferencia de 100% con relación al %SB es el porcentaje (9,65%) de la presencia de iones de hidrogeno y aluminio.

El valor de la capacidad de intercambio catiónico es de 31,76meq/100g y se encuentra dentro del rango 25-40meq/100g clasificándolo como un suelo con alta capacidad de intercambio catiónico.

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio son totalmente relevantes para poder hacer un diagnóstico de cómo se encuentra el suelo, partiendo de los parámetros medidos, se hará una interpretación de los más representativos, comparando con tablas de interpretación propuestas por Rioja Molina, A (2002).

La buena calidad física del suelo determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantas, Taboada y Alvarez, (2008)..

Hakansson y Lopez (2000), señalan que la máxima densidad aparente puede ser usada como un valor de referencia para evaluar el estado de compactación de los suelos. El contenido de humedad en la máxima densidad aparente produce una baja estabilidad estructural de los suelos (Wagner *et al.*, 1992).

La FAO (2016), indica que en los suelos se encuentran los cationes ácidos (H^+ y Al^{+++}) y los cationes básicos (Ca^+ , Mg^+ , Na^+ y K^+). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo se refiere al porcentaje de saturación de bases.

Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neural) su saturación de bases llega a un 100% y significa que no se encuentran iones de hidrogeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerido en un suelo acido para neutralizarlo (FAO, 2016).

Generalmente en la Universidad de Arkansas (2013), las texturas arenosas de suelos tiene una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) < 9 cmol/kg, suelos francos tienen una CIC de 9 a 20 cmol/kg, y los suelos arcillosos arriba de 20 cmol/kg. El contenido de arcilla, el tipo de arcilla y la materia orgánica afectan el CIC. En general la CIC incrementa en suelos arcillosos y con contenidos altos de materia orgánica.

4.1.1.1 Determinación de las frecuencias de riego para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca

En la determinación de las frecuencias de riego para los diferentes tratamientos, se utilizaron los parámetros físicos capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP), densidad aparente, datos climatológicos proporcionados por el SENAMHI – Tarija y los cálculos para la evapotranspiración de referencia de la zona se la realizo con el programa ABRO 02 Ver.3.1., el reporte de la evapotranspiración de referencia de la zona se encuentra en el ANEXO 2., y el coeficiente del cultivo proporcionado por la FAO.

Cuadro N°7. Frecuencias de riego en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca, al 0% de humedad en el suelo.

ID	Ln mm	Lb (mm) Ln/Ef. Riego 60%	Et _c -Sep Kc * Eto	Et _c -Oct Kc * Eto	Et _c -Nov Kc * Eto	Et _c -Dic Kc * Eto	Fr/días Lb/ET _c			
							Sep	Oct	Nov	Dic
T0	21,97	36,61					18,64	6,58	5,14	21,05
T1	22,32	37,20					18,94	6,68	5,23	21,39
T2	22,87	38,12	0,4*4,91	1,15*4,84	1,15*6,19	0,35*4,97	19,41	6,85	5,36	21,91
T3	23,30	38,48					19,77	6,98	5,46	22,33
T4	24,60	40,99					20,88	7,36	5,76	23,56

Elaboración propia.

En el mes de septiembre al inicio del desarrollo del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), las frecuencias de riego para el tratamiento testigo T0 fueron de 19 días, mientras que para el tratamiento T4 con dosis de 4 gramos de poliacrilato de potasio por planta presenta una frecuencia de riego de 21 días y en los tratamientos T1, T2 y T3 que contienen dosis de 1g., 2g y 3g de poliacrilato de potasio presentan una frecuencia de riego de entre 20 y 19 días.

Para los meses de octubre y noviembre donde el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), presenta mayor desarrollo fisiológico, las frecuencias de riego para el tratamiento testigo T0 fueron de entre 7 y 5 días, mientras que para el tratamiento T4 con dosis de

4 gramos de poliacrilato de potasio por planta presenta una frecuencia de riego de entre 7 y 6 días y en los tratamientos T1, T2 y T3 que contienen dosis de 1g., 2g y 3g de poliacrilato de potasio presentan una frecuencia de riego de entre 7 y 5 días.

Para el mes de diciembre, al finalizar el ciclo de desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la frecuencia de riego para el tratamiento testigo T0 fue de 21 días, mientras que para el tratamiento T4 con dosis de 4 gramos de poliacrilato de potasio por planta presenta una frecuencia de riego de 24 días y en los tratamientos T1, T2 y T3 que contienen dosis de 1g., 2g y 3g., de poliacrilato de potasio presentan una frecuencia de riego de entre 21 y 22 días.

4.1.1.2 Número de veces regadas en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca

Mediante el Cuadro N°8., se pudo determinar las veces que se regaron para los diferentes tratamiento tomando en cuenta que el cuadro anterior, las frecuencias de riego se establecieron cuando el suelo presentaba un 0% de humedad, en el cuadro a continuación se muestran el número de aplicaciones de riego durante el ciclo del cultivo al 60% de humedad en el suelo.

Cuadro N°8. Número de aplicaciones de riego durante todo el ciclo del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

ID	Número de riego				Σ Días
	Sep Días	Oct Días	Nov Días	Dic Días	
T0	3	8	10	3	24
T1	3	8	10	2	23
T2	3	8	9	2	22
T3	3	7	9	2	21
T4	2	7	9	2	20

Elaboración propia.

En la sumatorias de los días que se aplicaron riego a lo largo del desarrollo del cultivo, podemos evidenciar que en el tratamiento testigo T0 se realizaron 24 riegos, mientras que para el tratamiento T4 con 4g., de poliacrilato de potasio por planta se regó 20 días durante todo el ciclo del cultivo, por otro lado para los tratamientos T1, T2 y T3 con dosis de poliacrilato de potasio de 1g., 2g. y 3g., se les aplico riego 21 y 23 veces durante todo el cultivo.

El riego puede provocar impactos importantes en la sostenibilidad de los sistemas de producción de secano de los pequeños productores, en zonas cuyo clima se caracteriza por un balance hídrico con elevado déficit durante 6 meses del año y déficit cortos, por días, semanas o quincenas, causados por la distribución irregular de las lluvias, en los otros 6 meses, aunque no haya déficit hídrico si se considera el total del periodo, (FAO 2002).

Para la red agrícola (2017), el principal objetivo del riego es maximizar la producción manteniendo a la planta transpirando, pero sin asfixiar las raíces. La cantidad total de agua a aplicar depende del cultivo y de parámetros climáticos, pero normalmente el suelo juega un rol clave para determinar la frecuencia de riego.

Un programa de riego busca reponer el agua evapotranspirada por el cultivo, pero con el desafío de mantener la humedad del suelo entre dos umbrales. Por un lado, se debe evitar el cierre estomático – provocado por la falta de agua fácilmente extraíble por las plantas, con el fin de no frenar la fotosíntesis y poder optar al máximo rendimiento potencial del cultivo (Red Agrícola, 2017).

Pero por otro lado se deberá evitar el exceso de agua en el suelo, puesto que las raíces de las plantas dependen de la presencia de oxígeno para su normal desarrollo, y porque el exceso de agua provoca enfermedades. Además, el agua no utilizada por el cultivo se pierde por percolación profunda, en muchos casos arrastrando fertilizantes (Red Agrícola, 2017).

Ferreira mencionado por la Red Agrícola (2017), nos indica que el riego es una pugna entre dos extremos cuyo objetivo es lograr un buen contenido de agua y un buen contenido de aire en el suelo. Si hay mucha agua no habrá aire y si hay mucho aire no habrá, Ferreira también nos indica un aspecto importante, el cual es que no todos los cultivos presentan las mismas necesidades de hídricas, porosidad y aireación.

4.1.2 Parámetros químicos del suelo en el ensayo realizado en la terraza baja del Centro Experimental Chocloca

Dentro de la identificación de las propiedades químicas del suelo del ensayo en el Centro Experimental Chocloca para la evaluación de los efectos del poliacrilato de potasio en el rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), tenemos los siguientes parámetros: pH, materia orgánica (M.O.), nitrógeno total (N.T.), fósforo (P) y potasio (K), como se detalla en el cuadro N°10 a continuación.

Cuadro N°9. Resultados de los análisis químico del suelo del ensayo.

ID	Prof. (cm)	pH 1:5	M.O. (%)	N.T. (%)	P (ppm)	K (meq/100gr)
T0						0,12
T1						0,17
T2	15	6,96	2,02	0,143	5,05	0,31
T3						0,23
T4						0,20

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas SEDAG

Los resultados obtenidos de los parámetros químicos del suelo realizados en el Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), son totalmente relevantes para realizar el diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra el suelo donde se estableció el ensayo y calcular la cantidad de fertilizante para cubrir el requerimiento mineral nutricional del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Cuadro N° 10. Interpretación de los parámetros químicos del análisis de suelo.

PARÁMETRO	RESULTADO ANÁLISIS LAB.	RANGO	CLASIFICACIÓN
pH	6,69	6,6-7,3	Neutro
M.O.	2,02	2,0-2,5%	Normal, suelo mineral orgánico
N.T.	0,14	0,10-0,15%	Normal
P	5,05	0-6ppm	Muy bajo
K	0,21	0-30meq/100gr	Muy bajo

Elaboración propia.

De acuerdo a la interpretación de los parámetros químicos del suelo, podemos evidenciar que el valor de pH es de 6,69 y se encuentra dentro del rango 6,6-7,3 clasificándolo como un suelo con pH neutro. Para el parámetro de materia orgánica (M.O.), con un valor de 2,02%, se ubica dentro del rango 2,0-2,5% clasificándolo como un suelo mineral orgánico con un contenido normal de materia orgánica.

En el parámetro químico del suelo del nitrógeno total podemos evidenciar que el valor de 0,14% se encuentra dentro del rango de 0,10-0,15% clasificándolo como un suelo con un contenido normal de nitrógeno total. Mientras que para los parámetros químicos relacionados con el fósforo (P - 5,05ppm) y potasio (K – 0,21meq/100g) ambos se encuentran dentro de la clasificación de muy bajo contenido de fosforo y potasio.

4.1.2.1 Fertilización química en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Mediante los parámetros químicos identificados y el requerimiento nutricional del cultivo de frijol se estableció la dosis de fertilizante que se incorporó al momento de la siembra para cubrir las necesidades de nutrición mineral de macro elementos (nitrógeno, fosforo y potasio) del cultivo.

Cuadro N°11. Dosificación de fertilizante químico fosfato diamónico en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocla.

ID	Análisis suelo Kg/ha	Req. Cultivo Kg/ha	Diferencia Kg/ha	Fosfato Diamonico Kg/Ha	18:46:00 Kg//Ha	18:46:00 Kg/945,5m²
N	58,77	97	-38,23		+38,00	
P	10,38	9	+1,38	105,56	+97,12	9,98
K	96,17	93	+3,17		00,00	

Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla de dosificación para aplicar fertilizante químico, se puede evidenciar que existe deficiencia en nitrógeno en 38 Kg/ha, los elementos como el fosforo tiene un exceso de 1,38 Kg/ha y el potasio excede en 3 Kg/ha. Para la elección del fertilizante a utilizar se tomaron en cuenta las características del cultivo que es una leguminosa y su propiedad de fijar nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis que tiene con las bacterias del genero Rhizobium.

Para cubrir la deficiencia nutricional, se aplicó fosfato diamónico con la formula 18:46:00, la cantidad de fosfato diamónico para cubrir la deficiencia de nitrógeno en una hectárea es de 105,56 Kg/ha., sin embargo la superficie del ensayo es de 945,5 m² por lo tanto le corresponde una cantidad de 9,98 Kg, que se dispersaron a chorro continuo a lo largo de los surcos del diseño experimental al momento de la siembra.

4.1.2.2 Dosificación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocla

Para la dosificación de poliacrilato de potasio en sus cuatro tratamientos se tomaron en cuenta la superficie de cada unidad experimental, el número de plantas por superficie de las unidades experimentales y el número de repeticiones de cada tratamiento, para posteriormente expresar las dosis de poliacrilato de potasio en Kg/ha.

Cuadro N°12. Dosificación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca.

ID	Dosis por planta (gr.)	Dosis por unidad experimental (gr.)	Dosis por bloques (Kg)	Dosis en Kg/Ha
T1	1	112	0,45	30,32
T2	2	224	0,90	60,65
T3	3	336	1,34	90,30
T4	4	448	1,79	120,62

Elaboración propia.

En la tabla de dosificación de poliacrilato de potasio se puede observar que para el tratamiento T1 es necesario 30,32Kg de poliacrilato de potasio para una hectárea, mientras que para el tratamiento T2 es necesario 60,65 Kg de poliacrilato de potasio para una hectárea, para el tratamiento T3 se necesitan 90,30Kg y para el tratamiento T4 es necesario una cantidad de 112,62Kg por hectárea.

Los beneficios derivados de la aplicación de los polímeros al suelo o al medio artificial incluyen: incremento en la capacidad de retención de humedad, incremento en el número y tamaño de poros, incremento de las reservas de nutrientes y reducción de la compactación del suelo (Orzolek, 1993).

Los polímeros pueden absorber altos rangos de agua destilada tanto como 1000 veces su peso seco, pero en aplicaciones al campo la hidratación raramente excede de 400 a 500 veces su peso (g/g) debido al nivel de salinidad del agua (Orzolek, 1993). Velasco (1993) reporto que puede absorber 300 veces su peso en agua ordinaria.

Bowman y Evans (1991) reportaron que los polímeros comerciales disponibles para la horticultura son capaces de absorber más de 400ml de agua por grano de peso. De acuerdo a James y Richards (1986) y Wang (1987) citados por Wang (1989) y

Orzolek (1993), la capacidad de retención de agua por los polímeros se reduce por los cationes del agua de irrigación. El grado o reducción en la capacidad de retención del agua depende de la estructura y composición química del producto y de la concentración y variedad de iones en el agua a la cual el polímero ha estado expuesto (Wang, 1989). No había sido documentado si el efecto adverso de los iones en la hidratación del polímero es reversible (Wang y Gregg, 1990).

De acuerdo a Velasco (1993), la duración media del producto es entre 3 y 5 años. Estudios de degradación controlada en polímeros llevados a cabo por Orzolek (1993), indican que estos pierden del 10 al 15% de su actividad cada año. La degradación de los polímeros parece ser debida a los microorganismos, modificación de la estructura física con el tiempo y a la descomposición química (Johnson, 1985 citado por Orzolek, 1993). El desarrollo de los polímeros pueden mejorar el balance de agua, sobrevivencia y crecimiento de plantas en regiones áridas y semiáridas (Callagan *et al.*, 1989 citados por Sáve *et al.*, 1995)

4.2 Evaluación de las características agronómicas del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en sus cinco tratamientos en el Centro Experimental Chocloca

Las características agronómicas que se evaluaron en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) fueron altura de planta a la cosecha, número de vainas por planta, número de granos de germoplasma por planta, peso de los granos de germoplasma por vaina planta y longitud de los granos de germoplasma.

4.2.1 Características de desarrollo de la altura de planta en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

En la evaluación de la característica del desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se midió a seis plantas por unidad experimental, las medias

de las unidades experimentales se muestran en el siguiente cuadro y los datos de campo se las puede observar en el anexo N°11.

Cuadro N°13. Desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la cosecha bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

ID	I	II	III	IV	Σ	X
T0	177,0	134,4	169,2	142,0	622,6	155,6
T1	224,6	224,5	233,5	216,0	898,6	224,6
T2	253,0	263,4	248,6	245,7	1010,7	252,7
T3	278,4	277,8	284,4	282,3	1122,9	280,7
T4	310,5	315,6	334,6	308,4	1269,1	317,3

Cuadro N°14. Análisis de varianza del desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabulada		Nivel de significancia
					1%	5%	
Tratamientos	4	59797,05	14949,26	126,9069	5,41	3,26	**
Bloques	3	654,8775	218,2925	1,853123	5,95	3,49	n.s.
Error	12	1413,565	117,7971				
Total	19	61865,49					

Coefficiente de Variación: 4,41%

** = altamente significativo

n.s. = no significativo

De acuerdo al análisis de varianza realizado a los datos del desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca, se puede afirmar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, sin embargo la diferencia no es significativa entre los bloques.

El coeficiente de variación indica la variación de los datos de campo con relación a la media. En este caso el Coeficiente de Variación es de 4,41%. Clasificándose como muy buena según la tabla de clasificación del coeficiente de variación del Instituto Nacional de Estadística de Chile (2016).

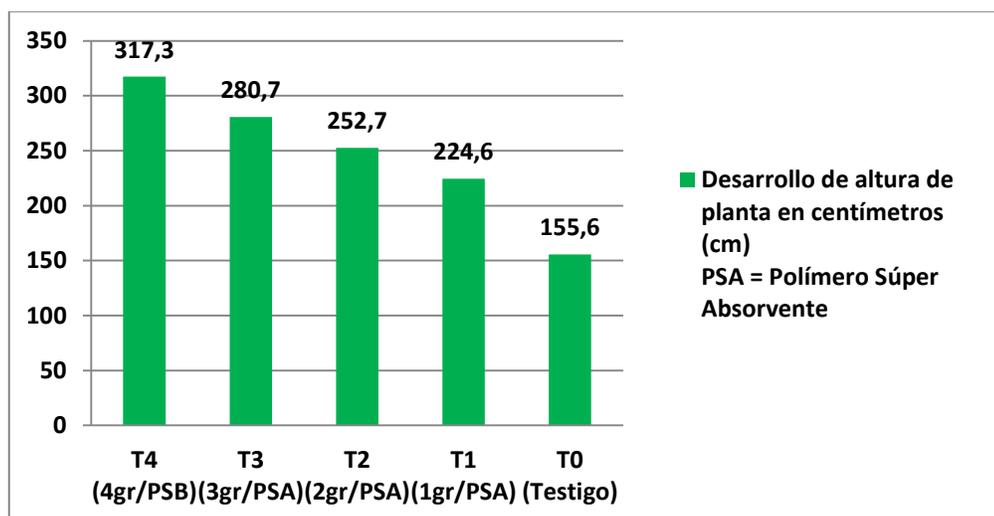
Cuadro N°15. Prueba de comparación de medias de Tukey del desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Tratamientos	Media	1%	5%
T4	317,3	a	a
T3	280,7	b	b
T2	252,7	bc	c
T1	224,6	c	d
T0	155,6	d	e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey del desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio al 1%, indica que los tratamientos T3, T2 y T1 no difieren estadísticamente entre sí, la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T4 y T0. Mientras que la prueba de comparación de medias al 5% indica que si existe diferencia estadística entre todos los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4.

GRÁFICO N°1. Desarrollo de la altura de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la cosecha bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.



En el gráfico N°1 se puede observar al tratamiento testigo T0 como el tratamiento que presento menor desarrollo de altura de planta alcanzada con 155,6cm con relación a los demás tratamiento, mientras que el tratamiento T4 con mayor dosis de poliacrilato de potasio, supero a todos los tratamientos alcanzando una altura de 317,3cm.

Para Arias *et al.* (2007), a partir de la primera hoja trifoliada, el tallo desarrolla la doble capacidad de torsión, lo que se traduce en su habilidad trepadora, el cual puede tener de 20 a 30 nudos y puede alcanzar más de 2 metros de altura con un soporte adecuado.

Meneses *et al.* (1996), citado por Aguilar (2015), mencionan que el cultivo de frijol durante su desarrollo puede presentar cuatro tipos de crecimiento, los mismos que son el resultado de la interacción de varios caracteres de la planta, influenciados por las condiciones ambientales que determinan su arquitectura final.

En condiciones favorables las interacciones de los caracteres de la planta y las condiciones ambientales el tratamiento T4 (con 4gr/planta de Polímero Súper Absorbente), lograron alcanzar una altura de 317,3cm por lo que se puede afirmar que la variedad blanquizcal tiene un hábito de crecimiento tipo III voluble trepador de crecimiento indeterminado.

Hábito de crecimiento indeterminado, trepador o de guía, cuya altura es de 1,50m a más de 2m. Su floración es escalonada y se inicia a los treinta y ocho días, la maduración es des uniforme y el ciclo de cultivo es de noventa a 120 días. (CIAT, 1991 citado por Álvarez, 2010).

Sin embargo para el tratamiento testigo alcanzo un desarrollo de altura de planta de 155,6cm mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 lograron desarrollar una altura de planta dentro de los rangos de 224,6cm a 280,7cm. pese a que las plantas presentaban los mismos caracteres las condiciones de humedad incidió en su desarrollo.

Tornado, (2012) y Ramos (2009), mencionan que el hidrogel absorbe agua y nutrientes, poniendo a disposición de la planta a medida que el suelo se seca, el agua es liberada alrededor del polímero manteniendo la humedad del suelo requerida para la absorción de nutrientes.

4.2.2 Cuantificación del número de vainas por planta en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca

En la cuantificación de la característica del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se contaron las vainas de seis plantas por unidad experimental, las medias de las unidades experimentales se muestran en el siguiente cuadro y los datos de campo se los puede observar en el anexo N°12.

Cuadro N°16. Cuantificación del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

ID	I	II	III	IV	Σ	X
T0	9	7	5	4	25	6
T1	10	12	12	12	46	12
T2	16	18	13	18	65	16
T3	21	21	23	22	87	22
T4	56	40	54	48	198	50

Cuadro N°17. Análisis de varianza del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabulada		Nivel de significancia
					1%	5%	
Tratamientos	4	4572,7	1143,175	79,89575	5,41	3,26	**
Bloques	3	20,55	6,85	0,478742	5,95	3,49	n.s.
Error	12	171,7	14,30833				
Total	19	4764,95					

Coefficiente de Variación: 17,96%

** = altamente significativo

n.s. = no significativo

De acuerdo al análisis de varianza realizado a los datos del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio podemos afirmar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, mientras que entre los bloques la diferencia no es significativa.

El coeficiente de variación indica la variación de los datos de campo con relación a la media. En este caso el Coeficiente de Variación es de 17,96%. Clasificándose como regular según la tabla de clasificación del coeficiente de variación del Instituto Nacional de Estadística de Chile (2016).

Cuadro N°18. Prueba de comparación de medias de Tukey del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

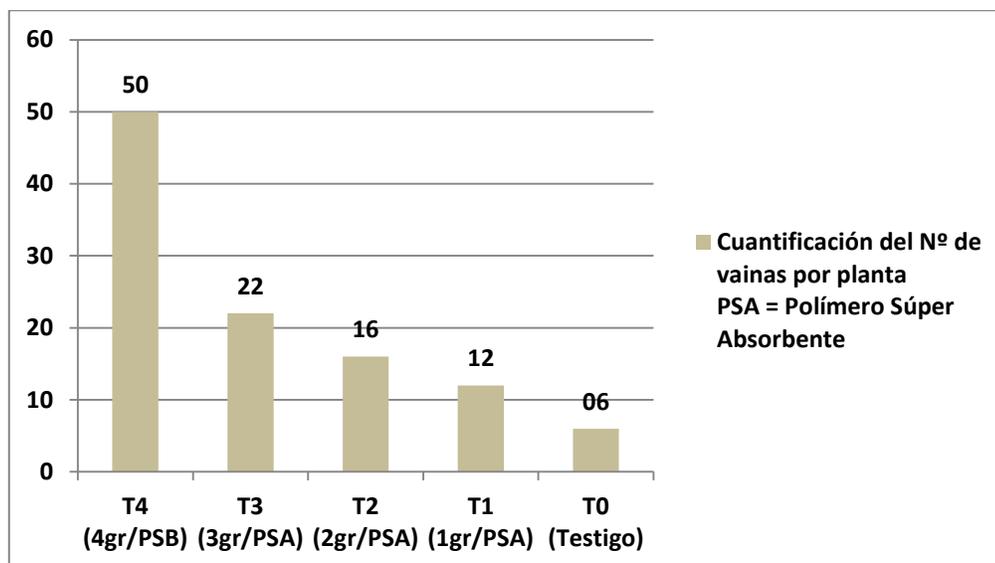
Tratamientos	Media	1%	5%
T4	50	a	a
T3	22	b	b
T2	16	bc	bc
T1	12	bc	cd
T0	06	c	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio al 1% nos indica que los tratamientos T0, T1 y T2 no difieren estadísticamente entre sí, la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T3 y T4.

Mientras que la prueba de comparación de medias de Tukey del número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio al 5% nos indica que los tratamientos T0, T1, T2 y T3 no difieren estadísticamente entre sí, la diferencia estadística es del tratamiento T4 frente a los demás tratamientos.

GRÁFICO N°2. Número de vainas por planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.



En el gráfico N°2 se puede observar al tratamiento testigo T0 como el tratamiento que presento menor número de vainas por planta con una cantidad promedio de 6 vainas, mientras que para los demás tratamiento T1, T2 y T3 oscilan en un rango promedio de entre 12 a 22 y el tratamiento T4 con mayor dosis de poliacrilato de potasio, supero a todos los tratamientos alcanzando un número de 50 vainas por planta en promedio.

Cuadro N°19. Clasificación de vainas por planta CIAT 1987.

Número de vainas por planta	Clasificación
1 - 5	Muy pobre
6 - 10	Pobre
11 - 15	Intermedia
16 - 20	Bueno
21 - 25	Muy bueno
26 <	Excelente

Fuente: Matute, 2013.

De acuerdo al CIAT (1987) mencionado por Matute (2013), presenta un cuadro de clasificación con escalas de número de vainas por planta en la cual se detalla lo siguiente

De acuerdo a la tabla proporcionada, se clasifico que el tratamiento T0 se encuentra dentro del rango de 6 – 10 clasificándolo en la escala de pobre debido a que llego a alcanzar 6 vainas planta. Mientras que los tratamientos T1 con 1gr/planta de polímero súper absorbente y T2 con 2gr/planta de polímero súper absorbente, llegaron a alcanzar e12 y 16 vainas plantas y se encuentran dentro del rango 11 – 15 y 16 – 20 vainas por planta clasificándolos dentro de la escala intermedia y buena.

Mientras que el tratamiento T3 con 3gr/ de polímero super absorbente alcanzó 22 vainas y se encuentra dentro del rango 21 – 25 vainas por planta clasificándolo dentro de la escala como muy bueno y por último el tratamiento T4 con 4gr/planta de polímero super absorbente logro alcanzar 50 vainas planta y se encuentra dentro del rango 26< clasificándolo dentro de la escala como excelente.

Matute, (2013). Obtuvo número de vainas por planta que oscila entre 12 a 40 vainas planta, esto según la variedad, el hábito de crecimiento del frijol y las condiciones climatológicas y edáficas.

4.2.3 Cuantificación del número de granos de germoplasma por vainas planta en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca.

En la cuantificación de la característica del número de granos de germoplasma por vainas planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se contaron los granos de germoplasma de las vainas de seis plantas por unidad experimental, las medias de las unidades experimentales se muestran en el siguiente cuadro y los datos de campo se los puede observar en el anexo N°13.

Cuadro N°20. Cuantificación del número de granos de germoplasma por vainas planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

ID	I	II	III	IV	Σ	X
T0	3	3	3	3	12	3
T1	4	3	3	3	13	3
T2	4	4	4	3	15	4
T3	4	4	4	4	16	4
T4	5	5	4	5	19	5

Cuadro N°21. Análisis de varianza del número granos de germoplasma por vainas planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabulada		Nivel de significancia
					1%	5%	
Tratamientos	4	7,5	1,875	13,2353	5,41	3,26	**
Bloques	3	0,55	0,18333	1,29412	5,95	3,49	n.s.
Error	12	1,7	0,14167				
Total	19	9,75					

Coefficiente de Variación: 10,04%

** = altamente significativo

n.s. = no significativo

De acuerdo al análisis de varianza realizado a los datos del número de granos de germoplasma por vainas planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca, podemos afirmar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, sin embargo la diferencia no es significativa entre los bloques.

El coeficiente de variación indica la variación de los datos de campo con relación a la media. En este caso el Coeficiente de Variación es de 10,04%. Clasificándose como bueno según la tabla de clasificación del coeficiente de variación del Instituto Nacional de Estadística de Chile (2016).

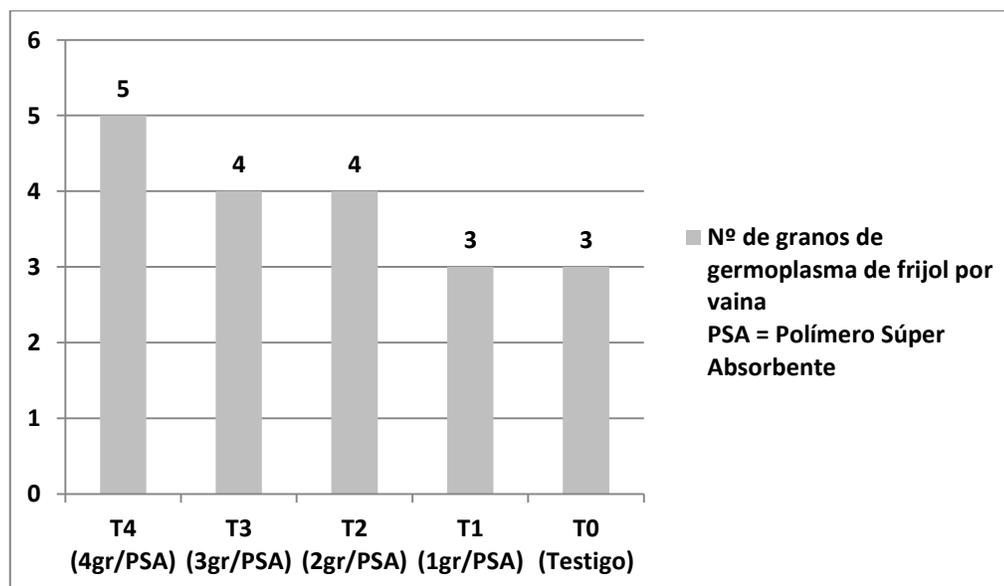
Cuadro N°22. Prueba de comparación de medias de Tukey del número granos de germoplasma por vainas planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Tratamientos	Media	1%	5%
T4	5	a	a
T3	4	ab	b
T2	4	bc	bc
T1	3	bc	cd
T0	3	bc	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey al 1% y 5% nos indica que los tratamientos T1, T2 y T3 no difieren estadísticamente entre sí, la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T0 y T4.

GRÁFICO N°3. Número de granos de germoplasma por vainas planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.



En el gráfico N°3 se puede observar a los tratamientos T0 (testigo), T1 (1gr/planta de

poliacrilato) , T2 (2gr/planta de polímero súper absorbente) y tratamientos T3 (3gr/planta de polímero súper absorbente) como los tratamientos que alcanzaron un número de granos de germoplasma por vainas planta similares con una cantidad promedio que oscila entre los 3 a 4 granos de germoplasma, mientras que para el tratamiento T4 (4gr/planta de polímero súper absorbente) logro alcanzar número de 5 granos de germoplasma por vainas planta.

Matute en su investigación del (2013), obtuvo número de granos por vaina en un rango de 3 a 6. En nuestra investigación se obtuvieron valores que oscilan entre 3 a 5 granos por vaina planta. Lo que se pudo evidenciar con relación a esta variable fue que mientras mayor es el número de granos por vaina, estos son más pequeños.

Respecto a los resultados obtenidos en el ensayo donde el número de granos/vaina se encuentran de entre 3 a 5 granos/vaina, similar a los obtenidos por Roca (2006), en la evaluación de cultivares de frijol con un promedio de 3 granos/vaina, pero inferiores a los encontrado por Padilla (1999), donde cuyo promedio fue de 6 granos/vaina, cultivares que se encuentran en la región de Santa Cruz.

Para Lamz *et al.*, (2017), en su investigación del comportamiento del número de granos por vainas de los 16 genotipos evaluados bajo condiciones de siembras tempranas, se puede apreciar que no obtuvo diferencias significativas los valores obtenidos oscilan de 4 – 6 granos por vaina.

En el cultivo del frijol, desarrollado en condiciones ambientales adversas, se puede afectar el desarrollo de las vainas y por consiguiente provocar malformaciones y afectarse el desarrollo del grano teniendo como consecuencia lo conocido en la literatura como vainas vanas (Lamz *et al.*, 2017).

Esto puede ser influenciado por la aparición de enfermedades, sobre todo, fungosas y

bacterianas que persisten en periodos donde se combinan altas temperaturas, alta humedad relativa y alta pluviometría. Para Bonilla (1990), citado por Aguilar (2015), los granos por vaina es una variable determinada por sus características genéticas que varía con las condiciones ambientales de cada región.

4.2.4 Evaluación del peso de los granos de germoplasma por vaina planta en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca

En la evaluación del peso de granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se pesaron los granos de germoplasma de las vainas de seis plantas por unidad experimental, las medias de las unidades experimentales se muestran en el siguiente cuadro y los datos de campo se los puede observar en el anexo N°14.

Cuadro N°23. Evaluación del peso de granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

ID	I	II	III	IV	Σ	X
T0	2,29	2,60	2,60	2,88	10,37	2,59
T1	3,59	3,37	3,05	3,18	13,19	3,30
T2	3,93	3,78	3,69	3,44	14,84	3,71
T3	2,69	2,85	2,62	2,78	10,94	2,74
T4	2,86	2,90	2,69	3,09	11,54	2,88

Cuadro N°24. Análisis de varianza del peso de granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabulada		Nivel de significancia
					1%	5%	
Tratamientos	4	3,32973	0,83243	20,4249	5,41	3,26	**
Bloques	3	0,08908	0,02969	0,72857	5,95	3,49	n.s.
Error	12	0,48907	0,04076				
Total	19	3,91					

Coefficiente de Variación: 6,63%

** = altamente significativo

n.s. = no significativo

De acuerdo al análisis de varianza realizado a los datos del peso de granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca, podemos afirmar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, sin embargo la diferencia no es significativa entre los bloques.

El coeficiente de variación nos indica la variación de los datos de campo con relación a la media. En este caso el Coeficiente de Variación es de 6,63%. Clasificándose como bueno según la tabla de clasificación del coeficiente de variación del Instituto Nacional de Estadística de Chile (2016).

Cuadro N°25. Prueba de comparación de medias de Tukey del peso de granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Tratamientos	Media	1%	5%
T2	3,71	a	a
T1	3,30	ab	ab
T4	2,88	bc	bc
T3	2,74	bc	c
T0	2,59	c	c

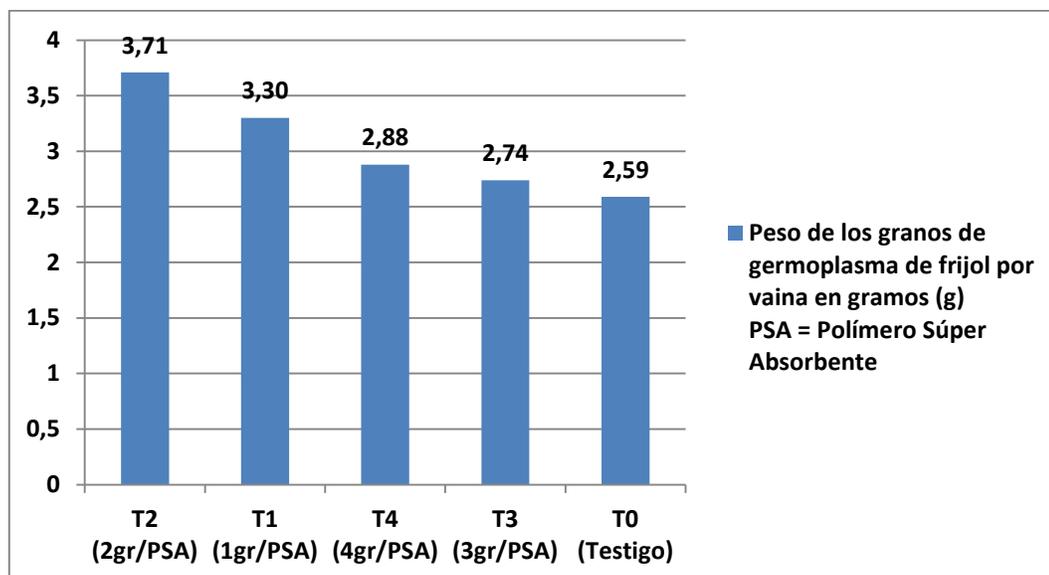
Medias con una letra común no son significativamente diferentes

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey del peso de granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio al 1% nos indica que los tratamientos T3 y T4 no difieren estadísticamente entre sí, al igual que el T4 y el T1., la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T2 y T0.

Mientras que la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% nos indica que los tratamientos T0, T3 y T4 no difieren estadísticamente entre sí como y también los

tratamientos T1 y T2 no difieren estadísticamente, la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T2 y T0.

GRÁFICO N°4. Peso de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca.



En el gráfico N°4 se puede observar al tratamiento testigo T0 como el tratamiento que presento el peso de granos de germoplasma por vaina planta más bajo con un valor promedio de 2,59g., mientras que para los demás tratamiento T3 y T4 oscilan en un rango promedio de entre 2,74 a 2,88g., de granos de germoplasma por vaina planta y los tratamientos T1 y T2 con baja dosis (1g y 2g/planta de PSA) de poliacrilato de potasio, supero a los demás tratamientos alcanzando un peso dentro del rango de ente 3,30 a 3,71g., por vaina planta.

Según Matute (2013), los resultados obtenidos dentro de su variable peso de los granos por vaina oscilan entre 2,06gr a 4, 12gr. este rango está relacionado al número de granos por vaina ya que en su investigación tiene valores de número de granos por vaina de 3,25 a 6,5 granos por vaina, mientras que en nuestro ensayo se obtuvo un número de granos por vaina de 3,03 a 4,47.

4.2.5 Evaluación de la longitud de los granos de germoplasma por vaina planta en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca

En la evaluación de la longitud de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se midieron su longitud y pesaron los granos de germoplasma de las vainas de seis plantas por unidad experimental, las medias de las unidades experimentales se muestran en el siguiente cuadro y los datos de campo se los puede observar en el anexo N°15.

Cuadro N°26. Evaluación de la longitud de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

ID	I	II	III	IV	Σ	X
T0	2,0	2,1	2,2	2,2	8,5	2,1
T1	2,6	2,6	2,7	2,5	10,4	2,6
T2	2,3	2,4	2,5	2,4	9,6	2,4
T3	2,1	2,1	2,1	2,1	8,4	2,1
T4	2,0	1,9	1,9	2,0	7,8	2,0

Cuadro N°27. Análisis de varianza de la longitud de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabulada		Nivel de significancia
					1%	5%	
Tratamientos	4	1,088	0,272	54,4	5,41	3,26	**
Bloques	3	0,0175	0,005833	1,166667	5,95	3,49	n.s.
Error	12	0,06	0,005				
Total	19	1,1655					

Coefficiente de Variación: 3,16%

** = altamente significativo

n.s. = no significativo

De acuerdo al análisis de varianza realizado a los datos del peso de los granos de

germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio podemos afirmar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, mientras que entre los bloques la diferencia no es significativa.

El coeficiente de variación nos demuestra la confiabilidad de los datos, ya que la dispersión de los datos con relación a la media es de 3,16%. Por lo que se procede a aplicar la prueba de comparación de medias.

Cuadro N°28. Prueba de comparación de medias de Tukey de la longitud de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

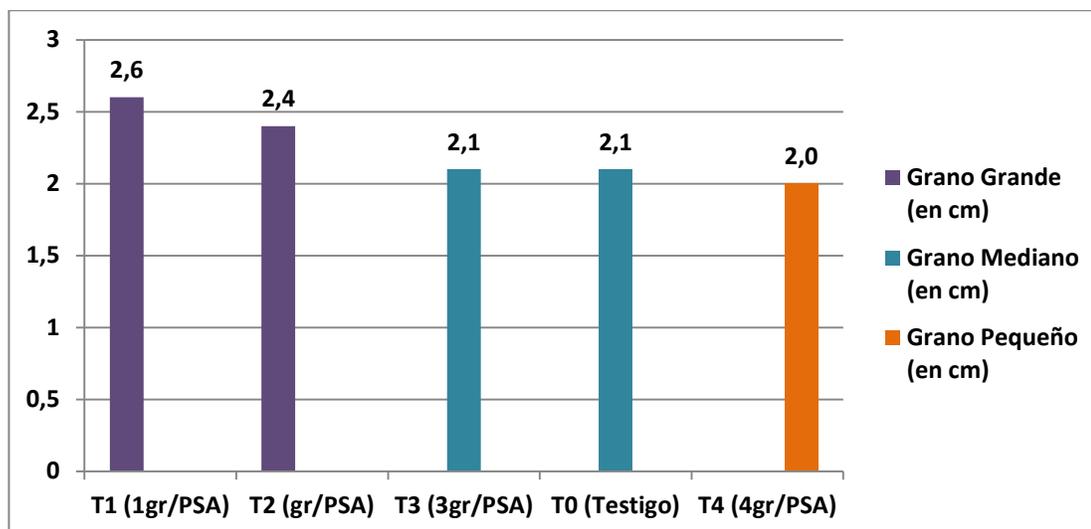
Tratamientos	Media	1%	5%
T1	2,6	a	a
T2	2,4	a	b
T3	2,1	b	c
T0	2,1	b	cd
T4	2,0	b	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey de la longitud de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio al 1% nos indica que los tratamientos T1 (1gr/PSA) y el T2 (2gr/PSA) no difieren estadísticamente entre sí al igual que los tratamientos T3(3gr/PSA), T0 (Testigo) y T4(4gr/PSA)

Mientras que la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, nos indica que los tratamientos T3 (3gr/PSA) y T0 no difieren estadísticamente entre sí, la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T1(1gr/PSA), T2 (2gr/PSA) y T4 T4(4gr/PSA).

GRÁFICO N°5. Longitud de los granos de germoplasma por vaina planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.



En el gráfico N°5 se puede observar al tratamiento T4 con dosis de poliacrilato de potasio de 4gramos por planta, obtuvo un valor de longitud de grano de germoplasma de 2,0cm clasificado como grano de germoplasma pequeño.

Mientras que los tratamientos T0 (testigo) y T3 con 3gramos de poliacrilato de potasio por planta obtuvieron valores dentro del rango 2,10cm y 2,12cm de longitud del grano de germoplasma clasificándolos como granos de germoplasma medianos.

Por otro lado los tratamientos T1 y T2 con dosis de poliacrilato de potasio de 1gramo y 2gramos por planta lograron conseguir longitudes de granos de germoplasma de entre 2,6cm y 2,4cm se clasifican como granos de germoplasma grandes.

Según la clasificación que realiza Voysest (2000), con relación al tamaño de los granos de frijol, este autor relaciona el peso de 100granos y según el peso que llegan a obtener los clasifica de la siguiente manera: para pesos de 100 granos que llegan alcanzar 25 gramos los clasifica como granos pequeños, para los 100 granos que lleguen a alcanza un peso dentro del rango de 26 – 40 gramos los clasifica como

medianos y para los 100 granos de frijol que lleguen y sobrepasen los 40 gramos los clasifica como grandes. El cultivo de frijol, desarrollado en condiciones ambientales adversas, se puede afectar el desarrollo de las vainas y el desarrollo del grano teniendo como consecuencia lo conocido en la literatura como vainas vanas.

4.2.6 Características climatológicas bajo las cuales se desarrolló el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Chocloca.

Los factores climatológicos son determinantes en el desarrollo de un cultivo, estos deben proporcionar a las plantas las condiciones óptimas para su desarrollo, alguna variación de los factores climatológicos puede resultar como una limitante para el desarrollo. A continuación se muestra el cuadro de factores climatológicos de la zona.

Cuadro N° 29. Reporte de media de datos climatológicos desde el año 1975 al 2017 en la Comunidad de Chocloca.

DATOS CLIMATOLÓGICOS						
Mes	T° Max °C	T° Min °C	Horas sol (Hrs)	Precipitación (m.m.)	H.R. %	Velocidad viento (m/s)
Sep	26,75	7,40	9,50	23,75	52	2,96
Oct	27,75	11,65	8,50	79,00	56	1,85
Nov	27,40	13,05	8,00	62,60	31	2,56
Dic	27,95	14,45	7,50	71,05	65	2,18
Ene	27,60	14,65	7,50	108,25	68	2,03
Media	27,49	12,24			54,4	2,32
Acumulada			41,00	344,65		

Fuente: SENAMHI TARIJA 2018.

Según los datos del lugar, se tiene valores de las temperaturas máximas 2°C por encima de la óptimas requerida por el cultivo y en las temperaturas mínimas, 4°C por debajo de la mínima óptima requerida por el cultivo. De acuerdo al manual de producción del frijol de USAID (2013), el cultivo del frijol requiere temperaturas entre 16° y 25°C.

4.3 Comparación de los rendimientos del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro tratamientos de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca

Con los datos de campo obtenidos de las variables número de granos por vaina planta y peso de granos por vaina planta se estimó la producción en Kg/ha y qq/ha tomado en cuenta que 1qq es equivalente a 100libras que equivalen a 48,95Kg, bajo estos valores se procedió a hacer la conversión de unidades de cada tratamiento como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°30. Evaluación del rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio a nivel ensayo.

ID	I	II	III	IV	Σ	X
T0	46,17	40,77	29,12	25,80	141,86	35,46
T1	80,42	90,59	81,98	85,48	338,46	84,62
T2	140,85	152,41	107,45	138,70	539,41	134,85
T3	126,54	134,06	134,06	137,00	532,58	133,15
T4	358,76	259,84	325,38	332,24	1276,22	319,05

Cuadro N°31 Análisis de varianza del rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

Factor de Variación	GL	SC	CM	Fc	F tabulada		Nivel de significancia
					1%	5%	
Tratamientos	4	184490,56	46122,64	92,009	5,41	3,26	**
Bloques	3	788,65	262,88	0,524	5,95	3,49	n.s.
Error	12	6015,39	501,28				
Total	19	191294,6					

Coefficiente de Variación: 15,84%

** = altamente significativo

n.s. = no significativo

De acuerdo al análisis de varianza realizado a los datos del rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio podemos

afirmar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, mientras que entre los bloques la diferencia no es significativa.

El coeficiente de variación nos demuestra la confiabilidad de los datos, la dispersión de los datos con relación a la media es de 15,84%. Clasificándose como regular según la tabla de clasificación del coeficiente de variación del Instituto Nacional de Estadística de Chile (2016).

Cuadro N°32. Prueba de comparación de medias de Tukey del rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio.

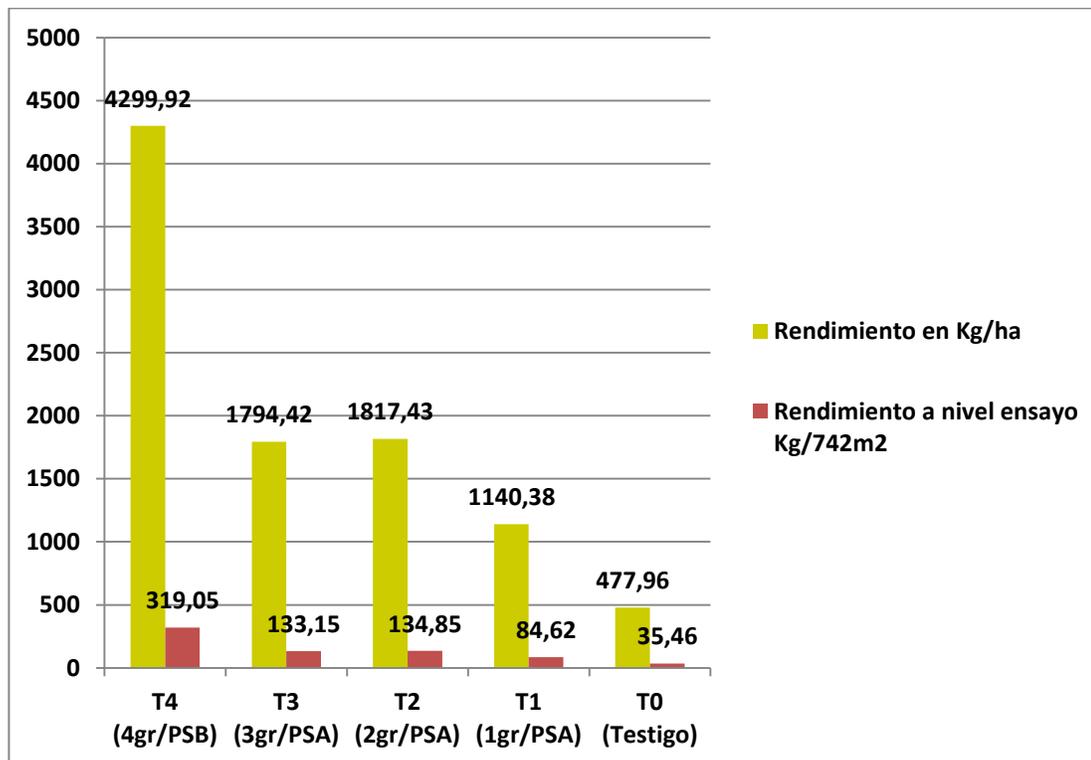
Tratamientos	Media	1%	5%
T4	319,05	a	a
T2	134,85	b	b
T3	133,15	b	b
T1	84,62	bc	bc
T0	35,46	c	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey del rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio al 1% nos indica que los tratamientos T4 (4gr/PSA) y el T0 (testigo) difieren estadísticamente entre sí, sin embargo los tratamientos T3 (3gr/PSA), T2 (2gr/PSA) y T1(1gr/PSA) no difieren estadísticamente.

Mientras que la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, nos indica que los tratamientos T2 (2gr/PSA) y T3 (3gr/PSA) no difieren estadísticamente entre sí, la diferencia estadística se encuentra entre los tratamiento T4 (4gr/PSA), T1 (1gr/PSA) y T0 (testigo).

GRÁFICO N°6. Promedio de rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) expresado en Kg/ha bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca.



En el gráfico N|6, podemos observar el rendimiento expresado en Kg/ha nos indican que para el T0 (Testigo) alcanzo un rendimiento de 477,96Kg/ha de granos de germoplasma de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), seguido del tratamiento T1 (30,3kg PSA/ha) alcanzando un rendimiento de 1140,38Kg/ha., de granos de germoplasma de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Mientras que para los tratamientos T2 con (60,6 Kg PSA/ha) y tratamiento T3 con (90,3Kg PSA/ha) alcanzaron rendimientos similares de 1817,43Kg/ha y 1794,42Kg/ha., de granos de germoplasma de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), y el tratamiento T4 (120,62 Kg PSA/ha) logrando superar a los demás tratamientos con un rendimiento de 4299,92Kg/ha de granos de germoplasma de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Cuadro N°33 Promedio de rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el Centro Experimental Chocloca.

ID	Kg/742m²	Kg/ha	ton/ha	qq/ha
T0	35,46	477,96	0,48	9,76
T1	84,62	1140,38	1,14	23,30
T2	134,85	1817,43	1,82	37,13
T3	133,15	1794,42	1,80	36,66
T4	319,05	4299,92	4,30	87,84

Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la comparación de los tratamientos en relación a su rendimiento por unidad experimental oscilan desde los 35,46Kg para el tratamiento testigo T0, hasta 319,05Kg para el tratamiento T4 con dosis de 4gramos de poliacrilato de potasio por planta en 742m².

Este rendimiento a nivel unidad experimental fue expresado en ton/ha donde para el tratamiento T0 (testigo) alcanzo un rendimiento de 0,48ton/ha., mientras que para el tratamientos T1 (1gr/PSA por) se logró alcanzar un rendimiento de 1,14ton/ha y para los tratamientos T2 (2gr/PSA) y T3 (3gr/PSA) alcanzaron rendimientos de 1,82 – 1,80 ton/ha, el T4 (4gr/PSA) supero a todos con un rendimiento de 4,30ton/ha.

4.4 Determinación de la rentabilidad del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental de Chocloca

En la determinación de la rentabilidad del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en los cuatro tratamientos de poliacrilato de potasio y su tratamiento testigo, se realizó a nivel de la superficie del ensayo y también para una hectárea, para ello se elaboraron su respectiva hoja de costo de producción para

cada tratamiento expresado a nivel de ensayo y expresado para una hectárea, donde se estimó el ingreso bruto, el beneficio y hacer la relación beneficio costo.

4.4.1 Análisis económico Beneficio/Costo del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a nivel de ensayo en el Centro Experimental de Chocloca

El análisis económico se realizó mediante la hoja de costos de producción a nivel ensayo que se muestran en el anexo N°17 al anexo N°21, el ingreso bruto de determino a través de la venta por kilogramo de frijol en el mercado, el beneficio se obtuvo de la diferencia del ingreso bruto menos el costo de producción para luego determinar la relación beneficio/costo como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°34. Análisis económico B/C para determinar la rentabilidad del uso de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a nivel de ensayo en el centro experimental Chocloca.

ID	Rendimiento Kg/742m ²	Precio de venta en Bs. por Kg	Ingreso Bruto en Bs./742m ²	Costo de Producción en Bs./742m ²	Beneficio en Bs./742m ²	Relación B/C
T0	35,46	12	425,52	2403,12	-1977,6	-0,82
T1	84,62	12	1015,44	2520,21	-1504,8	-0,60
T2	134,85	12	1618,20	3739,40	-2121,2	-0,57
T3	133,15	12	1597,80	3855,83	-2258,03	-0,58
T4	319,05	12	3828,60	4026,11	-197,51	0,05

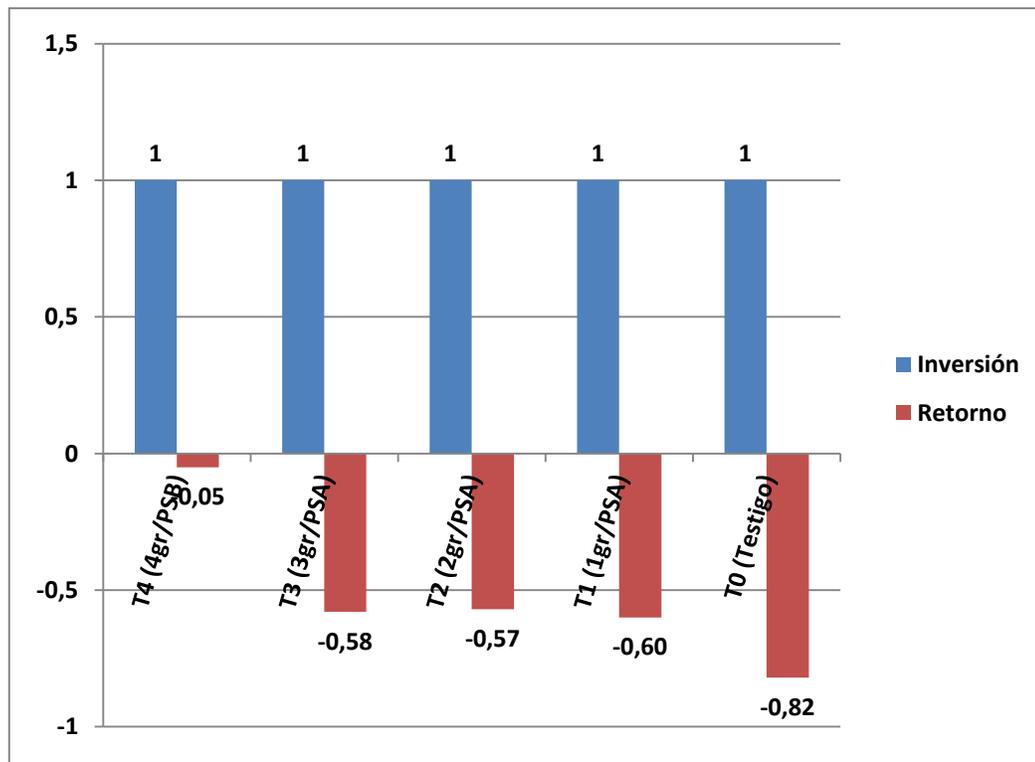
Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla de análisis económico para determinar la rentabilidad de los tratamientos a nivel de ensayo (945,50m²), podemos concluir que en el caso de los tratamientos T0 (tratamiento testigo), T1 (1gr/planta), T2 (2gr/planta) y T3 (3gr/planta) se obtiene una relación beneficio/costo negativa y que se encuentra por

debajo del valor uno (1,00) e incluso debajo del valor cero (0,00) por lo que se puede determinar que dichos tratamiento no son rentables en una superficie igual a la superficie del ensayo.

En el caso del tratamiento T4 (4gr/planta) la relación beneficio/costo es de 0,23 por lo que se puede determinar que tampoco es rentable ya que la relación beneficio/costo no supera la unidad (valor 1,00).

GRÁFICO N°7. Relación B/C del uso de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a nivel de ensayo en el centro experimental Chocloca.



Para los tratamientos T0 (testigo), T1 (1gr/planta), T2 (2gr/planta), T3 (3gr/planta) y T4 (4gr/planta) los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor cero (0,00) lo que nos indica que por cada 1Bs invertido en los tratamiento mencionados se pierde de 0,05 centavos a 0,82 centavos de Boliviano.

4.4.2 Análisis económico Beneficio/Costo del uso del poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) expresado en Kg/ha

El análisis económico se realizó mediante la hoja de costos de producción expresado en Kg/ha que se muestran en el anexo N°22 al anexo N°26, el ingreso bruto de determino a través de la venta por kilogramo de frijol en el mercado, el beneficio se obtuvo de la diferencia del ingreso bruto menos el costo de producción para luego determinar la relación beneficio/costo como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°35. Análisis económico B/C para determinar la rentabilidad del uso de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el centro experimental Chocloca.

ID	Rendimiento Kg/ha	Precio de venta en Bs. por Kg	Ingreso Bruto en Bs./ha	Costo de Producción en Bs./ha	Beneficio en Bs./ha	Relación B/C
T0	477,96	12	5735,52	9619,50	-3883,98	-0,40
T1	1140,38	12	13684,56	12904,60	779,96	0,06
T2	1817,43	12	21809,16	15004,00	6805,16	0,45
T3	1794,42	12	21533,04	17093,77	4439,27	0,26
T4	4299,92	12	51599,04	19528,10	32070,94	1,64

Elaboración propia.

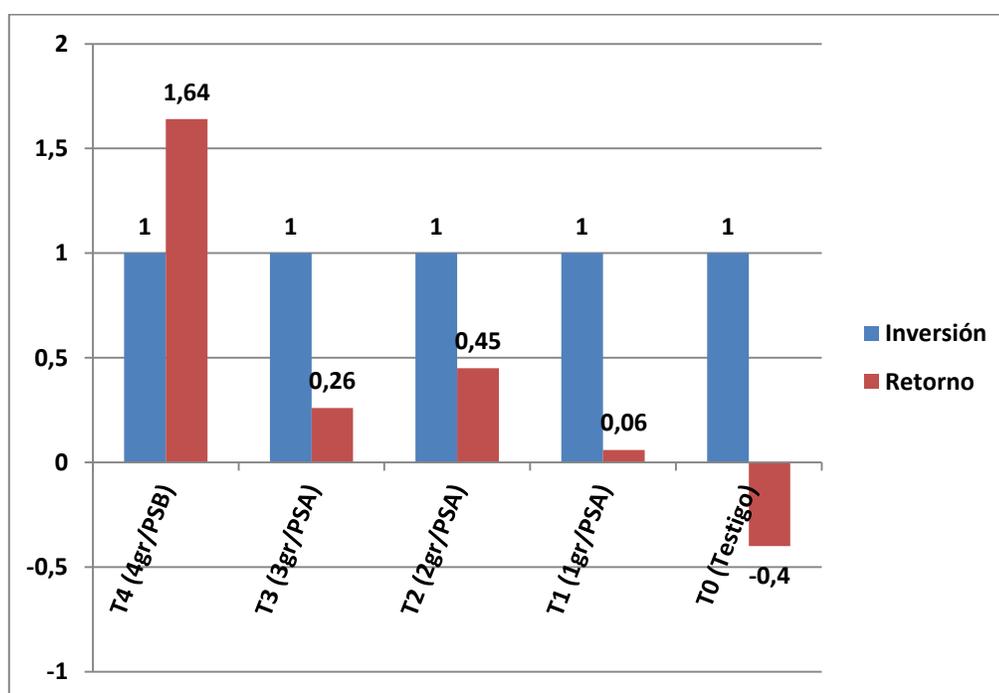
De acuerdo a la tabla de análisis económico para determinar la rentabilidad de los tratamientos, podemos concluir que en el caso del tratamiento testigo T0 se obtiene una relación beneficio/costo negativa y que se encuentra muy por debajo del valor uno (1,00) e incluso debajo del valor cero (0,00) por lo que se puede determinar que dicho tratamiento no es rentable ya que tiene un déficit de 3883,98Bs/ha.

Mientras que para los tratamientos T1 (30,3Kg/ha de poliacrilato de potasio), T2 (60,65Kg/ha de poliacrilato de potasio) y T3 (90,30Kg/ha de poliacrilato de potasio) obtuvieron valores en la relación beneficio/costo de 0,06; 0,45 y 0,026., todos por

debajo del valor de la unidad (1,00) por lo que se puede determinar que dichos tratamientos no son rentables.

El tratamiento T4 (120,62Kg/ha de poliacrilato de potasio) alcanzo una relación beneficio/costo de 1,64 superando la unidad (1,00), lo que lo hace rentable y viable.

GRÁFICO N°8. Relación B/C del uso de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) expresado en Kg/ha en el Centro Experimental Chocloca.



Para los tratamientos T0 (testigo) la relación beneficio/costo alcanzo un valor de -0,4 por debajo de cero (0,00), por lo que se puede afirmar que no es rentable el tratamiento testigo. Mientras que para los tratamientos T1 (30,3 Kg/ha de poliacrilato de potasio), T2 (60,65 Kg/ha de poliacrilato de potasio) y T3 (90,30 Kg/ha de poliacrilato de potasio) alcanzaron una relación beneficio/costo de entre 0,11; 0,43 y 0,28., los valores de retorno se encuentran por debajo de la unidad (1,00) por lo que se puede determinar que tampoco son rentables.

Mientras que para el tratamiento T4 (120,62 Kg/ha de poliacrilato de potasio) alcanzó un valor beneficio/costo de 1,67 logrando superar el valor de la unidad (1,00) por lo que se puede determinar que el tratamiento T4 si es rentable en una superficie de una hectárea.

Con respecto al análisis económico Arismendi (2017), obtuvo valores de relación beneficio/costo entre el rango de 0,55 a 1,35 dentro de los cuales se destacan tres tratamientos con viabilidad y rentabilidad con un B/C de 1,09; 1,01 y 1,35. Por otro lado Sinka (2011), consiguió lograr valores de relación B/C dentro de un rango de 0,69 a 2,16 dentro de sus tratamientos la variedad que más se asemeja a la variedad blanquizcal objeto de estudio, es el Blanco Otebo cuyo valor de B/C alcanzo un valor de 0,93.

El precio que se consideró para la venta por kilogramo de frijol blanquizcal es de 12Bs./Kg considerando que es una variedad que recientemente se está posicionando en el mercado a comparación de otras variedades que ya son comunes, Para Ortubé (1998), mencionado por Siska, (2011), el precio del ha mejorado durante los últimos años (10bs/Kg), debido a que actualmente se exporta y que el consumo interno ha incrementado de manera ínfima debido a la crisis económica que atraviesa nuestro país y su calidad nutritiva.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ Dentro de los parámetros físicos del suelo que tienen una relación con el almacenamiento del agua se puede evidenciar que presenta limitantes para el desarrollo de la raíz por su densidad aparente y una textura franco arcillosa, los parámetros que miden el contenido de humedad del suelo como ser la Capacidad de Campo y su Punto de marchitamiento permanente nos permitió demostrar que sí existe una diferencia entre las frecuencias de riego de los tratamientos con poliacrilato de potasio frente al tratamiento testigo. Reduciendo las frecuencias de riego desde 2 a 3 días de los tratamientos T1, T2 y T3 frente al testigo y de 4 días entre el testigo T0 frente al tratamiento T4.
- ❖ Con respecto a las características agronómicas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. *blanquizcal*) que se evaluaron se determina que el tratamiento T4 con mayor dosis de poliacrilato obtuvo la mayor altura de planta desde la nacencia a la cosecha, alcanzando una longitud de 317,1cm frente a los demás tratamientos superando al tratamiento testigo con más de 161,0cm de longitud.
- ❖ Para la característica agronómica número de vainas por planta de igual manera los tratamientos con poliacrilato de potasio pudieron superar al tratamiento testigo aunque no haya existido diferencia estadística entre los tratamientos T0, T1, T2, T3, pero si hubo diferencia estadística en el T4 llegando a alcanzar un número de 50 vainas por planta promedio mientras que el tratamiento testigo sólo logro alcanzar 6 vainas por planta en promedio.
- ❖ Dentro de la característica agronómica número de granos por vaina planta que se evaluó no se obtuvieron diferencias estadísticas entre tratamiento sin embargo se

pudo evidenciar que el tratamiento testigo T0 obtuvo 3 granos por vainas planta en promedio, mientras que el tratamiento T4 con mayor dosis de poliacrilato de potasio y mayor lamina de riego obtuvo 5 granos por vaina planta en promedio.

- ❖ Con relación a la característica agronómica peso de granos por vaina planta evaluado se pudo determinar que el conjuntos de granos que se encontraron en una vaina no presentaron diferencia estadística entre los tratamientos T0, T3 y T4 logrando alcanzar valores dentro del rango 2,59gr a 2,88gr, mientras que los tratamientos T1 y T2 alcanzaron pesos de granos por vaina entre 3,30gr y 3,71gr en promedio.
- ❖ Dentro de la característica agronómica longitud de los granos por vaina planta se pudo evidenciar que el tratamiento T4 fue el que menor longitud de sus granos alcanzó con un valor de 2cm, mientras que entre los tratamientos T0 y T3 no hubo diferencia estadística al alcanzar valores casi similares de entre 2,1cm y 2,1cm de longitud de sus granos mientras que el tratamiento T2 alcanzó una longitud de grano de 2,4cm posicionándose como el segundo mejor tratamiento dentro de esta variable y en primer lugar lo obtuvo el tratamiento T1 con una longitud de 2,6cm.
- ❖ Con respecto a la variable rendimiento de los tratamientos, se obtuvieron valores muy bajos de 0,47ton/ha para el tratamiento T0 y de 1,20 ton/ha para el tratamiento T1, mientras que los tratamientos T2 alcanzó un rendimiento de 1,79ton/ha y el tratamiento T3 alcanzó un rendimiento de 1,82ton/ha, siendo el tratamiento T4 el que logró alcanzar un rendimiento promedio de 4,35 ton/ha superando significativamente a los demás tratamientos.
- ❖ En la determinación de la rentabilidad de los tratamientos se pudo observar que el tratamiento T4 con mayor dosis de poliacrilato de potasio fue el que logró alcanzar la rentabilidad con una relación B/C de 1,64. Los tratamientos restantes

no superaron un valor al 0,5 en la relación B/C expresados en hectáreas, mientras que el beneficio costo expresado a nivel de ensayo ninguno logró ser rentable por lo que se puede determinar que no son viables.

5.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Para obtener rendimiento que se asemejen a los estándares de producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.var. *blanquizcal*) sin hacer uso del poliacrilato de potasio se recomienda sembrar en suelos livianos, con bastante contenido de **M.O.**, disponer constantemente de agua para riego ya que la evapotranspiración de referencia de la zona es bastante elevada en los meses de septiembre a noviembre.
- ❖ De cierta forma el uso del poliacrilato de potasio causó efectos sobre las características agronómicas del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.var. *blanquizcal*), se recomienda hacer uso de las dosis estudiadas según las características agronómicas que se quieran alcanzar, en especial si lo que se busca obtener son granos más alargados que en algún mercado puedan alcanzar mayor precio de venta, se recomienda usar dosis de entre 30,3 a 60,65 Kg/ha de poliacrilato de potasio.
- ❖ En el caso de hacer el uso del poliacrilato de potasio para la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. *blanquizcal*), se recomienda hacer una amortización al costo del producto debido a su elevado precio en el mercado, de esta manera se podrán obtener relaciones B/C rentables en especial si se emplea la dosis del tratamiento T4 de 120,62 Kg/ha de poliacrilato de potasio, que fue la que mejor tratamiento en rendimiento alcanzó pese a las limitaciones de algunas propiedades edáficas.
- ❖ Debido a los efectos positivos de uso del poliacrilato de potasio en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. *blanquizcal*) tanto en las características

agronómicas de producción y como medida para contrarrestar uno de los efectos del cambio climático como es la sequía se recomienda seguir investigando en otras variedades de frijol y también en otro tipos de cultivos anuales, bianuales, perennes, carosos y de pepita.

- ❖ Para obtener un rendimiento óptimo y rentable en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) usando el poliacrilato de potasio, se recomienda usar una dosis de 120,62Kg/ha de poliacrilato de potasio bajo condiciones de pH del suelo neutro y cubriendo su requerimiento nutricional.