

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) var.
MOLINERO PLV 1-3 CON FERTILIZACIÓN FOSFO-
POTÁSICA Y CEPAS DE *Rhizobium* sp. EN LA
MOLINA”**

Presentado por:

ANGELA KARINA VILCHEZ MELO

Tesis para Optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima – Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) var.
MOLINERO PLV 1-3 CON FERTILIZACIÓN FOSFO-
POTÁSICA Y CEPAS DE *Rhizobium sp.* EN LA
MOLINA”**

Presentado por:

ANGELA KARINA VILCHEZ MELO

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

**Ing. Mg.Sc. Luis Tomassini Vidal
PRESIDENTE**

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

**Dr. Oscar Loli Figueroa
MIEMBRO**

**Dra. Doris Zuñiga Dávila
MIEMBRO**

**LIMA – PERÚ
2015**

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, por ser mi fuente de vida y luz en mi existencia.

A Carmen mi madre por ser lo más lindo de mi vida, por ser un ejemplo de abnegación, lucha constante, fuerza, sacrificio y amor, por ser mi amiga incondicional que nunca me falla a quien debo todo lo que soy, con mucho cariño y gratitud.

A Juan mi padre por su cariño y toda la ayuda que me brindó en esta etapa universitaria para culminar uno de los proyectos más importantes de mi vida.

A mi abuelo Abencio, por su cariño y palabras de aliento en todo momento.

A mis tíos Alcides y Juanita por ser mis segundos padres, crecer junto a ellos ha sido una experiencia que no cambiaría por nada del mundo, siempre llevo conmigo sus consejos.

A mis hermanos Martín Felipe y Juan Carlos, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión a quienes quiero y estimo demasiado.

A mis sobrinos Julián Arturo y Martín Alonso, por alegrar mi vida, los adoro.

AGRADECIMIENTO

- A la Ing. Mg. Sc. Amelia Huaranga Joaquín, patrocinadora de la presente tesis por su orientación constante e invaluable apoyo en la ejecución y culminación del presente trabajo.
- A los miembros del jurado:

Dr. Oscar Loli Figueroa, la Dra. Doris Zúñiga Dávila y al Ing. Luis Tomassini Vidal, por las recomendaciones y sugerencias hechas en la elaboración del presente trabajo y mostrándose siempre disponibles y atentos en lo que necesitara para la culminación de la presente tesis.
- Al personal del programa de Leguminosas por su desinteresada colaboración en el desarrollo del presente trabajo, en especial a Maritza.
- Al personal de la biblioteca de la UNALM, en forma muy especial al Sr. Mario Jaulis y Sr. Delfín Huarcaya por las facilidades y ayuda brindada en el desarrollo de la tesis.
- Llegue también mi gratitud especialmente a Karina Cayao por apoyarme siempre y estar conmigo en las buenas y malas, lo más importante por esa amistad incondicional y verdadera. Así mismo a mis amigos, amigas y a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a que se culmine la presente tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El frijol	3
2.1.1 Origen y taxonomía	3
2.1.2 Importancia y situación actual del frijol	4
2.2 Exigencias del cultivo	5
2.2.1 Clima y suelo	5
2.2.2 Salinidad	5
2.2.3 Fertilización	5
2.3 Efecto de la fertilización nitrogenada-fosforada-potásica	6
2.3.1 Nitrógeno	6
2.3.2 Fósforo	8
2.3.3 Potasio	11
2.4 Bacterias fijadoras de nitrógeno: <i>Rhizobium sp.</i>	12
2.5 Antecedentes de estudios del efecto de la fertilización en la simbiosis en frijol	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Ubicación del experimento	21
3.2 Parámetros meteorológicos	21
3.3 Análisis de suelo	23
3.4 Materiales utilizados en el experimento	23
3.4.1 Variedad	23
3.4.2 Inoculante	25
3.4.3 Fertilizantes químicos utilizados: N, P, K.	25
3.5 Tratamientos en estudio	26
3.6 Metodología	27
3.7 Instalación y conducción del experimento	28

3.7.1	Preparación del terreno	28
3.7.2	Preparación de la semilla	28
3.7.3	Inoculación de semillas	28
3.7.4	Siembra	29
3.7.5	Desahije	29
3.7.6	Riego	29
3.7.7	Control de maleza	29
3.7.8	Fertilización	29
3.7.9	Control fitosanitario	29
3.7.10	Cosecha	30
3.8	Parámetros evaluados durante el experimento	30
3.8.1	Rendimiento y sus componentes	30
3.8.2	Características de nodulación	32
3.9	Análisis estadístico	33
3.9.1	Diseño experimental	33
3.9.2	Características de la parcela experimental	34
3.9.3	Croquis de la parcela experimental	35
3.9.4	Tratamiento estadístico	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	Rendimiento y sus componentes	36
4.2	Características de nodulación	57
4.3	Análisis de correlación lineal entre el rendimiento y los parámetros evaluados en frijol var. Molinero PLV 1-3	68
4.4	Análisis económico	70
V.	CONCLUSIONES	72
VI.	RECOMENDACIONES	73
VII.	LITERATURA CONSULTADA	74
	ANEXOS	80

ÍNDICE DE CUADROS

N°		Pág.
1	Descripción del número de nódulos según CIAT – 1988.	15
2	Descripción del tamaño de nódulos según CIAT – 1988.	15
3	Descripción del color interno predominante de los nódulos según CIAT – 1988.	15
4	Datos meteorológicos para el distrito de La Molina, registrados durante el período de junio a noviembre del 2008 en “Campo Libres 2” en el ensayo del frijol Canario var. Molinero PLV 1-3.	22
5	Resultados del análisis de caracterización del suelo.	24
6	Datos obtenidos a nivel de laboratorio de las cepas de <i>Rhizobium</i> aislados de tres variedades de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).	25
7	Descripción de los tratamientos en estudio.	26
8	Prueba Duncan en el rendimiento (kg/ha) del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	37
9	Prueba Duncan del número de vainas en frijol var. Molinero PLV 1-3.	42
10	Prueba Duncan del número de granos/vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	44
11	Prueba Duncan del número de lóculos/vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	46
12	Prueba Duncan del peso 100 semillas del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	47
13	Prueba Duncan del índice de cosecha del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	49
14	Prueba Duncan de la altura de planta (cm) del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	50
15	Prueba Duncan del número de ramas por planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	52
16	Prueba Duncan de la longitud de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	53
17	Prueba Duncan del ancho de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	54
18	Prueba Duncan de las variables evaluadas del rendimiento y sus componentes del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.	56

19	Prueba Duncan de altura de planta – nodulación del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	57
20	Prueba Duncan del peso fresco de la planta frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	59
21	Prueba Duncan del peso seco de la planta frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	60
22	Prueba Duncan números de nódulos del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	61
23	Tamaño de los nódulos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.	64
24	Coloración y nódulos efectivos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.	65
25	Posición de los nódulos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.	66
26	Forma de los nódulos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.	66
27	Prueba de Duncan de las variables evaluadas de las características de nodulación del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.	67
28	Coefficiente de correlación lineal y coeficiente de determinación entre el rendimiento y los parámetros evaluados en frijol variedad Molinero PLV 1-3.	69
29	Coefficiente de correlación lineal y Coeficiente de determinación a los días después de la floración evaluados en frijol variedad Molinero PLV 1-3.	69
30	Coefficiente de correlación lineal y Coeficiente de determinación entre los promedios de rendimiento y características de los nódulos evaluados en frijol variedad Molinero PLV 1-3.	69
31	Análisis económico y de rentabilidad de los tratamientos del frijol canario var. Molinero PLV 1-3 evaluado en condiciones de La Molina.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

N°		Pág.
1	Croquis del experimento.	35
2	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el rendimiento del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	41
3	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el número de vainas/ planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	43
4	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el número de granos/vainas del frijol var. Molinero PLV 1-3.	45
5	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el número de lóculos/vainas del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	46
6	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el peso 100 semillas del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	48
7	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el índice de cosecha del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	49
8	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en altura de planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	51
9	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el número de ramas por planta var. Molinero PLV 1-3.	52
10	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en la longitud de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	53
11	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en el ancho de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	55
12	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica en altura de planta – nodulación del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	58
13	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica del peso fresco de la planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.	59
14	Efecto de la inoculación de dos cepas de <i>Rhizobium</i> y fertilización fosfo – potásica del peso seco de la planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3	60

15 Efecto de la inoculación de dos cepas de *Rhizobium* y fertilización fosfo – potásica del número de nódulos del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

63

ÍNDICE DE ANEXOS

N°		Pág.
1	Resultado del promedio, análisis de variancia y cuadrados medios para las variables del rendimiento y sus componentes del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.	81
2	Resultado del promedio, análisis de variancia y cuadrados medios para las variables del rendimiento y sus características de la planta de frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.	82
3	Resultado del promedio, análisis de variancia y cuadrados medios para las variables del rendimiento y las características de nodulación del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.	83
4	Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV 1-3 con inoculación de cepas de <i>Rhizobium sp.</i> expresado en soles.	84
5	Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV 1-3 con fertilización completa NPK, PK y N expresado en soles.	85
6	Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV 1-3 del tratamiento testigo expresado en soles.	86
7	Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV 1-3 con fertilización PK y cepas de <i>Rhizobium sp.</i> expresado en soles.	87

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional Agraria La Molina “Campo Libre 2” durante los meses de Junio a Noviembre del 2008, con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización fosfo-potásica y de la inoculación de *Rhizobium sp.* en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) var. Molinero PLV 1-3. El diseño experimental empleado fue el de Bloques Completos al Azar (DBCA) con ocho tratamientos, los cuales fueron: T1 (Cepa E-10), T2 (Cepa E-10 PK), T3 (Cepa E-14), T4 (Cepa E-14 PK), T5 (NPK), T6 (Testigo), T7 (PK) y T8 (N⁺) y tres repeticiones. Se hizo el análisis de varianza y la prueba de comparaciones de medias Tukey, con un nivel de significación 0.05, con el programa de análisis estadístico SAS (versión 8). Se evaluaron el rendimiento de grano seco, sus componentes y características de nodulación. Encontrándose diferencias significativas en los tratamientos estudiados para los caracteres vainas/planta, granos/vaina, número de lóculos, ramas y peso de cien semillas. Y no se encontró diferencias significativas en los tratamientos para índice de cosecha, altura de planta, longitud y ancho de vaina. Para los rendimientos de grano seco var. Molinero PLV 1-3 no se halló diferencias significativas para los tratamientos evaluados, siendo el tratamiento T5 (NPK) con el mayor rendimiento de 2 858 Kg/ha, seguido de los tratamientos T4 (Cepa E-14 PK) con 2 746 y el tratamiento T2 (Cepa E-10 PK) con 2 676 Kg/ha superiores a los tratamientos T3 (Cepa E-14), T7 (PK), T8 (N⁺) y T1 (Cepa E-10) con 2 563, 2 433, 2 384 y 2 307 Kg/ha, respectivamente. Mientras que el T6 (Testigo) registró el menor rendimiento con 2 123 Kg/ha. Asimismo se encontró diferencias significativas para el número de nódulos, obteniendo el T4 (Cepa E-14 PK) 21 nódulos, seguido de los tratamientos T2 (Cepa E-10 PK), T3 (Cepa E-14), T1 (Cepa E-10) y T7 (PK) con 12, 7, 5 y 3 nódulos respectivamente, comparado con el T6 (Testigo) con 2 nódulos. La presencia de carbonatos y salinidad del suelo puede haber modificado la estructura, también la actividad biológica de los microorganismos y el bloqueo de algunos macro y micronutrientes que requieren tanto el frijol var. Molinero PLV 1-3 y las Cepas E-14 y E-10. Los tratamientos T8 (N) con fertilización nitrogenada y T5 (NPK) con fertilización NPK obtuvieron 2 nódulos cada uno, es decir la fertilización afecto el número de nódulos inhibiendo el proceso de nodulación, muy similar fue el comportamiento del tratamiento T6 (Testigo) con 2 nódulos nativos que no fueron eficientes.

Palabras clave: Frijol, *Rhizobium*, fósforo, potasio, rendimiento, salinidad.

ABSTRACT

This research was conducted at the Universidad Nacional Agraria La Molina in the "Free Field 2", during the months of June to November 2008, with the objective to evaluate the effect of phospho-potassic fertilization and the inoculation *Rhizobium sp.* in the yield of bean (*Phaseolus vulgaris L.*) var. Molinero PLV 1-3. The experimental design used was the Randomized Complete Blocks (DBCA) with eight treatments, which were: T1 (Strain E-10), T2 (Strain E-10 PK), T3 (Strain E-14), T4 (Strain E-14 PK), T5 (NPK), T6 (Control), T7 (PK) and T8 (N⁺) and three replicates. An analysis of variance and Tukey's media comparison test was made, with a significance level of 0.05; with the Statistical Analysis Software SAS (version 8). The dry grain yield, its components and nodulation characteristics were evaluated. Significant differences were found in the treatments studied for the characteristics pods/plant, grains/pod, number of locules, branches and weight of hundred seeds. And no significant differences were found in the treatments for harvest index, plant height, length and width of pod. For the dry grain yields var. Molinero PLV 1-3 no significant differences were found in the treatments evaluated, the treatment T5 (NPK) presented the highest yield with 2 858 kg / ha, followed by the treatment T4 (Strain E-14 PK) with 2 746 kg/ha and the treatment T2 (Strain E-10 PK) with 2 676 kg / ha above the treatments T3 (Strain E-14), T7 (PK), T8 (N⁺) and T1 (Strain E-10) with 2 563, 2 433, 2 384 and 2 307 Kg / ha, respectively. While the witness T6 (Witness) registered the lowest yield with 2 123 kg / ha. Also significant differences were found on the number of nodules, obtaining the T4 (E -14 PK) 21 nodules, followed by the treatments T2 (Strain PK-10 E), T3 (Strain E-14), T1 (Strain E-10) and T7 (PK) with 12, 7, 5 and 3 nodules, respectively, compared to the T6 (Control) with 2 nodules. The presence of carbonates and soil salinity may have modified the structure, also the biological activity of microorganisms and have blocked some macro and micronutrients that require the bean var. Molinero PLV 1-3 and the strains E-14 and E-10. The treatments T8 (N⁺) with nitrogen fertilization and T5 (NPK) with NPK fertilization obtained 2 nodules each, i.e. the fertilization affected the number of nodules inhibiting the nodulation process, very similar was the behavior of T6 treatment (Control) with 2 native nodules that were not efficient.

Keywords: Bean, Rhizobium, phosphorus, potassium, yield, salinity.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), es entre muchas de las especies de leguminosas el de mayor importancia debido a su adaptabilidad a los diferentes climas y suelos de nuestro país, además tradicionalmente ha formado parte de los cultivos que vienen sembrándose, ya sea en monocultivo o como cultivos asociados. En muchos lugares son complemento importante en la rotación y asociación de cultivos y fuente de generación de ingresos al agricultor (Díaz, 2009). Asimismo es un componente básico en la dieta alimenticia, por su alto contenido de proteína, carbohidratos, fibra dietética, abundante en vitaminas del complejo B, como niacina, riboflavina, ácido fólico, tiamina y minerales como zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio (Camarena *et al.*, 2009).

El cultivo del frijol en el Perú está concentrado en pequeños y medianos agricultores utilizando diferentes sistemas de producción, con suelos deficientes en nitrógeno, niveles bajos de fósforo, pH ácido, sequías lo cual, además de ser factores limitantes de la productividad de las plantas que disminuyen el rendimiento y calidad de grano de manera significativa (Díaz, 2009); también se encuentran los factores bióticos y abióticos (como la leguminosa, la bacteria, temperatura, humedad, salinidad, etc.) que afectan el desarrollo de la simbiosis Leguminosa-*Rhizobium* haciendo que la eficiencia en la nodulación y la fijación de N₂ sea deficiente (Ravelo, 1988). A esto se suma el bajo nivel tecnológico de los agricultores, debido a la escasa disponibilidad de recursos para la implementación de prácticas de manejo como el de fertilización y riego. Para la solución de este problema se ha recurrido a la utilización de fertilizantes sintéticos, los cuales se aplican cada vez más en cantidades mayores para suplir la escasez natural del nitrógeno de los suelos, produciendo una gran contaminación en el agua y suelo (Gonzales, 2013).

Una alternativa al uso de la práctica de la fertilización sintética en las leguminosas, es el aprovechamiento de las bacterias del género *Rhizobium*, conocido por su efecto simbiótico con algunas leguminosas. Este sistema biológico natural permite fijar el

nitrógeno atmosférico en nitrógeno mineral en formas asimilables a la planta y principalmente en su efecto económico y ecológico ya que en la actualidad la adquisición de los fertilizantes sintéticos tienen costos muy altos y la fijación biológica del nitrógeno en el suelo y en particular en la rizósfera de la planta, constituye una de las mayores oportunidades para mejorar la eficiencia productiva del frijol o de otras leguminosas (Matsubara, 2010).

En ese sentido es como el Programa de Investigación y Proyección Social de Leguminosa de Grano y Oleaginosas de la Universidad Nacional Agraria la Molina ha planificado el estudio de cepas de *Rhizobium sp.* capaces de establecerse bajo condiciones de campo. Por ello los objetivos a considerarse son:

Objetivo General

- ✚ Determinar el efecto del *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo - potásica en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de la Molina.

Objetivo Específico

- Evaluar el efecto de las cepas E-10, E-14 y fertilización fosfo - potásica en cada una de las características del rendimiento y sus componentes del frijol.
- Evaluar la nodulación y eficiencia de las cepas E-10 y E-14 en el frijol.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL FRIJOL

2.1.1 Origen y taxonomía

Es una planta anual herbácea y cultivada desde los trópicos hasta las zonas más templadas. El frijol es la especie más importante del género *Phaseolus*, es originario de América y las formas silvestres que dieron origen a las cultivadas conocidas hoy se encuentran ampliamente distribuidas desde México hasta Argentina (Valladolid, 1993). En base a argumentos botánicos, ecológicos, arqueológicos, morfológicos y últimamente bioquímicos, el frijol cuenta con tres centros de diversificación primaria: centro Mesoamericano (eje volcánico en México), centro Nor Andino (cordillera oriental en Colombia) y centro Sur Andino (valles interandinos en el Perú). Según Camarena *et al.* (2009) su diseminación a otras partes del mundo fue después de la conquista de América.

El frijol se encuentra clasificado en las siguientes categorías taxonómicas (Cronquist, 1981 citado por Vilcapoma y Flores, 2003).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Género: *Phaseolus*

Especie: *Phaseolus vulgaris* L.

Nombre común: “frijol común”

2.1.2 Importancia y situación actual del frijol

Valladolid (1993) indica que el frijol contiene 22.1% de proteína, la carne de res 19% y el pescado 16.4%.

Vergaray (1998) considera que todas las leguminosas de grano, entre ellas el frijol es uno de los productos alimenticios de mayor importancia debido a su alto contenido de carbohidratos (60%) y de proteína (23%) comparables con el contenido en la carne; además de contener aminoácidos esenciales (lisina y triptófano) que son deficientes en los cultivos amiláceos como el maíz.

El Ministerio de Agricultura en el año 2012, menciona que el frijol ocupó una extensión de 78 918 ha y logró una producción de 87 853 mil toneladas de frijol grano seco, con un rendimiento de 1 113 t/ha. Los departamentos de mayor producción fueron Cajamarca, Arequipa y Huánuco con 14 586, 10 245 y 8 134 toneladas y rendimientos de 849, 1 761 y 1 428 kg/ha respectivamente. Así mismo, según el Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIESA, 2014) – MINAG, el área cosechada de frijol grano seco fue de 92 512 ha, además de la producción nacional fue de 91 503 toneladas y el rendimiento promedio nacional es de 1 116 kg/ha siendo Lima Metropolitana y Moquegua las zonas con mayor rendimiento con 3 053 y 3 380 kg/ha respectivamente, la producción de frijol en la sierra se destina para autoconsumo y el resto se envía a los centros urbanos de la Costa. Mientras la producción de la Selva sirve íntegramente para autoconsumo de la región (Chiappe y Huamaní, 1996). A nivel mundial la FAO (FaoStat, 2014) reporta que la superficie cosechada fue 28 780 377 ha y la producción fue de 23 140 276 toneladas. Además, el MINAG – 2014 menciona que la superficie cosechada de menestras ha ido incrementándose sostenidamente siendo el frijol castilla, el caupí, el frijol palo, el pallar, el haba y la arveja los cultivos de mayor crecimiento; ubicándose el frijol común grano seco dentro de los 10 principales cultivos.

2.2 EXIGENCIAS DEL CULTIVO

2.2.1 Clima y Suelo

Es una planta adaptada a lugares cálidos. Su temperatura óptima de crecimiento es de 16-21 °C, crece a un máximo de 27°C y un mínimo de 10°C. presenta amplia variedad genética para la temperatura óptima de crecimiento (Nadal *et al.*, 2004). Requiere lugares con una precipitación de 300 mm, distribuida regularmente durante todo el ciclo del cultivo (Canchari, 2005).

Esta especie no soporta bien la falta o exceso de agua (Valladolid, 1993). El suelo idóneo para su cultivo es el franco arcilloso limoso, con pH comprendido entre 5.5.-6.6. En suelos calizos es recomendable el aporte de Mg, Mn y Zn. Son plantas muy sensibles a la salinidad del suelo, sobre todo con cloruro de sodio. También son muy sensibles a altas concentraciones de Al, B, Mn y Na (Nadal *et al.*, 2004).

2.2.2 Salinidad

El estrés generado por la sequía o la alta temperatura es temporario y en muchos casos reversibles, mientras que el estrés salino es más permanente, porque afecta la asimilación de nutrientes por las plantas y la actividad microbiana (Villanueva, 2009). Así mismo las cepas de diferentes especies de rizobios muestran una marcada variabilidad en cuanto a la tolerancia a los suelos salinos. Las leguminosas y el proceso de iniciación nodular son altamente sensibles al estrés salino, probablemente por la inhibición en el desarrollo de los pelos absorbentes. La fijación de N₂ es menos sensible a la salinidad que otros procesos fisiológicos como la expansión de las hojas (Meneses, 1996).

2.2.3 Fertilización

Para obtener rendimientos de 2500 kg/ha de frijol se aplica de 40 a 50 kg de nitrógeno amoniacal o nitratos por hectárea; fósforo de 50 a 100 kg P₂O₅/ha y potasio entre 120 a 150 K₂O/ha. La relación entre el nitrógeno y el potasio será 3:1 (Nadal *et al.*, 2004).

Así mismo, Camarena *et al.* (2009) recomienda utilizar entre 40 a 60 kg N/ha (dos sacos de urea de 50 kg) y 40 kg de ácido fosfórico.

2.3 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA – FOSFORADA - POTÁSICA.

Cuando consideramos los elementos necesarios para la nutrición de las plantas, además de los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno que constituyen cerca del 95 por ciento de la planta y son provistos por el aire y el agua, hay 13 elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y producción. Éstos se encuentran clasificados usualmente en 2 grupos conocidos como elementos mayores (macronutrientes), N, P, K, Ca, S y Mg, requeridos en grandes cantidades por la planta, y elementos menores (micronutrientes) Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl y Mo, requeridos en cantidades relativamente pequeñas (Bonilla, 2000).

2.3.1 Nitrógeno

El nitrógeno es el elemento que tiene la mayor probabilidad de limitar el crecimiento de los cultivos, debido a que interviene en la formación de aminoácidos y proteínas, éstos a su vez intervienen en los diversos órganos de la planta, aumentando la superficie foliar y la masa protoplasmática (Black, 1975). Manteniéndose su deficiencia por esta razón en las partes activas del crecimiento de las plantas. Cuando el nitrógeno se encuentra en cantidades insuficientes para la planta, se presentan los síntomas que caracterizan la deficiencia: plantas achaparradas, enanas, de escaso crecimiento, tallos débiles, hojas pequeñas y delgadas, follaje amarillento a verde claro. El nitrógeno forma parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas: aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos de las reacciones bioquímicas que ocurren en las plantas (Barceló *et al.*, 1995 y Resh, 1997).

Los efectos que produce el suministro balanceado de nitrógeno son: fomentar el desarrollo de nuevos meristemas, determinar la corpulencia y succulencia de raíces, tallos y semillas, además produce en el follaje un verdor más intenso aumenta el contenido de proteínas y en cierto grado regula la asimilación de potasio y fósforo y

de otros nutrientes, necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta (Pérez, 1991).

Salisbury y Ross (1994) afirman que el nitrógeno es el elemento que hace concebible la vida de las plantas, su deficiencia afecta los rendimientos por modificación de la anatomía, morfología, fisiología y también la bioquímica de las plantas, pues éstas permanecen pequeñas y cloróticas y no se produce la síntesis proteica y clorofílica e inhibe la capacidad de asimilación y formación floral y fructificación acortándose su período vegetativo, las hojas pierden su color verde y se tornan amarillo pálido.

Fuentes (1999) y Gross (1981) afirman que el nitrógeno es componente de la molécula de los pigmentos de la clorofila que dan a las plantas su color verde, juega un papel esencial en la fotosíntesis. También hay nitrógeno en las hormonas que son sustancias orgánicas que ejercen funciones reguladoras del metabolismo con su presencia en pequeñas cantidades. El nitrógeno es componente del trifosfato de adenosina (ATP), un transportador de energía para la respiración. Influye en el rápido crecimiento, aumenta la producción de hojas de la planta, intervienen en la utilización de los carbohidratos para formar protoplasma y más células, mejora la calidad de las hortalizas y aumenta el contenido de proteínas. Una deficiencia de nitrógeno en las plantas hortícolas se manifiesta con: aspecto enfermizo de la planta, color verde amarillamiento inicial y secado posterior de las hojas de la base de la planta que continua hacia arriba si la deficiencia es muy severa y no se corrige.

Las múltiples funciones que cumple el nitrógeno en la planta han sido discutidas por Mengel y Kirkby (1992), Marschner (1997) entre otros, señalando que el nitrógeno está presente en muchos compuestos esenciales para el crecimiento, desarrollo y constitución de la planta. Una aplicación excesiva de N puede ser perjudicial para el cultivo; pueden estimular a diversas enfermedades fúngicas. Y la carencia del mismo suele manifestarse con una detención general del crecimiento y desarrollo de la planta. Se observa un amarillamiento difuso del follaje y reducción de la floración y fructificación.

Barker y Mills (1980) explican que el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) son las dos formas mayores de N disponible para la absorción de las plantas y aunque la mayoría

de las plantas puede usar cualquiera de esas formas como fuente de N, el grado de efectividad de las dos formas de N en el crecimiento depende de la especie de planta y de la proporción relativa de NO_3^- y NH_4^+ . Agregan que el NH_4^+ como fuente única de N es dañino al crecimiento de muchas plantas mayores y también disminuye la absorción de cationes (Ca, Mg, K, Mn) e incrementan la absorción de algunos iones (H_2PO_4^- , SO_4^-). De otro lado los NO_3^- son de más fácil absorción, lo que se evidencia por el incremento agudo de su absorción, al incrementarse su aplicación externa, e incluso cuando la aplicación es alta los nitratos son absorbidos en exceso de las necesidades de la planta y se acumulan en tejidos. Pero el nitrato como fuente externa de la fertilización, tienen el inconveniente de tener baja eficiencia por ser susceptible de perderse fácilmente por lixiviación o por desnitrificación. Sin embargo, el nitrato en presencia del amonio mejora su eficiencia incrementando el crecimiento de las plantas y la absorción total de nitrógeno por las plantas.

Thompson y Thoe (1988) mencionan que las plantas absorben nitrógeno siempre que se encuentran en periodo de crecimiento activo, pero no siempre lo hacen a la misma velocidad. La cantidad de nitrógeno absorbido por día y por kg de material vegetal, es máxima cuando las plantas son jóvenes y declina gradualmente con la edad.

2.3.2 Fósforo

Thompson y Thoe (1988) mencionan que el fósforo ha sido llamado “la llave de la vida” porque se halla directamente implicado en la mayoría de los procesos vitales. Está presente en todas las células, con tendencia a concentrarse en las semillas y zona de crecimiento de las plantas.

El fósforo es un elemento esencial en las plantas: forma parte de importantes metabolitos y en forma de ATP participa en los procesos energéticos (Fuentes, 1999); así como el nitrógeno, participa en el crecimiento vegetativo, pero a diferencia del nitrógeno que se puede considerar como un factor de cantidad, el fósforo es un factor de calidad: favorece todos los procesos relacionados con la fecundación, la fructificación y la maduración. Es el factor de precocidad, mientras que el exceso de nitrógeno prolonga la vegetación.

Black (1975) manifiesta que en el metabolismo vegetal, el fósforo desempeña un papel directo como transportador de energía, siendo el más importante el trifosfato de adenosina (ATP), porque participa en la fotosíntesis y es constituyente de los ácidos nucleicos; de la fitina, de los fosfolípidos, fosfoazúcares. Interviene estimulando la rápida formación y crecimiento de las raíces, facilita el rápido y vigoroso comienzo de las plantas, acelera la maduración y estimula la coloración de los frutos, ayuda a la formación de las semillas, da vigor a los cultivos para defenderse del rigor del invierno e interviene en la resistencia a las enfermedades.

Domínguez (1994) menciona que el fósforo una vez absorbido, es muy móvil en la planta y se incorpora rápidamente al metabolismo. En primer lugar se producen azúcares y alcoholes fosforilados como productos intermedios, así como los fosfolípidos que son componentes básicos de las membranas celulares. El compuesto más importante en el que interviene el fósforo por su papel es del almacenamiento y transporte de la energía con el trifosfato de adenosina (ATP). Por ser el fósforo componente de ácidos nucleicos participa en el proceso de la reproducción y la constitución genética de la planta. La fitina constituye una reserva de fósforo en la semilla que es movilizada durante la germinación. Además el fósforo interviene en:

- Estímulo del desarrollo precoz de la raíz y el crecimiento de la planta.
- En las leguminosas, favorece el desarrollo de los nódulos.
- Incrementa el tamaño y peso en los cultivos, raíces o tubérculos.
- Acelera la floración y fructificación.

Rodríguez (1996) menciona que los síntomas carenciales consisten con frecuencia en la aparición de un color verde bronceado a violáceo en las hojas, cuyas puntas y bordes amarillean y se necrosan. El exceso de fósforo no se manifiesta en síntomas visibles, pero puede ocasionar dificultad de absorción de algunos microelementos como el zinc y cobre, e incluso calcio, cuando escasea en el suelo.

El fósforo forma parte de todos los tejidos de la planta, en una proporción cuyo valor medio puede situarse entre el 0.2% y el 0.5% de la materia seca. Es un elemento plástico y catalítico, puesto que es un constituyente de muchas coenzimas; además participa ampliamente en la construcción de los compuestos encargados del transporte

y almacenamiento de energía precisa para realizar procesos vitales (Villagarcía y Aguirre, 1994).

Salisbury y Ross (1994) expresan que después del nitrógeno, el fósforo es el elemento que con mayor frecuencia resulta limitante en los suelos. Las plantas absorben sobretodo como el anión H_2PO_4^- . El pH del suelo controla la abundancia relativa de las diferentes formas de fósforo; así tenemos que a pH menores de 7 la absorción se ve favorecida por el anión H_2PO_4^- , mientras a pH mayores de 7 la absorción es del anión H_2PO_4^- . Gran parte del fosfato se convierte en formas orgánicas cuando entra a la raíz, o después de que es transportado por xilema hasta el tallo o las hojas.

Rodríguez (1996) menciona que el ácido fosfórico es un factor de crecimiento muy importante, debiendo señalarse la fuerte interacción que existe entre este elemento y el nitrógeno, sobre todo durante la primera fase de crecimiento. El desarrollo radicular se ve favorecido por una buena alimentación de fósforo al principio de su ciclo vegetativo.

Rodríguez y Fraga (1999) sostienen que todos los suelos tienen fósforo de reserva en compuestos de diferentes formas químicas, tales como fosfato de hierro, aluminio, calcio, etc.; si bien estas reservas pueden encontrarse en cantidades importantes en los suelos, las plantas pueden sufrir deficiencia de fósforo. La entrega natural del fósforo de estos compuestos, puede estar severamente limitada, debido a ciertas condiciones fisiológicas y biológicas en el suelo, resultando en la formación de los compuestos insolubles y no disponibles del fósforo.

El fósforo al ser un elemento poco móvil en el suelo, requiere de fuentes solubles en agua, que aumentan considerablemente la superficie de contacto con el suelo, lo cual facilita su absorción por las raíces. La absorción de fósforo por las plantas se produce principalmente a partir del fósforo en la solución del suelo, pero también las raicillas pueden extraerlo a partir de formas poco solubles, por esta razón, la absorción del fósforo se ve favorecida por todo lo que aumente el desarrollo radicular, sobre todo por las fuertes aportaciones de nitrógeno (Domínguez, 1994).

2.3.3 Potasio

Thompson y Thoe (1988) mencionan que las plantas absorben grandes cantidades de potasio, siempre en forma de ión K^+ . Las cargas positivas de estos cationes contribuyen a mantener la neutralidad eléctrica, tanto en el suelo como en el vegetal, compensando las cargas negativas de los nitratos, fosfatos y demás aniones. Las plantas requieren cantidades de potasio relativamente importantes y, con frecuencia, son capaces de utilizar una provisión de este elemento mayor de la que el suelo puede suministrar. El potasio, por orden de probabilidad, es el tercero de los nutrientes que suele limitar el crecimiento de las plantas y, en consecuencia es un elemento muy común de los fertilizantes.

Fuentes (1999) indica que forman un gran número de enzimas, por lo que regula muchas funciones de la planta. Intervienen en la fotosíntesis favoreciendo la síntesis de carbohidratos así como el movimiento de estos compuestos y su acumulación en los órganos de reserva. El potasio favorece el mejor aprovechamiento del agua por la planta, debido a que le contribuye a mantener la turgencia celular, lo que trae como consecuencia una disminución de la transpiración cuando el agua escasea. Tiene también efectos favorables en las resistencias de las plantas al frío y a las heladas e incrementa la resistencia a la salinidad y a los parásitos. Así mismo, en combinación con el fósforo favorece el desarrollo radicular y aumenta la rigidez de los tejidos, además el potasio favorece mejor el aprovechamiento del agua por la planta, debido a que contribuye a mantener la turgencia celular, lo que trae como consecuencia una disminución de la transpiración cuando el agua escasea; así mismo el potasio forma parte de un gran número de enzimas por lo que regula muchas funciones de la planta, interviene en la fotosíntesis favoreciendo la síntesis de carbohidratos.

La deficiencia en potasio se manifiesta por un retraso en el crecimiento de la planta, siendo las partes más afectadas aquellas que acumulan sustancias de reserva (frutos, semillas, tubérculos) constituidas principalmente por glúcidos; las hojas presentan manchas cloróticas, seguidas de necrosis en las punta y en los bordes. Esta deficiencia origina una reducción de la cosecha, en cuanto a calidad, cantidad y conservación (Rodríguez, 1996).

Gross (1981) menciona que el potasio es un componente esencial para el crecimiento de las plantas, posee una función catalizadora, es imprescindible en: el metabolismo de los hidratos de carbono o formación y transmisión de almidón, metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteína, con control y regulación de las actividades de varios elementos minerales esenciales, neutralización de los fisiológicamente importantes ácidos orgánicos, activación de varias enzimas, crecimiento de los tejidos meristemáticos, apertura de estomas que está relacionada con la turgencia de las células y la cantidad adecuada de agua en la planta, es decir participa en el equilibrio al regular la transpiración. Es considerado como elemento de equilibrio y de sanidad, porque da resistencia a las enfermedades y a las condiciones adversas del ambiente como son las heladas y sequías. Además ayuda a la producción de proteínas de las plantas, aumenta el tamaño de las semillas, mejora la calidad de los frutos.

El potasio es absorbido por la planta en la forma monovalente, es el catión más abundante en las células vegetales. No se conoce ningún compuesto orgánico en el tejido vegetal en el que el potasio sea componente, se sabe que es activador de varias enzimas y que su carencia en la planta afecta la respiración, la fotosíntesis, el desarrollo de la clorofila y el contenido de agua en las hojas (Marschner, 1997 y Coyne, 2000).

2.4 BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO: *Rhizobium sp.*

Entre los microorganismos responsables de la fijación biológica de nitrógeno se encuentran: los diazotófos de vida libre (*Azotobacter spp.*), las bacterias asociadas a raíces (*Azospirillum spp.*, *Bacillus polymyxa*), las bacterias endofíticas (*Azoarcus sp.*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Burkholderia spp.*, *Clostridium sp.* y algunas enterobacterias) y bacterias simbióticas (*Rhizobium spp.*, *Bradyrhizobium spp.* y otras bacterias del orden Rhizobiales) (Carlson, 1990 y Kennedy *et al.*, 2004).

El género *Rhizobium* fue descrito por Frank en 1889, como bacterias Gram negativas noduladoras de leguminosas y no leguminosas. Su nombre enfatiza su peculiaridad que tiene de nodular las raíces. Su temperatura óptima de crecimiento está entre 25 a 30 °C y un pH entre 6 y 7. Las bacterias nodulares tienen la capacidad de invadir los pelos radiculares de plantas leguminosas e inducir la formación de nódulos radiculares en cualquier posición donde se desarrollan como simbioses intracelulares (Cubero y

Moreno, 1996). Así mismo, cada género tiene características fenotípicas y peculiares, es así que el género *Azorhizobium* forma nódulos en tallos y raíces y su crecimiento de colonia es rápido (Wang y Martínez-Romero, 2005), el género *Mesorhizobium* tienen colonias con crecimiento lento o moderado y los géneros *Rhizobium*, *Allorhizobium* son bacterias que crecen rápido.

Las bacterias noduladoras y las leguminosas establecen entre ellas una asociación por la cual ambas se benefician. Las bacterias se alojan en el sistema radicular de la planta en el que se forma pequeñas nudosidades, más o menos numerosas y reciben de la planta los azúcares necesarios para su metabolismo (Cubero y Moreno, 1996).

Las bacterias son transformadas dentro del nódulo en bacteroides, estos son los que llevan a cabo la fijación del nitrógeno atmosférico en el microambiente del nódulo, es allí donde se reduce el nitrógeno molecular hasta amoníaco y luego se sintetiza a glutamina y glutamato, esta reacción no sería posible sin el complejo enzimático nitrogenasa, el cual tiene dos componentes, nitrogenasa y nitrogenasa-reductasa, este último es más sensible al O₂, para ello se sintetiza la leghemoglobina, el cual se encarga de capturar el O₂, además es la responsable de que se observe una coloración rojiza al seccionar el nódulo el cual indica que hay actividad de la nitrogenasa (Cubero y Moreno, 1996; Soto, 2004).

Los principales factores de importancia que rigen en la fijación simbiótica de nitrógeno son factores bióticos: leguminosa, bacteria y otros microorganismos que afectan de manera directa la nodulación y factores abióticos: temperatura, oxígeno, humedad, salinidad, pH y nutrición mineral que afectan al rhizobio, disminuyendo el número de la población natural o introducida con el inoculante, según Alexander (1981) citado por Ravelo (1988).

Según Cubero y Moreno (1996), Sylvester-Bradley (1987), Meneses (1996), la selección de cepas debe realizarse bajo los siguientes criterios preestablecidos: (1) que presente tolerancia a las condiciones locales, (2) que tenga un amplio espectro de efectividad y (3) que tenga estabilidad genética. La selección de cepas de *Rhizobium* es un aspecto importante en el proceso de producción de inoculantes. Así mismo Date (1976) recomendó los criterios para la selección de cepas que son: eficiencia en la

fijación de nitrógeno en condiciones variables de suelo, capacidad competitiva por sitios de nodulación, habilidad de persistencia o colonización del suelo, habilidad de sobrevivir en el inoculante y en la semilla inoculada además de la tolerancia a los pesticidas. Brockwell (1982), propone otros criterios como capacidad de sobrevivir en condiciones físicas adversas, como desecación, frío y calor.

Los nódulos derivan del meristemo cortical de la raíz de la planta y pueden dividirse en dos grupos por su forma: nódulos que son elongados cilíndricos con actividad meristemática apical indeterminada y que transforman el N transformado como aminos tal como los de alfalfa, guisantes y trébol; y los nódulos que son esféricos con actividad meristemática determinada que transportan el N transformado como ureidos tal como en soya y frejol (Sprent, 1996).

En una planta madura pueden encontrarse nódulos en todas las fases de desarrollo. Los nódulos tienen tres regiones: (1) una zona blanca que incluye el meristema del nódulo y la zona de infección, (2) una zona roja, debido a la presencia de la leghemoglobina, donde se localiza el sitio activo de la fijación de N y contienen bacteroides (bacterias con actividad nitrogenasa); y (3) una zona verde, en los nódulos más viejos que indican senescencia (Sprent, 1996).

Según el CIAT (1988) la escala recomendada para la evaluación de los nódulos en una planta de frijol es la siguiente:

Cuadro N° 1: Descripción del número de nódulos según CIAT – 1988.

Escala	Número de Nódulos	Denominación
4	Mayor de 100	Muy abundante
3	50 - 100	Abundante
2	10 - 50	Mediana
1	1 - 10	Poca
0	0	Nula

Cuadro N° 2: Descripción del tamaño de nódulos según CIAT – 1988.

Escala	Evaluación
4	Grandes
3	Medianos
2	Pequeños
1	Sin tamaño predominante
0	Sin nódulos

Cuadro N° 3: Descripción del color interno predominante de los nódulos según CIAT– 1988.

Escala	Coloración del Nódulo
1	Crema
2	Verde
3	Marrón
4	Rojo

2.5 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DEL EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA SIMBIOSIS EN FRIJOL.

El efecto del fósforo sobre la fijación simbiótica del nitrógeno en leguminosas requiere relativamente grandes cantidades de fósforo (Schereven, 1991; Scanlam, 1986). El fósforo es importante también en relación con las primeras fases infectivas de la nodulación, siendo su efecto ejercido directamente sobre la bacteria y no sobre la planta (Whyte *et al.*, 1983) para la movilidad del *Rhizobium*, el fósforo como ADP y ATP le provee energía (Kare y Raid, 1983).

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1980) en base al proyecto de investigación sobre fijación de nitrógeno en frijol informa que una de las alternativas al problema de adquisición y uso de fertilizantes nitrogenados es el mejoramiento de la eficiencia de la fijación de nitrógeno mediante la asociación simbiótica frijol – *Rhizobium*, mediante el uso de un buen inoculante.

Cassman *et al.*, 2004 mencionan que los macroelementos participan de las estructuras celulares y juegan un importante rol en las reacciones fisiológicas y bioquímicas que

ocurren en las células. Adicionalmente señala que concentraciones excesivas de nutrientes acumuladas en las plantas pueden inhibir el crecimiento debido a la toxicidad. Otros defectos de las deficiencias minerales es el lento desarrollo de frutos y semillas, clorosis, necrosis, defoliación o muerte de las hojas, y tallos débiles.

Israel (1991) indica que en las primeras etapas del crecimiento, el fósforo es vital y el nitrógeno influye en la absorción de fósforo. Cuando se aplica con nitrógeno, el fósforo se hace más disponible para las plantas que cuando se aplica sin nitrógeno. La influencia del nitrógeno en la absorción del fósforo es bastante clara en las primeras etapas del crecimiento.

En el suelo los carbonatos cumplen funciones básicas: 1) soportar la estructura física de las plantas para que las mismas puedan vivir, 2) proporcionar, en sincronía aire y temperaturas compatibles con la fisiología de los microorganismos del ecosistema, 3) recibir, retener y proporcionar agua a las plantas y 4) proporcionar la mayor parte de los nutrimentos esenciales para las plantas. La sustentabilidad del uso del suelo para la producción de cultivos está principalmente condicionada por las cantidades finitas de nutrimentos esenciales presentes. Estas cantidades dependen del material geológico que originó a los suelos y a factores como el clima, la topografía y los microorganismos (Perales *et al.*, 2000).

Evans (1983) menciona que la razón de la falta general de respuesta a la fertilización nitrogenada, es porque la fijación de los nódulos, su formación y crecimiento resultan inhibidos en forma creciente a medida que se incrementa la cantidad de nitrógeno inorgánico disponible para la planta.

Weber (1966) determinó que la fijación de nitrógeno disminuyó rápidamente con el incremento del fertilizante nitrogenado; también determinó que el peso, número y tamaño de los nódulos estuvo relacionado al incremento de la fertilización nitrogenada.

Seguin *et al.*, 2001 afirmaron que los compuestos fosforados en la solución del suelo favorecen la proliferación de las bacterias nodulantes estimulando su actividad. Así mismo, influyen en el crecimiento de las raíces, multiplicando el número de pelos radiculares.

Díaz (2009) menciona que el hábito de crecimiento de las variedades indeterminadas tiene floración continua, lo que significa que la planta producirá vainas constantemente y por consiguiente habrá mayor número de granos, por lo tanto el número de vainas por planta casi siempre es alta y los rendimientos también.

Núñez (1984) menciona que la aplicación de nitrógeno debe ser cuidadosa, puesto que las altas cantidades son perjudiciales para el cultivo y se pierde o se anula la acción de las bacterias fijadoras ya que al disponer de suficiente nitrógeno en el suelo, la planta no acepta la simbiosis con el *Rhizobium sp.*, que a su vez no fija sino que lo toma del fertilizante.

Flórez (1987) evaluó los efectos de la fertilización nitrogenada, inoculación a la semilla y aplicación de materia orgánica en el rendimiento de dos variedades de frijol: Canario Divex (tipo I - determinado) y Bayo (tipo III - indeterminado), encontró diferencias significativas en altura de planta, número de granos y número de vainas, y los valores más elevados en cuanto al rendimiento lo obtuvo con la acción conjunta de Nitrógeno + Materia orgánica, seguido del Nitrógeno y del Nitrógeno + Inoculo esto en la variedad Bayo con un rendimiento de 1 997 kg/ha respecto de la variedad Canario Divex con 1 762 kg/ha.

Cabrera (1983) evaluó la respuesta del frijol Panamito a la aplicación de fertilizantes inorgánicos de N, P y K y sus interacciones y determino que el fósforo es un elemento importantísimo en una formulación completa de NPK puesto que regula la absorción de nitrógeno y potasio lo que mantiene estable la producción de granos, vainas y peso de 100 semillas.

Cueto (1975) evaluó la respuesta del cultivo de frijol a la aplicación de diferentes dosis de NPK, en un suelo de Costa, encontrando que todas las combinaciones de abonamiento superaban en rendimiento al testigo, pero que económicamente no todos eran convenientes debido al factor costo de fertilizante. Asimismo, manifiesta que los más altos rendimientos se obtuvieron con 80 kg de P_2O_5 . Sin embargo, los mejores rendimientos económicos correspondieron a la aplicación de 40 kg/ha de nitrógeno y 60 kg/ha de P_2O_5 .

Del Castillo (1986) evaluó el efecto de la inoculación a la semilla y la fertilización nitro-fosforada sobre la morfofisiología y el rendimiento en grano de dos variedades de frijol (Canario Divex – tipo I y Bayo – tipo III) en condiciones de invernadero, encontrando altas diferencias significativas. Los valores más elevados se presentó donde existen efectos de interacción entre el N y el P, así mismo cuando hay interacción del inoculo y el P con respecto solo al inoculo y al testigo los rendimientos fueron bajos.

Ortiz (1993) evaluó diferentes niveles de fertilización NPK, con fertilizantes simples y compuestos en el rendimiento de dos cultivares de frijol, encontrando la máxima altura de planta, granos/vaina e índice de cosecha con el tratamiento (80-100-100), seguido del tratamiento (60-80-80), mientras que el valor mínimo lo da el testigo (0-0-0) encontrándose diferencias altamente significativas para el efecto niveles de fertilización y por ende en dichos tratamientos se obtuvo los mayores rendimientos.

Cruz (2000) evaluó el efecto de la fertilización fosforada con y sin micronutrientes en el rendimiento del frijol cv. Canario 2000 bajo RLAf goteo, obteniendo los rendimientos más bajos el tratamiento testigo (no fertilizado) con 2 508 kg/ha, mientras los tratamientos que obtuvieron los mejores rendimientos fueron los tratamientos 3, 2 y 1 con niveles de P_2O_5 de 120, 80, 40 y con rendimientos de 3 138 , 2 999 y 2635 kg/ha respectivamente. Así mismo menciona el efecto positivo del fósforo con la interacción de los otros elementos en el metabolismo y el desarrollo del cultivo.

Canchari (2005), evaluó cepas de *Rhizobium* con y sin adición de un bioestimulante y fertilización química con fórmula 80-40-40 en el rendimiento de frijol canario variedad “CIFAC 92008” tipo I en condiciones de Costa Central, obteniendo mejores rendimientos con el tratamiento 3 (*Rhizobium* + bioestimulante) con 1 311 kg/ha en comparación con el tratamiento 1 (testigo) con 1 154 kg/ha, así mismo el tratamiento 5 (NPK) con 1 208 kg/ha y el tratamiento 8 (N) con 1 262 kg/ha mediante fertilización química. Así mismo manifestó que los frijoles de tipo III superan siempre en rendimiento a los frijoles de tipo I y que los parámetros de Índice de cosecha, peso de

100 semillas y número de vainas tienen una relación directa con el rendimiento. Se encontró nódulos pero estos eran no efectivos.

Paima (2005), evaluó la cepa nativa P1N1R1 de *Rhizobium*, obteniendo diferencias altamente significativas en el rendimiento del frijol común; entre tratamientos fertilizados y los tratamientos donde solo se estableció la simbiosis respecto del testigo, obteniendo rendimientos de 2 795 kg/ha para los tratamientos fertilizados y de 2 129 kg/ha para los tratamientos solamente inoculados. Además, señalo que la fertilización nitrogenada y la fijación biológica de nitrógeno tuvieron efecto favorable significativo en el rendimiento.

Villanueva (2009), evaluó el efecto de un biofertilizante a base de pescado aplicado vía foliar, dos cepas de *Rhizobium* (Cepa E-14 y Cepa E-10) y de compost en el rendimiento de grano seco de frijol precoz canario variedad Molinero PLVI/1-3 tipo III en condiciones de La Molina, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos, pero el que obtuvo el mayor rendimiento fue el tratamiento 3 (Cepa E-14) con 2 906 kg/ha, siendo superior al testigo que obtuvo 2 357 kg/ha, le atribuye los buenos resultados obtenidos a las cepas de *Rhizobium* porque hubo fijación de nitrógeno activo por los nódulos efectivos de la leguminosa, mientras que para el testigo fue nulo.

Núñez (2011), al evaluar el efecto de dos cepas de *Rhizobium* (Cepa 2 y Cepa 1), la aplicación de microorganismos efectivos y fertilización inorgánica en el rendimiento de frijol cultivar Canario Centenario tipo I en Costa Central, obteniendo el mayor rendimiento con el tratamiento 4 (Cepa 2) con 2 837 kg/ha, seguido del tratamiento 3 (Cepa 1) con 2 619 kg/ha y el tratamiento 2 (NPK) con 2 608 kg/ha respecto del tratamiento testigo con 1 920 kg/ha, así mismo obtuvo 23 nódulos siendo el mayor número de nódulos con Cepa 2 en comparación con el tratamiento 2 (NPK) con el cual obtuvo 5 nódulos mencionando que la fertilización química inhibe el crecimiento de estos y para el testigo el número de nódulos fue nulo.

Gonzales (2013) menciona que a nivel in vitro, se logró caracterizar fenotípicamente las cepas C1 (E-10) y C2 (E-14) provenientes de la variedad Canario Centenario, donde al realizar las pruebas bioquímicas se encontraron mayores diferencias de

crecimiento a un pH 4 y 5 con una temperatura de 37°C y tolero un crecimiento a 0.5% de salinidad. Así mismo estas cepas formaron nódulos efectivos, produjeron ácido indolacético y solubilizo el fosfato del medio NBRIP.

Coaquira (2014) menciona que los tratamientos con diferentes combinaciones de biofertilizantes y los tratamientos con inoculación de microorganismos no incrementaron el rendimiento de grano seco de frijol respecto al testigo, así mismo los tratamientos inoculados con *Rhizobium sp.* no obtuvieron respuesta debido a las condiciones adversas en el suelo como salinidad y poca humedad, teniendo un similar comportamiento con las cepas nativas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El presente trabajo se llevó a cabo en “Campo Libre 2” de la Universidad Nacional Agraria La Molina, localizado en el valle de Ate perteneciente al Distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima, cuya posición geográfica es:

Altitud	:	231 m.s.n.m
Longitud	:	76°57'23”
Latitud	:	12°05'46”

3.2 PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Las condiciones meteorológicas en las que el cultivo de frijol se desarrolló se muestran en el Cuadro N° 4. El experimento se realizó desde el mes de Junio hasta el mes de Noviembre del año 2008. Según los datos obtenidos del observatorio Meteorológico “Alexander Von Humboldt”, se observó una temperatura mínima de 14.60 °C en el mes de Junio y la temperatura máxima se registró en el mes de Noviembre con 23.00 °C.

Según promedios de temperatura los valores oscilaron entre 15.2 °C a 21.1 °C, y los valores recomendados para este cultivo son de 16°C a 21°C, el período en el cual se ha desarrollado el frijol está dentro del rango recomendado, sin embargo se presentaron bajas temperaturas acompañados de una alta humedad relativa promedio de 85.30%.

Cuadro N° 4: Datos meteorológicos para el distrito de La Molina, registrados durante el período de Junio a Noviembre del 2008 en “Campo Libres 2” en el ensayo del frijol Canario var. Molinero PLV 1-3.

MES	TEMPERATURA			HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)	HELIOFONIA (HORAS DE SOL)	PRECIPITACIÓN (mm/mes)	EVAPORACIÓN TANQUE A (mm/mes)
	MÁXIMA	MÍNIMA	PROMEDIO				
Junio	19.90	14.60	16.70	88.00	20.00	2.60	33.90
Julio	20.80	14.90	17.60	80.00	92.00	0.00	62.30
Agosto	18.80	14.80	16.80	90.00	28.00	2.10	34.10
Setiembre	20.40	14.50	17.20	85.00	103.70	0.60	42.50
Octubre	20.50	14.60	17.40	87.00	106.60	0.30	74.20
Noviembre	23.00	16.50	19.80	82.00	121.80	0.80	80.60
Promedio	20.60	14.90	17.60	85.30			

Fuente: Observatorio Meteorológico “Alexander Von Humboldt – UNALM 2008.

3.3 ANÁLISIS DE SUELO

El análisis de caracterización del suelo, se hizo de un muestreo al azar del área en estudio y se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM. Los resultados se presentan en el Cuadro N° 5, donde indica que se trata de un suelo de clase textural Franco arenoso, con una conductividad eléctrica de 1.00 dS/m; es decir, ligeramente salino.

Presenta un pH de 7.50, con lo cual se puede afirmar que es un suelo ligeramente alcalino. El porcentaje de carbonato de calcio se considera a un nivel medio. El contenido de materia orgánica es bajo con 0.90%, siendo común esta característica en los suelos de la costa. Asimismo, el fósforo y el potasio disponible con 7.5 y 126 ppm respectivamente estando dentro del rango medio ambos elementos.

La capacidad de intercambio catiónico muestra un potencial de fertilidad bajo, esta característica establece que las relaciones catiónicas Ca/Mg 0.7, Ca/K 10.3 y Mg/K 15.3 indican que el calcio y el potasio se encuentran por debajo de la concentración de equilibrio respecto al magnesio, pudiendo alterar la nutrición mineral de estos nutrientes.

3.4 MATERIALES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO

3.4.1 Variedad

El material genético utilizado fue seleccionado de la línea codificada como SRVI – 3 de la F₉ de la primera retrocruza entre {(Canario 2000 x Canario Camanejo) x (Canario Camanejo)} realizada en 1996, por el Programa de Leguminosas de Granos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La var. Molinero PLV 1-3, es una planta cuyo hábito de crecimiento es indeterminado tipo III, con un periodo vegetativo de 120 días, esta línea fue evaluada durante cuatro años en ensayos preliminares de adaptación y rendimiento.

Cuadro N° 5: Resultados del análisis de caracterización del suelo.

pH (1:1)	C.E. (1:1)	CaCO ₃	M.O	P	K	Análisis mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
						Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
						%	%	%			meq/100g							
dS/m	%	%	ppm	pmm	%	%	%											
7.5	1.00	4.1	0.9	7.5	126	58	30	12	Franco arenoso	9.6	3.62	5.36	0.35	0.27	0.00	9.6	9.6	100

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM 2008.

3.4.2 Inoculante

El inoculante es un agro insumo compuesto de un material de soporte y una elevada concentración de bacterias de *Rhizobium*. Para este experimento, la cepa E-10 y cepa E-14 de *Rhizobium sp.* utilizadas provienen del Laboratorio de Ecología, Microbiología y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM que fueron aisladas de los nódulos del cultivo de frijol, var. Canario Centenario. Se eligieron estas variedades debido a que se adaptan bien a los valles de la costa (Gonzales, 2013).

Estas cepas son bacterias Gram (-), y son reconocidas por sus tiempos de generación de 2-4 horas en un medio LMA (Levadura Manitol Agar) y producen colonias de 2 a 4 mm de diámetro luego de 3 a 5 días de incubación. El color característico de estas colonias es cremoso, elástico con bastante producción de mucosidad luego de las 27 horas de incubación. Su temperatura de crecimiento es de 28-37°C con un pH de 4 - 8.8 como se muestra en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6. Datos obtenidos a nivel de Laboratorio Marino Tabusso de las cepas de *Rhizobium sp.* aislados de tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

CEPA	pH de Crecimiento	Temperatura de Crecimiento °C
E-10	4 - 8.8	28 -37
E-14	4- 8.8	28 -37

Fuente: Laboratorio de Ecología y Microbiología “Marino Tabusso” de la UNALM.

3.4.3 Fertilizantes químicos utilizados: N, P, K.

Los fertilizantes químicos utilizados en el presente trabajo, fueron urea, nitrophos y cloruro de potasio como fuente de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente proporcionados por el Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.5 TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Se evaluó el comportamiento de cepas de *Rhizobium sp.* inoculadas a la semilla, la aplicación de fertilizantes químicos en diferentes dosis y la combinación de ambas sobre el rendimiento del grano seco. La descripción de los tratamientos se observan en el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7. Descripción de los tratamientos en estudio.

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN	DOSIS	
		N-P ₂ O ₅ - K ₂ O kg/ha	Cepa cc/ha
T1	Cepa E-10	0-0-0	40
T2	Cepa E-10 PK	0-80-60	40
T3	Cepa E-14	0-0-0	40
T4	Cepa E-14 PK	0-80-60	40
T5	NPK	80-80-60	0
T6	Testigo	0-0-0	0
T7	PK	0-80-60	0
T8	N ⁺	80-0-0	0

A continuación se describe cada tratamiento:

T1: La cepa E-10 se inoculo momentos antes de la siembra directamente a la semilla utilizando como sustrato tierra del suelo experimental (200 g de suelo).

T2: La cepa E-10 se inoculo momentos antes de la siembra directamente a la semilla utilizando como sustrato tierra del suelo experimental (200 g de suelo) y la aplicación de PK fue manual al momento de la siembra.

T3: La cepa E-14 se inoculo momentos antes de la siembra a la semilla utilizando como sustrato tierra del suelo experimental (200 g de suelo).

T4: La cepa E-14 se inoculo momentos antes de la siembra a la semilla utilizando como sustrato tierra del suelo experimental (200 g de suelo) y también se aplicó el PK al momento de la siembra, esta fue de forma manual.

T5: NPK se aplicó en forma manual con ayuda de una lampa, el nitrógeno (urea) a la mitad de la siembra y la otra mitad al momento del aporque, mientras que el fósforo (nitrophos) y el potasio (cloruro de potasio) se aplicaron al momento de la siembra.

T6: Al Testigo no se aplicó ningún tipo de tratamiento.

T7: El PK se aplicó de forma manual al inicio de la siembra.

T8. El N⁺ se aplicó al momento de la siembra y la otra mitad se aplicó en el momento del aporque.

3.6 METODOLOGÍA

La siembra se realizó el 24 de Junio del 2008, de acuerdo a la metodología y las recomendaciones sugeridas por el Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (1988), en un terreno preparado con labranza comercial y bajo riego por gravedad, luego se delimitaron las parcelas experimentales para los ocho tratamientos y tres repeticiones como se muestra en el croquis del experimento. Las semillas fueron seleccionadas y contabilizadas previamente para ser inoculadas con *Rhizobium sp.*

Se realizó la evaluación de las características de nodulación en dos plantas competitivas por parcela, se empleó una lampa para extraer cuidadosamente el sistema radicular, se limpió la tierra con mucho cuidado para no desprender las raíces, se trabajó en una superficie lisa y se procedió al conteo y medición de los nódulos en toda la raíz.

Asimismo, se evaluó las características del rendimiento y sus componentes de los tratamientos en estudio, se tomaron 10 plantas al azar para cada parcela útil las cuales fueron etiquetadas para su evaluación en campo y laboratorio como se explica detalladamente más adelante.

3.7 INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Las labores culturales se realizaron conforme lo establecido por el Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la UNALM.

3.7.1 Preparación del Terreno

Se inició con un riego de machaco, cuando este estuvo a punto se procedió a la aradura con ayuda de tracción mecánica a una profundidad de 30 cm, posteriormente se realizó el gradeo, nivelación y surcado a 0.8 m de distancia entre surcos. De acuerdo al croquis del experimento previamente establecido, se trazó el campo experimental con las calles, bloques y parcelas para cada tratamiento en estudio utilizándose para ello wincha, cordel, estacas, cal y tableros de identificación.

3.7.2 Preparación de la Semilla

Para el experimento se seleccionó y contabilizó la cantidad de semilla necesaria por su pureza y sanidad, para cada tratamiento en estudio un día antes.

3.7.3 Inoculación de Semillas

El proceso de inoculación de las semillas se realizó bajo el procedimiento recomendado por el Laboratorio Marino Tabusso” de la UNALM. Se empleó 200 g de sustrato de tierra fina, luego se le aplicó el inoculante en formulación líquida y se mezcló uniformemente hasta formar una pasta al cual se le adicionó las semillas de frijol, se movió lentamente y con mucho cuidado para que esta se adhiriera, seguidamente se dejó secar por 30 min bajo sombra para posteriormente sembrar en campo definitivo según los tratamientos en estudio.

3.7.4 Siembra

Se distribuyeron las semillas según los tratamientos en estudio. La siembra se realizó el 14 de junio del 2008, y se efectuó de manera manual usando una lampa, se depositó 3 semillas por golpe a un distanciamiento entre golpes de 0.4m en la costilla del surco.

3.7.5 Desahije

Solo se observó las parcelas a los 24 días después de la siembra, no se hizo desahijé porque solo se dejó 3 plantas por golpe al momento de la siembra.

3.7.6 Riego

Durante el desarrollo del cultivo, según el requerimiento de la plantas, las condiciones meteorológicas y del suelo se aplicó el riego que fue por gravedad.

3.7.7 Control de malezas

Las malezas fueron controladas de forma manual y con ayuda de una lampa de acuerdo al crecimiento y desarrollo de las malezas.

3.7.8 Fertilización

Las aplicaciones de fertilización se realizaron de forma manual con ayuda de una lampa, al momento de la siembra se aplicó fósforo (nitrophos) y potasio (cloruro de potasio), a la mitad de la siembra una parte del nitrógeno (urea) y al momento del aporque la otra parte del nitrógeno (urea).

3.7.9 Control fitosanitario

El control se realizó según la aparición de plagas y enfermedades que usualmente se presentan en el cultivo de frijol. Para el control se trató de aplicar los productos adecuados lo más antes posible, evitando de esta manera un mayor tiempo de permanencia de la plaga o enfermedad en el cultivo.

3.7.10 Cosecha

Se efectuó de acuerdo a la madurez de cosecha, entre los 115 y 130 días después de la siembra, en forma manual extrayendo al azar 10 plantas de los surcos centrales para

su posterior evaluación, seguidamente se cosecho el resto de plantas del campo. El material en estudio cosechado y codificado fue llevado al Programa de Leguminosas para su secado al aire libre, luego se realizó la trilla en forma manual y se registraron los datos solicitados.

3.8 PARÁMETROS EVALUADOS DURANTE EL EXPERIMENTO

3.8.1 Rendimiento y sus componentes

Rendimiento de grano seco (kg/ha)

Se contabilizó el peso de todas las semillas secas tomadas de las vainas maduras cosechadas de las plantas de cada tratamiento en estudio. Se registraron los promedios en kilogramos por hectárea.

Número de vainas por planta

De las 10 plantas del surco central de cada repetición tomadas al azar se contó el número de vainas con grano.

Número de granos por vaina

Se contabilizó el número de granos por vaina, para lo cual se tomó una muestra representativa de 20 vainas de cada tratamiento en estudio.

Número de lóculos por vaina

Se contabilizó el número de lóculos por vaina, se tomó de la muestra representativa de las 20 vainas al azar de los tratamientos en estudio.

Peso de 100 semillas (g)

Se cogió al azar de cada tratamiento en estudio cien semillas y luego se registró el peso en gramos.

Índice de cosecha (%)

Se tomaron al azar 10 plantas y se pesó la planta completa en seco y los granos, estableciéndose una relación de peso seco de granos sobre peso seco total de planta. Se registró para cada una de las parcelas experimentales.

$$\text{IC (\%)} = \frac{\text{Peso seco del grano}}{\text{Peso seco total}} \times 100$$

Altura de planta (cm)

Se determinó al final del periodo de crecimiento inmediatamente antes de la cosecha. Considerando altura de planta a la distancia entre el ápice de la guía principal y la superficie del suelo (cuello de planta).

Número de ramas por planta

Se contó el número de todas las ramas de las 10 plantas escogidas al azar de cada tratamiento en estudio.

Longitud de vainas (cm)

Se determinó la longitud de las vainas de las plantas extraídas al azar de cada tratamiento en estudio. Las medidas se tomaron desde el final del peciolo hasta el ápice.

Ancho de vaina (cm)

Se midió de las 20 vainas de cada tratamiento en estudio, la parte más gruesa de la vaina.

3.8.2 Características de nodulación

Altura de planta (cm)

Se contabilizó 2 plantas al azar de cada parcela según los tratamientos y se midieron desde el ras del suelo hasta el ápice del brote de la guía principal. Esta evaluación se realizó en la época de floración e inicio de la fructificación.

Peso fresco de planta (g)

Se determinó el peso fresco de las plantas tomadas al azar de cada tratamiento en estudio.

Peso seco de planta (g)

Se determinó el peso seco de las plantas tomadas al azar de cada tratamiento en estudio.

Número total de nódulos por planta

Se contabilizó el número total de nódulos de las raíces de las plantas tomadas al azar. Se usó una balanza electrónica de precisión.

Tamaño de los nódulos

Según la Escala del CIAT (1988) y las recomendaciones del Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la UNALM se observará el tamaño de los nódulos.

Color interno del nódulo

Se tomó y evaluó los nódulos de tamaño predominante, a los cuales se le cortó por la mitad para observar la efectividad de cada nódulo, y de acuerdo a la coloración se establece si el nódulo es efectivo o no, si se presenta un color rojo a marrón será

indicador de su efectividad, por lo contrario se observará un color verde a crema CIAT (1988).

Posición de los nódulos

Se determinó según la ubicación de los nódulos, estos fueron encontrados en la raíz principal como en las raíces secundarias y se realizó para cada tratamiento en estudio.

Forma de nódulos

Se determinó dos categorías: redonda y/o alargada, los que corresponden a nódulos determinados e indeterminados respectivamente.

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.9.1 Diseño experimental

El diseño estadístico experimental empleado para el experimento fue el Diseño de Bloques Completos al Azar, con ocho tratamientos y tres repeticiones con un nivel de significación de 0.05, cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Valor observado al finalizar el experimento de la unidad experimental que recibió el i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

μ : Media general

t_i : Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} : Efecto aleatorio del error

3.9.2 Características de la parcela experimental

- **Parcela:**

- N° de parcelas	: 24
- N° de surcos	: 4
- Ancho de parcelas	: 4
- Distancia entre golpes	: 0.4m.
- Distancia entre surcos	: 0.8m.
- N° Semillas x golpe	: 3
- Área de parcela	: 12.8 m ²
- Área total de parcelas	: 345.6 m ²

- **Bloques:**

- N° de bloques	: 3
- N° parcelas x bloque	: 8
- Ancho de bloque	: 4
- Largo de bloque	: 36
- Área	: 115.2 m ²

- **Calles:**

- Ancho de calles	: 1.00m.
- Largo de Calles	: 36m.
- N° de calles	: 2
- Área	: 36 m ²

3.9.3 Croquis de la parcela experimental

La distribución física de los tratamientos se hizo al azar en tres bloques, con ocho tratamientos respectivamente, como se observa en la figura 1.

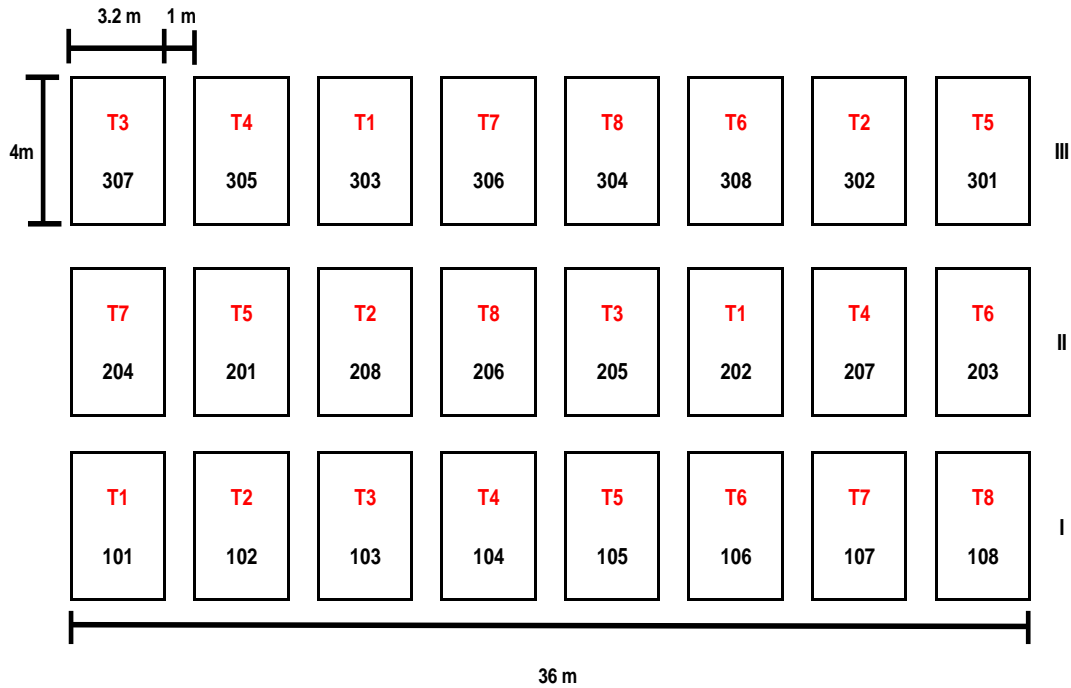


Figura 1: Croquis del experimento

3.9.4 Tratamiento estadístico

Para el procedimiento de datos se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 8 (SAS Institute Inc., 2000), con el que se realizó el análisis de varianza, las pruebas de comparación de media Duncan a un nivel de significancia de 0.05 y también se realizó el análisis de correlación para los diferentes parámetros, así mismo las características de nodulación también fueron analizadas en forma descriptiva (posición, forma y color) con el uso de escalas utilizadas por el CIAT (1988) y las recomendaciones del Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

4.1.1 Rendimiento de grano seco en frijol (kg/ha)

En el Cuadro N° 18, se observan los promedios de los rendimientos de grano seco (kg/ha) de frijol canario var. Molinero PLV 1-3, el cual varió de 2 858 a 2 123 kg/ha, siendo el promedio general de 2 511 kg/ha. Se encontró diferencias significativas para la fuente de variabilidad de los tratamientos, mientras para los bloques no se encontró diferencias estadísticas. Según el análisis de variancia (Anexo N° 1), el coeficiente de variabilidad es de 10.11%, este valor se encuentra en el rango de aceptación para trabajos realizados en campo (Calzada, 1982).

El análisis de medias del rendimiento de grano seco según Duncan al 0.05 (Cuadro N° 8 y Figura 2), nos indican que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos. El mayor valor se registró bajo las condiciones del tratamiento T5 (NPK) con un rendimiento de 2 858 kg/ha con respecto al tratamiento T6 (Testigo) que presento el menor valor con 2 123 kg/ha, determinando así una diferencia cuantitativa de 735 kg/ha; mientras los tratamientos T4 (Cepa E-14 PK) y T2 (Cepa E-10 PK) con 2 746, 2 676 kg/ha son superiores a los tratamientos T3 (Cepa E-14), T7 (PK) y T1 (Cepa E-10) con 2 563, 2 433 y 2 384 kg/ha respectivamente, que no muestran diferencias significativas entre sí y son superiores a la vez al tratamiento T8 (N⁺) con 2 307 kg/ha.

Cuadro N° 8: Prueba Duncan en el rendimiento (kg/ha) del frijol canario grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTOS	
	(kg/ha)	
T5 NPK	2858	a
T4 Ceba E-14 PK	2746	ab
T2 Ceba E-10 PK	2676	ab
T3 Ceba E-14	2563	abc
T7 PK	2433	abc
T1 Ceba E-10	2384	abc
T8 N⁺	2307	bc
T6 TESTIGO	2123	c

El tratamiento T5 (NPK) con la fórmula 80-80-60 obtuvo el mayor rendimiento, esto debido a que registró 30 vainas/planta, 4.7 granos/vaina, 86.1 cm de altura de planta y 62.4 g peso de cien semillas con un rendimiento de 2 858 kg/ha, en comparación con lo mencionado por Nuñez (2011) quien obtuvo con la misma fórmula 80-80-60, 18 vainas/planta, 4.1 granos/vaina, 38.2 cm de altura de planta y 45 g peso cien semillas en frijol Canario Centenario con un rendimiento de 2 608 kg/ha, mientras Canchari (2005) obtuvo con la fórmula de 80-40-40, 10 vaina/planta, 3.78 granos/vaina, 31.9 cm de altura de planta y 34.7 g peso de cien semillas en frijol Canario con un rendimiento de 1 208 kg/ha ambos en Costa Central; es decir, estos caracteres influyen en la buena respuesta del frijol canario var. Molinero PVL 1-3 para expresar un mayor rendimiento de grano seco.

Como se puede observar el frijol canario var. Molinero PLV 1-3 de crecimiento tipo III (indeterminado), influye en la buena respuesta para expresar un mayor rendimiento de grano seco; en relación a esta respuesta, múltiples ensayos de campo y en condiciones variadas indican que los frijoles de tipo III superan siempre los rendimientos (Villanueva, 2009; Del Castillo, 1986; Flórez, 1987) en comparación con lo trabajado por Nuñez (2011) y Canchari (2005) que son frijoles de crecimiento tipo I (determinado). Por otro lado, el tratamiento T5 (NPK) donde se realizó la aplicación de los fertilizantes inorgánicos (urea, nitrophos y cloruro de potasio), se observa que la interacción de estos muestra el mayor rendimiento, estos resultados explican debido a que estos tres elementos son indispensables individualmente en los múltiples

procesos metabólicos y formación de estructuras interaccionando positivamente sobre el crecimiento general de este cultivo; debido a que el nitrógeno promueve un rápido crecimiento, aumenta el contenido proteínico de la plantas; mientras que el fósforo promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces, formación de nódulos, participa en la estimulación de la floración, acelera la madurez y ayuda en la formación de la semilla, así mismo el potasio impulsa el enraizamiento y a obtener la calidad de semillas, frutos y tallos (Fuentes, 1999; Domínguez, 1994; Pérez, 1991 y Black, 1975). Además, se tienen referencias de ensayos en campo, que la positiva interacción de estos tres elementos han determinado mayores rendimientos (Canchari, 2005; Ortiz, 1993; Cabrera, 1983). Ello resulta como consecuencia de una mejor eficiencia y uso de los nutrientes por los cultivares cuando este dispone de cantidades equilibradas y balanceadas de nutrientes. Aun cuando el suelo presenta niveles adecuados de fósforo y potasio reportados en el análisis de suelo, la tendencia encontrada en el rendimiento, nos estaría indicando la influencia de los nutrientes aportados por el fertilizante.

El Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la UNALM y Villanueva (2009) mencionan que el frijol canario var. Molinero PLV 1-3 es de hábito de crecimiento tipo III y precoz. Es así que las variedades indeterminadas tienen floración continua, lo que significa que la planta producirá vainas constantemente y por consiguiente habrá mayor número de granos, por lo tanto el número de vainas por planta casi siempre es alta (Díaz, 2002). El hábito de crecimiento se ha visto que influye en el rendimiento porque las plantas de tipo III presentan mayor número de ramas, con más nudos por planta, y por consiguiente mayor número de vainas por planta (Villanueva, 2009).

Es importante señalar que los tratamientos T4 (Cepa E-14 PK) y T2 (Cepa E-10 PK) no tuvieron diferencias significativas entre sí; pero si tuvieron un efecto favorable en el rendimiento, asimismo el efecto de la inoculación de las cepas aplicado a las semillas antes de la siembra fue mínimo, esto se corrobora al haberse encontrado presencia significativa de nódulos; es así que los tratamientos T4 (Cepa E-14 PK) y T2 (Cepa E-10 PK) a nivel de número de nódulos se encuentran en la escala 2, indicada por el CIAT (1988), siendo de esta manera de mediano a poco el número de nódulos encontrados y por ello su aporte bajo de nitrógeno al cultivo, debido a que la cepa tiene baja eficiencia en su capacidad para fijar nitrógeno o poca capacidad competitiva por

los sitios de nodulación y por los problemas de salinidad (Cubero y Moreno, 1996; Meneses, 1996; 1982; Date, 1976). Asimismo, en relación a la interacción de las cepas con el fósforo y potasio; se observó un sistema radicular más desarrollado que en el fertilizado, lógicamente el responsable directo del crecimiento radicular es el fósforo; porque estimula el crecimiento de las raíces y pelos absorbentes, de esta manera habrá una mayor absorción de nutrientes y agua, por ende un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, además ayuda a que se incremente la nodulación y a su vez aumente la fijación biológica del nitrógeno lo que favoreció el crecimiento del cultivo (Domínguez, 1994).

En relación a los tratamientos T7 (PK) y T8 (N⁺) ambos tuvieron mayores rendimientos que el tratamiento T6 (Testigo); pero estos tratamientos son similares estadísticamente entre sí. Es importante señalar que en el T7 (PK) se encontró 2 nódulos efectivos; mientras el T8 (N⁺) no reportó nódulos efectivos en comparación con lo encontrado por Nuñez (2011), para este mismo tratamiento T8 (N⁺) encontró 5 nódulos y todos efectivos. Como se puede observar el nitrógeno provoca una disminución significativa y/o anula en el número de nódulos porque inhibe la fijación biológica del nitrógeno (Evans, 1983; Weber 1966).

Por último, en cuanto a los tratamientos solamente inoculados con las cepas T3 (Cepa E-14) y T1 (Cepa E-10) también tuvieron un efecto mínimo en el rendimiento del cultivo, los cuales no difieren entre sí; pero si presentan mayores rendimientos que el tratamiento T6 (Testigo), esto debido a que no hubo presencia significativa de nódulos efectivos, es así que el T3 (Cepa E-14) conto con 7 nódulos de los cuales 3 son efectivos y en el T1 (Cepa E-10) presento 5 nódulos de los cuales 1 es efectivo; siendo de esta manera su aporte de nitrógeno casi nulo (CIAT, 1988), esto comparado con el ensayo realizado por Villanueva (2009) con la misma cepa y la misma variedad de frijol, obtuvo el mayor rendimiento con la cepa 2 con 8 nódulos y todos efectivos; mientras Nuñez (2011) obtuvo el mayor rendimiento también con la misma cepa 2 con 23 nódulos de los cuales 21 eran efectivos; como se mencionó anteriormente esto es debido a que la cepa tiene baja eficiencia en su capacidad para fijar nitrógeno, poca capacidad competitiva por los sitios de nodulación, al inoculante y a los problemas de salinidad (Cubero y Moreno, 1996; Meneses, 1996 y CIAT, 1980).

En el tratamiento T6 (Testigo) se encontró un número bajo de nódulos nativos (no inoculados) los cuales presentan una coloración crema, lo cual nos indicaría que la eficiencia de fijación de nitrógeno de estas bacterias nativas no ha sido satisfactoria como para aumentar el rendimiento del cultivo o también se puede especular que el cultivo no respondió, porque estas bacterias serían muy exigentes en su requerimiento, y más bien se comportan como un parasito según lo señalan Meneses (1996) y Cubero y Moreno (1996). Esto concuerda con los ensayos de campo, porque no han sido satisfactorios para incrementar el rendimiento de grano seco (Nuñez, 2011; Villanueva, 2009; Canchari, 2005).

Los altos rendimientos obtenidos con el tratamiento T5 (NPK) podrían deberse a las condiciones favorables de temperatura (Cuadro N° 1) que en promedio fue de 17.6 °C y la alta humedad relativa de 85.3%, esto concuerda con lo mencionado por Villanueva (2009) en las mismas condiciones para el desarrollo del cultivo del frijol de la misma variedad. Asimismo, la diferencia se da en las condiciones edáficas (Cuadro N° 2) al trabajar con las mismas cepas, el tratamiento T3 (Cepa E-14) obtuvo un rendimiento de 2 563 kg/ha comparado con el tratamiento T3 (Cepa 2) de Villanueva (2009) con un rendimiento de 2 906 kg/ha, esto debido a que nuestro suelo contiene 1.00 dS/m de salinidad; es decir ligeramente salino, con materia orgánica baja con 0.9%; con P disponible de 7.5 ppm y K disponible de 126 ppm con clasificación media para ambos y 4.1% de carbonato de calcio que modifica la estructura del suelo, la actividad biológica de los microorganismos y el bloqueo de algunos macro y micronutrientes (Perales *et al.*; 2000); además es un suelo con mucho laboreo comparado con el suelo de Villanueva (2009) que presenta 0.48 dS/m de salinidad; es decir muy ligeramente salino, materia orgánica media con 2.2%, con P disponible de 56 ppm y K disponible de 290 ppm con clasificación alta para ambos, 1.2% de carbonato de calcio y es un suelo en descanso por más de 12 años; ambos suelos son Franco arenoso; es por eso que se ve una gran diferencia en cuanto a los rendimientos y al número de nódulos respecto de Villanueva (2009) que tuvieron una respuesta positiva en el crecimiento y desarrollo del cultivo mostrando la var. Molinero PLV 1-3 su potencial expresados en los altos rendimientos obtenidos (Valladolid, 1993); mientras con la clasificación de nuestro suelo se podría decir que si hubo una pequeña respuesta a la inoculación de *Rhizobium* por eso se evidencio un pequeño incremento del rendimiento; sin embargo, las condiciones no fueron las mejores por presencia de salinidad y carbonatos en el

suelo pudiendo afectar al cultivo y sobretodo reducir la actividad del *Rhizobium sp.*, afectando así la simbiosis entre el frijol y la bacteria. Este resultado podría ser corroborado por Coaquira (2014), quien señala que la sensibilidad del proceso de fijación simbiótica a la salinidad requiere de la adaptación de ambos simbioses; ya que el exceso de sales afecta el proceso de infección y desarrollo del nódulo como el funcionamiento y eficiencia de la fijación, así mismo el proceso de iniciación nodular es sensible a la salinidad (Meneses, 1996). Por otro lado Gonzales (2013), indica trabajando a nivel de invernadero, la cepa E-10 y cepa E-14 tienen la capacidad de nodular en frijol, crecen bien a temperaturas de 28°C a 37°C, a pH 4 a 8.8 y toleran mínimo hasta 0.5% de NaCl.

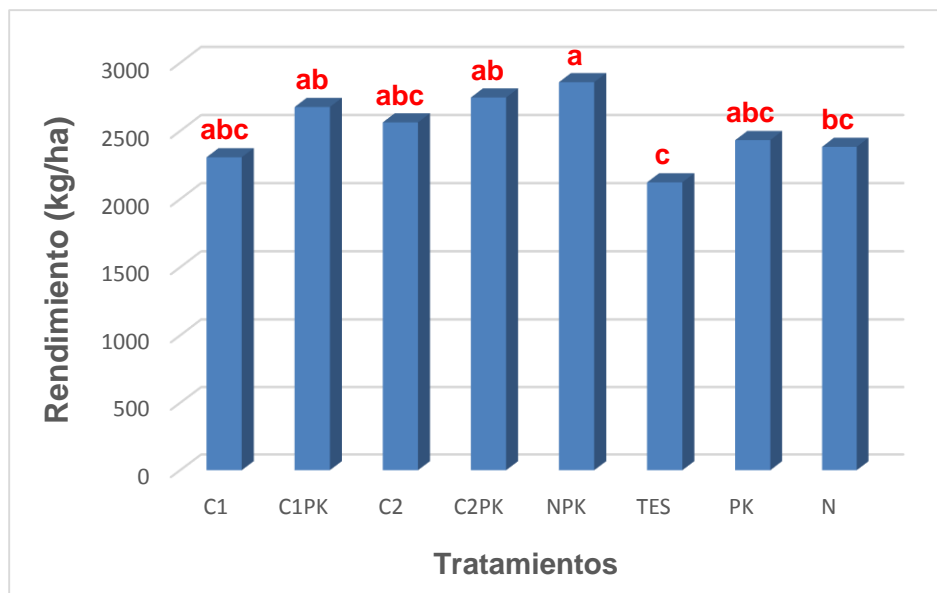


Figura N° 2: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo–potásica en el rendimiento del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.2 Número Vainas por planta

En el Cuadro N° 18, se presentan los promedios del número de vainas por planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3, observándose una variación entre 30 a 19 vainas/planta, alcanzando un promedio de 25 vainas/planta. El análisis de variancia (Anexo N° 1), muestra diferencias estadísticas para la fuente de variabilidad de los tratamientos. No se encontró diferencias estadísticas para los bloques. El coeficiente de variabilidad fue de 14.03%, que se ubica dentro del rango establecido para los trabajos de campo (Calzada, 1982).

El análisis de medias del rendimiento de grano seco según Duncan al 0.05 (Cuadro N° 9 y Figura N° 3) nos indican que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos, el máximo valor se registró bajo las condiciones del tratamiento T5 (NPK) con 30 vainas/planta superando al tratamiento T6 (Testigo) con 19 vainas/planta, determinando así una diferencia de 11 vainas/planta. El tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 27 vainas/planta es superior a los tratamientos T2 (Cepa E-10 PK), T7 (PK) y T3 (Cepa E-14) con 25, 24 y 24 vainas/planta que no muestran diferencias significativas entre sí y son superiores a los tratamientos T8 (N⁺) y T1 (Cepa E-10) con 23 y 22 vainas/planta respectivamente en comparación al tratamiento T6 (Testigo) con 22 vainas/planta.

Cuadro N° 9: Prueba Duncan del número de vainas en frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	N° VAINAS
T5 NPK	30 a
T4 Cepa E-14 PK	27 ab
T2 Cepa E-10 PK	25 abc
T7 PK	24 abc
T3 Cepa E-14	24 abc
T8 N⁺	23 bc
T1 Cepa E-10	22 bc
T6 TESTIGO	19 c

El promedio general fue de 25 vainas/planta y es menor a lo encontrado por Villanueva (2009) y Paima (2005) con 29 y 32 vainas/planta respectivamente. Esta diferencia se debe al uso de la fertilización con abonos orgánicos (Aminovigor y Compost) frente a la fertilización inorgánica que se realizó en la parcela. Por ello el número de vainas por planta es una variable muy importante y tiene una asociación directa con el rendimiento. Además, Del Castillo (1986) encontró que las líneas con mayor número de vainas corresponden a plantas con hábito de crecimiento tipo III, debido a que producen mayor número de inflorescencias que dan origen a un mayor número de vainas por planta coincidiendo con Villanueva (2009).

Asimismo, estos resultados son explicados en la medida que el número de vainas/planta son caracteres hereditarios controlados por factores genéticos propios de

la planta Nuñez (2011) y Villanueva (2009). En forma general se nota que el efecto del nitrógeno, fósforo, potasio, y en combinación son los factores que modifican principalmente el número de vainas/planta, esto es explicable debido a la importancia que tienen estos elementos en las funciones vitales de la planta.

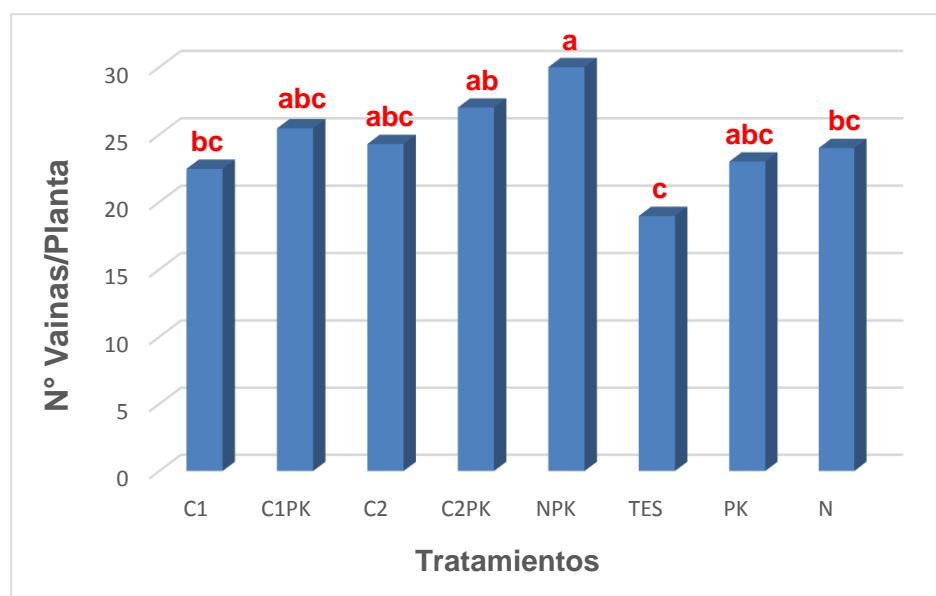


Figura N° 3: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo-potásica en el número de vainas/ planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.3 Número de granos por vaina

En el Cuadro N° 18, se presentan los promedios del número de granos/vaina de la var. Molinero PLV 1-3 y los resultados varían entre 4.7 a 3.5 granos/vaina, con un promedio de 3.9 granos/vaina. El análisis de variancia (Anexo N° 1) muestra diferencias estadísticas para la variabilidad de los tratamientos. No se encontró diferencias estadísticas para los bloques. El coeficiente de variabilidad fue de 8.86%, que se ubica dentro del rango establecido para los trabajos de campo (Calzada, 1982). La prueba de comparación de medias de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 10 y Figura N° 4), muestra que el tratamiento T5 (NPK) con fórmula 80-60-60 sobresalió con 4.7 granos/vaina en comparación con Nuñez (2011) que obtuvo con el tratamiento T2 (NPK) y la misma fórmula 4.0 granos/vaina y Canchari (2005) con el tratamiento T5 (NPK) y fórmula 80-40-40 obtuvo 3.7 granos/vaina; asimismo, seguido del tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 4.3 granos/vaina siendo superior a los tratamientos T7 (PK), T2 (Cepa E-10 PK), T3 (Cepa E-14) y T8 (N⁺) con 3.9, 3.9, 3.8 y 3.8

granos/planta respectivamente y que no muestran diferencias estadísticas entre sí, y difieren de los tratamientos T1 (Cepa E-10) y T6 (Testigo) con 3.6 y 3.5 granos/planta respectivamente.

Cuadro N° 10: Prueba Duncan del número de granos/vaina del frijol var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	N° GRANOS POR VAINA	
T5 NPK	4.7	a
T4 Cepa E-14 PK	4.3	ab
T7 PK	3.9	bc
T2 Cepa E-10 PK	3.9	bc
T3 Cepa E-14	3.8	bc
T8 N⁺	3.8	bc
T1 Cepa E-10	3.6	c
T6 TESTIGO	3.5	c

El tratamiento T5 (NPK) obtuvo el mayor número de granos/vainas, esto podría deberse a que la interacción de la fertilización inorgánica favoreció el desarrollo radicular y del follaje, éstos permitieron una mayor producción de fotosintatos para un mayor número de granos (Black, 1975) por ello al igual que el número de vainas/planta, este parámetro también se ve influenciado por los caracteres hereditarios controlados por factores genéticos propios de la planta, que además conserva estabilidad y es poco influenciado por los factores externos Nuñez (2011), Villanueva (2009) y Del Castillo (1986).

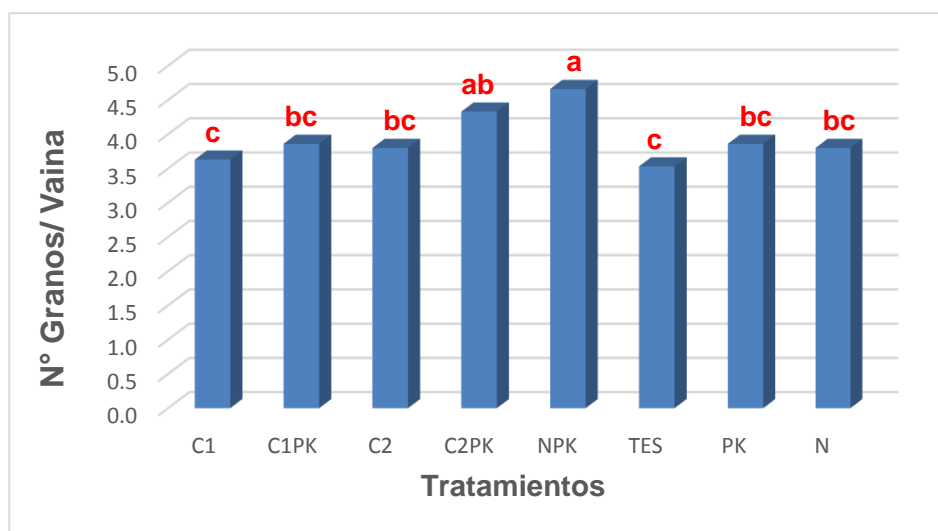


Figura N° 4: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo-potásica en el número de granos/vainas del frijol var. Molinero PLV 1-3.

4.1.4 Número de lóculos por vaina

En el Cuadro N° 18, se presentan los promedios del número de lóculos por vaina, observándose una variación entre 4.8 a 3.5 lóculos/vaina, alcanzando un promedio de 4.0 lóculos/vaina. El análisis de variancia (Anexo N° 1), muestra diferencias significativas para fuente de variabilidad de los tratamientos. No se encontró diferencias estadísticas para los bloques. El coeficiente de variabilidad fue de 8.4%, que se ubica dentro del rango establecido para los trabajos de campo (Calzada, 1982).

El análisis de medias según Duncan al 0.05 (Cuadro N° 11 y Figura N° 5) indica que si hay diferencias significativas en los tratamientos, el máximo valor se registró bajo las condiciones del tratamiento T5 (NPK), superando al tratamiento T6 (testigo) en 1.3 lóculos/vaina.

El tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 4.4 lóculos/vaina es superior a los tratamientos T8 (N⁺), T2 (Cepa E-10 PK), T7 (PK) y T3 (Cepa E-14) con 4.0, 4.0, 3.9 y 3.8 lóculos/vaina respectivamente, no muestran diferencias significativas entre si y son superiores a los tratamientos T1 (Cepa E-10) y T6 (Testigo) con 3.6 y 3.5 lóculos/vaina; estas respuestas derivan del hecho de que el número de lóculos por vaina es un carácter hereditario, dependen más de los caracteres fisiológicos internos de la

planta que los factores externos; el cual no es modificado por los cambios de medio ambiente edáfico, no obstante, se afecta la capacidad de la planta para completar un tamaño y peso característico de cada variedad Villanueva (2009).

Cuadro N° 11: Prueba Duncan del número de lóculos/vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	N° LÓCULOS POR VAINA
T5 NPK	4.8 a
T4 Cepa E-14 PK	4.4 ab
T8 N⁺	4.0 bc
T2 Cepa E-10 PK	4.0 bc
T7 PK	3.9 bc
T3 Cepa E-14	3.8 bc
T1 Cepa E-10	3.6 c
T6 TESTIGO	3.5 c

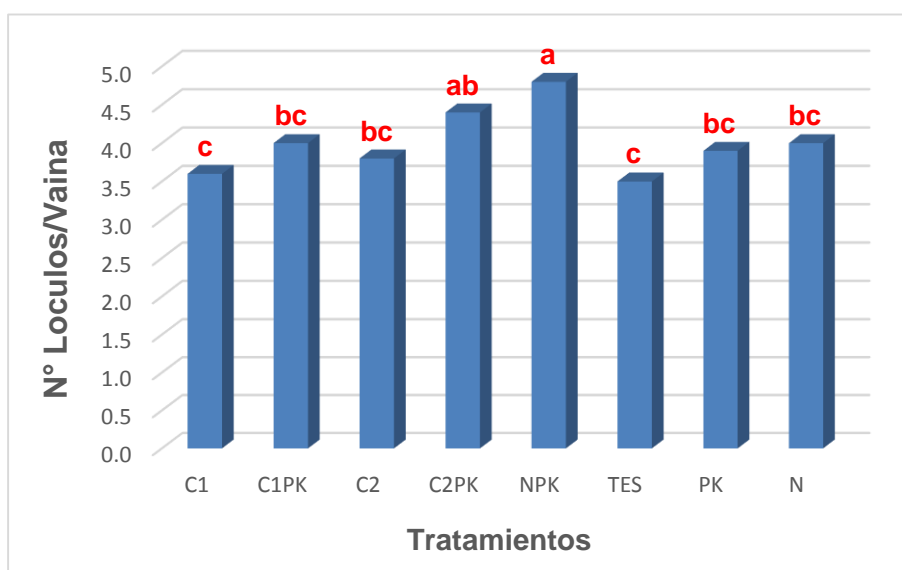


Figura N° 5: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo-potásica en el número de lóculos/vainas del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.5 Peso de 100 semillas (g)

En el Cuadro N° 18, se presentan los promedios del peso de cien semillas de grano seco var. Molinero PLV 1-3 y los resultados varían entre 62.4 a 49.2 granos, con un promedio de 55.1 gramos. El análisis de variancia (Anexo N° 1) muestra diferencias significativas tanto para la fuente de variabilidad de los tratamientos y bloques. El coeficiente de variabilidad fue de 7.75%, que se ubica dentro del rango establecido para los trabajos de campo (Calzada, 1982).

La prueba de comparación de medias de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 12 y Figura 6), muestra que el tratamiento T5 (NPK) sobresale con 62.4 gramos; mientras que el tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 59.5 gramos es superior a los tratamientos T7 (PK), T2 (Cepa E-10 PK) y T3 (Cepa E-14) con 56.1, 55.9 y 54.2 gramos respectivamente que no muestran diferencias estadísticas entre sí; a su vez son superiores a los tratamientos T1 (Cepa E-10) y T8 (N⁺) con 52.2 y 51.6 gramos, seguido del tratamiento T6 (Testigo) con 49.2 gramos.

Cuadro N° 12: Prueba Duncan del peso cien semillas del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	PESO DE 100 SEMILLAS (g)	
T5 NPK	62.4	a
T4 Cepa E-14 PK	59.5	ab
T7 PK	56.1	abc
T2 Cepa E-10 PK	55.9	abc
T3 Cepa E-14	54.2	abc
T1 Cepa E-10	52.2	bc
T8 N⁺	51.6	bc
T6 TESTIGO	49.2	c

Los efectos de la interacción de los tres elementos favoreció el peso de cien semillas, asimismo el potasio es esencial para la formación y transferencia de almidones, azúcares y aceites mejorando el llenado y calidad de los granos (peso seco) (Fuentes, 1999; Gross 1981).

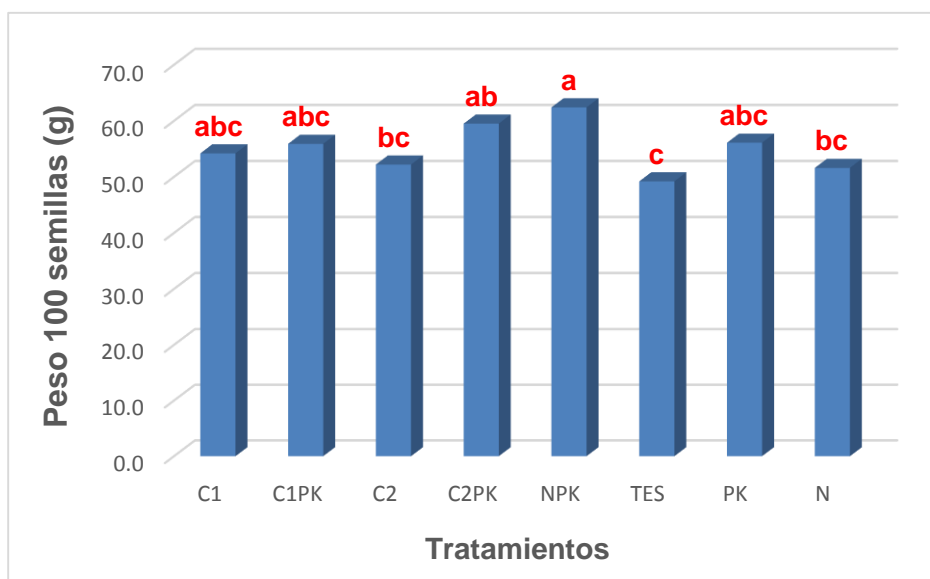


Figura N° 6: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo–potásica en el peso 100 semillas del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.6 Índice de cosecha (%)

En el Cuadro N° 18, se presenta los promedios del índice de cosecha del grano seco var. Molinero PLV 1-3, observándose una variación entre 59.7 a 46.7% de índice de cosecha, alcanzando un promedio de 54.2% de índice de cosecha. El análisis de variancia (Anexo N° 1), no muestra diferencias significativas para la fuente de variabilidad de los tratamientos y bloques. El coeficiente de variabilidad fue de 7.64%, que se ubica dentro del rango establecido para los trabajos de campo (Calzada, 1982).

El análisis de medias según Duncan al 0.05 (Cuadro N° 13 y Figura N° 7), los tratamientos T5 (NPK), T4 (Cepa E-14 PK), T2 (Cepa E-10 PK), T1 (Cepa E-10), T8 (N⁺), T3 (Cepa E-14), T7 (PK) y T6 (Testigo) no muestran diferencias significativas entre sí. Pero este parámetro está relacionado con el rendimiento de los cultivos de frijol, donde se aprecia cuantitativamente una tendencia en aumento en el índice de cosecha de los tratamientos bajo la fertilización inorgánica y la inoculación de *Rhizobium sp.*, donde los componentes del rendimiento (peso de 100 semillas, número de granos/vaina) son favorables y afectan positivamente en el índice de cosecha (Flórez, 1987 y Del Castillo, 1986).

Cuadro N° 13: Prueba Duncan del índice de cosecha del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	ÍNDICE DE COSECHA (%)
T5 NPK	59.7 a
T4 Ceba E-14 PK	57.6 a
T2 Ceba E-10 PK	56.4 a
T1 Ceba E-10	54.9 a
T8 N ⁺	53.3 a
T3 Ceba E-14	53.1 a
T7 PK	51.8 a
T6 TESTIGO	46.7 a

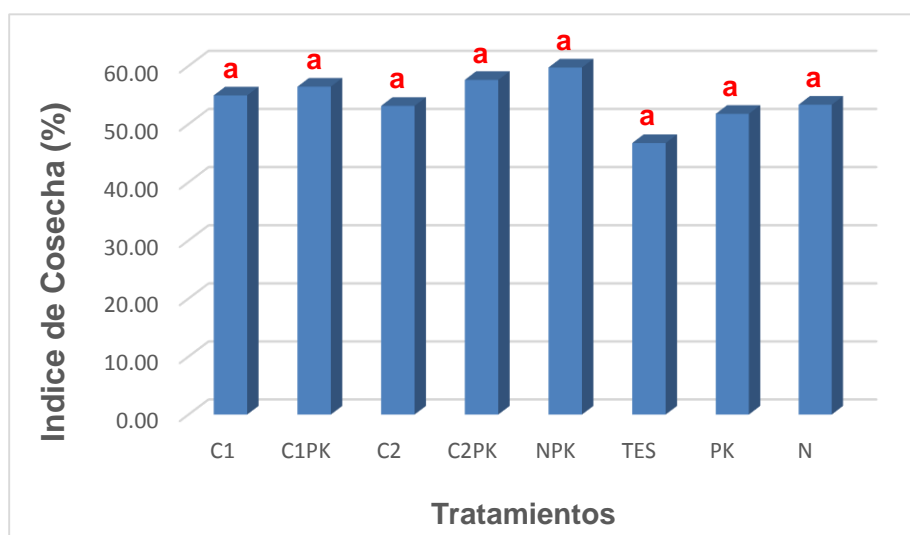


Figura N° 7: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfotásica en el índice de cosecha del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.7 Altura de planta (cm)

En el Cuadro N° 18, se presentan los promedios de altura de planta del frijol var. Molinero PLV 1-3, observándose una variación entre 86.1 a 62.5 cm de altura, alcanzando un promedio de 75 cm. El análisis de variancia (Anexo N° 2), no muestra diferencias estadísticas significativas para las fuentes de variabilidad de los tratamientos y bloques. El coeficiente de variabilidad fue de 13.94%, que se ubica dentro del rango establecido para los trabajos de campo (Calzada, 1982).

El análisis de medias según Duncan al 0.05 (Cuadro N° 14 y Figura N° 8), indica que no existen diferencias para este tratamiento en estudio. Sin embargo el mayor valor se encontró bajo las condiciones del tratamiento T5 (NPK) con 86.1 cm de altura, superando al tratamiento T6 (Testigo) en 23.6 cm de altura. Esto podría deberse al efecto de la fertilización inorgánica que favoreció en el desarrollo del balance hormonal de la planta y la capacidad fotosintética, así mismo el efecto del fósforo, ya que este elemento se encuentra presente en los tejidos meristemáticos, que son sede de un activo crecimiento (Rodríguez, 1996) siendo los demás tratamientos similares entre si estadísticamente.

Asimismo para este experimento se observó que las plantas tienen un buen porte con un promedio general de 75 cm de altura de planta comparado con estudios de Villanueva (2009) con esta misma variedad obtuvo 102 cm de altura de planta esto debido a que trabajo con Biofertilizantes y Compost; pero como se puede observar los genotipos y líneas de frijol canario que presentaron mayor altura de planta fueron los de hábito de crecimiento tipo III quienes a su vez presentaron mayor rendimiento (Villanueva, 2009; Flórez, 1987 y Del Castillo, 1986).

Cuadro N° 14: Prueba Duncan de la altura de planta (cm) del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	ALTURA DE PLANTA (cm)	
T5 NPK	86.1	a
T4 Cepa E-14 PK	81.8	a
T8 N⁺	79.0	a
T2 Cepa E-10 PK	76.8	a
T7 PK	72.3	a
T3 Cepa E-14	72.1	a
T1 Cepa E-10	69.2	a
T6 TESTIGO	62.5	a

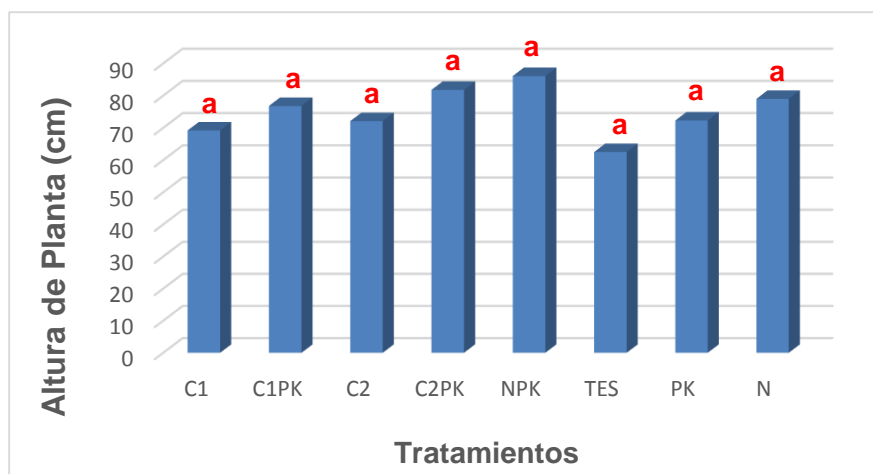


Figura N° 8: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo–potásica en altura de planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.8 Número de ramas por planta

En el Cuadro N° 18, se aprecia los promedios de las evaluaciones para este carácter, el número de ramas vario entre 4.1 a 2.6 por planta, con un promedio de 3,2 ramas. El análisis de variancia (Anexo N° 2) muestra que hay diferencias significativas para la fuente de variabilidad de tratamientos. No se encontró diferencias significativas en bloques, obteniendo un coeficiente de variabilidad de 10.20%, lo cual es permitido para este tipo de experimentos hecho en campos (Calzada, 1982).

La prueba de comparación de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 15 y Figura N° 9), muestra que el tratamiento T5 (NPK) con 4.1 ramas supero a los demás tratamientos, seguido del tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 3.7 ramas, y del tratamiento T2 (Cepa E-10 PK) con 3.3 ramas, los que tuvieron más ramas por planta que los tratamientos T8 (N⁺), T7 (PK) y T3 (Cepa E-14) con 2.9, 3.1 y 3.1 ramas respectivamente que son no significativos entre sí, con respeto a los tratamientos T1 (Cepa E-10) y T6 (Testigo) con 3.2 y 2.6 ramas por planta, esto debido a que las variedades de hábito tipo III, presentan mayor altura, debido a que las plantas indeterminadas tienen un mayor desarrollo de nudos; mayor número de ramas y siguen creciendo aun después de la floración formando mayor número de flores, por ende mayor número de vainas (Villanueva 200 y Nuñez, 2011).

Cuadro N° 15: Prueba Duncan del número de ramas por planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	N° RAMAS/PLANTA
T5 NPK	4.1 a
T4 Cepa E-14 PK	3.7 ab
T2 Cepa E-10 PK	3.3 bc
T8 N⁺	3.2 bcd
T7 PK	3.1 bcd
T3 Cepa E-14	3.1 bcd
T1 Cepa E-10	2.9 cd
T6 TESTIGO	2.6 d

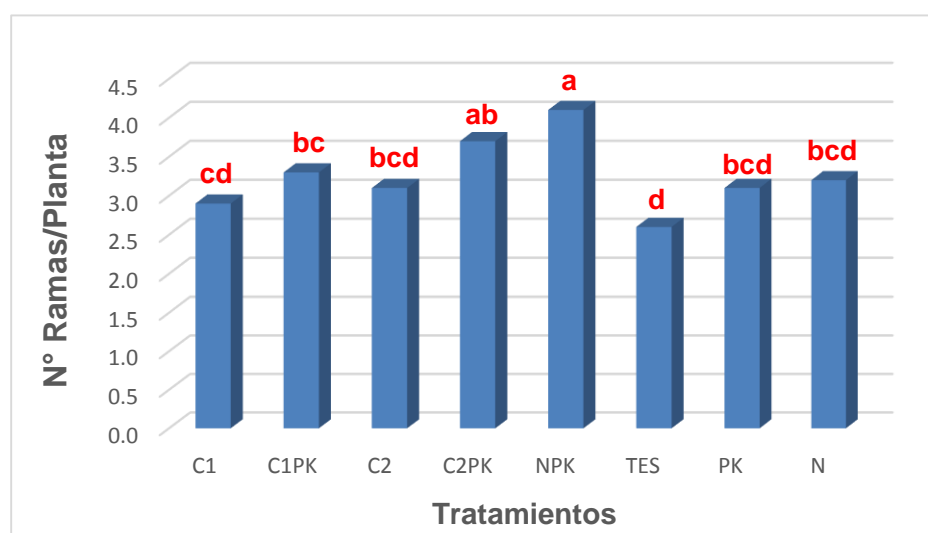


Figura N° 9: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfopotásica en el número de ramas por planta var. Molinero PLV 1-3.

4.1.9 Longitud de vainas (cm)

El promedio del parámetro longitud de vaina del grano seco var. Molinero PLV 1-3, registrado en el Cuadro N° 18. La longitud de vaina vario entre 12.8 a 11.2 cm y el promedio general fue de 12 cm de longitud de vaina. El análisis de variancia (Anexo N° 2) muestra que no hay diferencias estadísticas significativas para la fuente de variabilidad de bloques y tratamientos, obteniendo un coeficiente de variabilidad de 12.61%, lo cual está permitido para este tipo de experimentos de campo (Calzada, 1982).

La prueba de comparación de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 16 y Figura N° 10), muestra que en los tratamientos T5 (NPK), T4 (Cepa E-14 PK), T2 (Cepa E-10 PK), T8 (N⁺), T7 (PK), T3 (Cepa E-14), T1 (Cepa E-10) y T6 (Testigo) no existen diferencias estadísticas. Esto nos indica que no existe influencia de los tratamientos en la longitud de vainas. La longitud de vaina es un factor genético y que no está influenciado por el medio ambiente, y también sería una característica de la variedad por eso su homogeneidad para este parámetro.

Cuadro N° 16: Prueba Duncan de la longitud de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	LONGITUD DE VAINA (cm)	DE
T5 NPK	12.8	a
T4 Cepa E-14 PK	12.6	a
T2 Cepa E-10 PK	12.4	a
T8 N ⁺	12.1	a
T7 PK	11.8	a
T3 Cepa E-14	11.8	a
T1 Cepa E-10	11.5	a
T6 TESTIGO	11.2	a

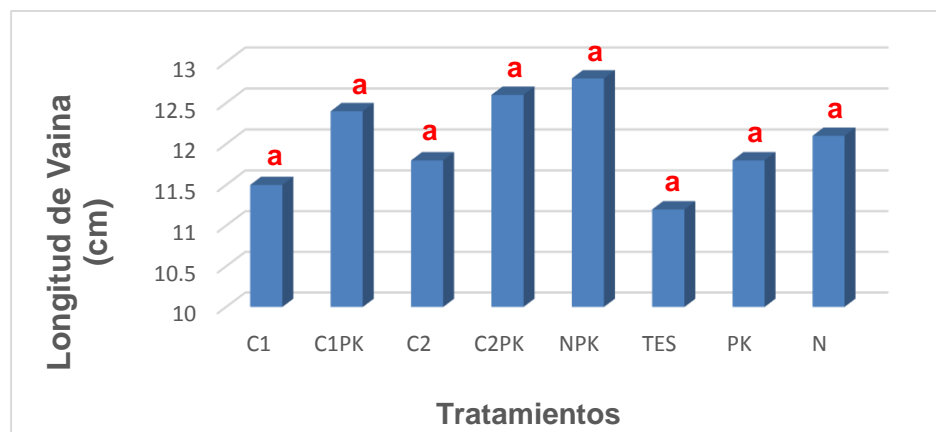


Figura N° 10: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo-potásica en la longitud de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.1.10 Ancho de vainas (cm)

Los promedios de la variable ancho de vaina del grano seco var. Molinero PLV 1-3, se muestra en el Cuadro N° 18. Observándose entre 1.115 a 1.110 cm, con un promedio de 1.112 cm. El análisis de variancia (Anexo N° 2) muestra que no hay diferencias significativas para las fuentes de variación de tratamientos y bloques, se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 3.55%, este valor se encuentra en el rango de aceptación para trabajos realizados en campo (Calzada, 1982).

La prueba de comparación de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 17 y Figura N° 11), indica que no existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. El promedio general obtenido para el ancho de vaina es de 1.112 cm, es decir, ningún tratamiento sobresalió más que los demás, esto quiere decir que no existe influencia en la fertilización inorgánica ni en el uso de *Rhizobium*; manteniendo un ancho homogéneo que podría ser una característica genética de la variedad.

Cuadro N° 17: Prueba Duncan del ancho de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	ANCHO DE VAINAS (cm)	
T7 PK	1.112	a
T2 Cepa E-10 PK	1.114	a
T4 Cepa E-14 PK	1.114	a
T5 NPK	1.115	a
T3 Cepa E-14	1.113	a
T8 N⁺	1.112	a
T1 Cepa E- 10	1.111	a
T6 TESTIGO	1.110	a

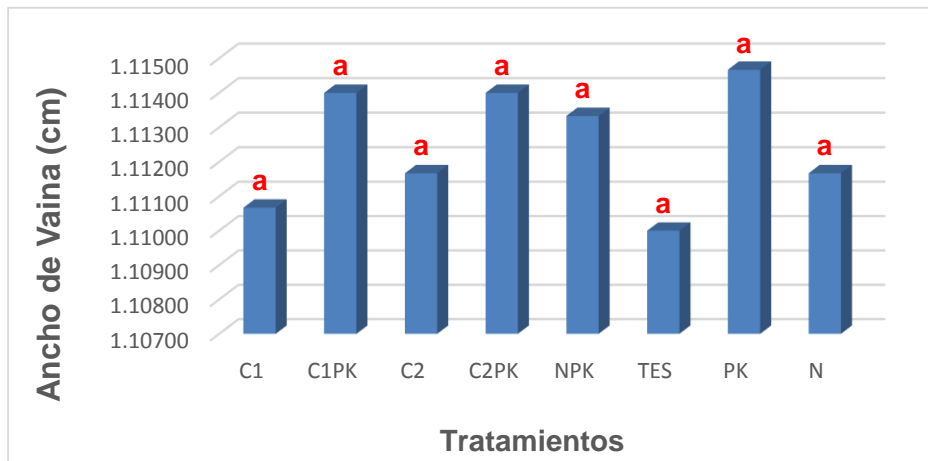


Figura N° 11: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo- potásica en el ancho de vaina del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

Cuadro N° 18: Prueba Duncan de las variables evaluadas del rendimiento y sus componentes del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.

TRATAMIENTOS	Rendimiento (kg/ha)	Altura de Planta (cm)	Nº Vainas por planta	Nº Granos por vaina	Nº Lóculos por vaina	Peso 100 semillas (g)	Nº Ramas por planta	Longitud de vainas (cm)	Ancho de vainas (cm)	Índice de cosecha (%)
T5 NPK	2858 a	86.1 a	30 a	4.7 a	4.8 a	62.4 a	4.1 a	12.8 a	1.115 a	59.7 a
T4 C2PK	2746 ab	81.8 a	27 ab	4.3 ab	4.4 ab	59.5 ab	3.7 ab	12.6 a	1.114 a	57.6 a
T2 C1PK	2676 ab	76.8 a	25 abc	3.9 bc	4.0 bc	55.9 abc	3.3 bc	12.4 a	1.114 a	56.4 a
T3 C2	2563 abc	72.1 a	24 abc	3.8 bc	3.8 bc	54.2 abc	3.1 bcd	11.8 a	1.113 a	53.1 a
T7 PK	2433 abc	72.3 a	24 abc	3.9 bc	3.9 bc	56.1 abc	3.1 bcd	11.8 a	1.112a	51.8 a
T8 N	2307 bc	79.0 a	23 bc	3.8 bc	4.0 bc	51.6 bc	3.2 bcd	12.1 a	1.112 a	53.3 a
T1 C1	2384 abc	69.2 a	22 bc	3.6 c	3.6 c	52.2 bc	2.9 cd	11.5 a	1.111 a	54.9 a
T6 TESTIGO	2123 c	62.5 a	19 c	3.5 c	3.5 c	49.2 c	2.6 d	11.2 a	1.110 a	46.7 a
PROMEDIO	2511.3	75.0	25.0	3.9	4.0	55.1	3.2	12.0	1.112	54.2

4.2 CARACTERÍSTICAS DE NODULACIÓN

4.2.1. Altura de Planta (cm)

Los promedios del carácter altura de planta del grano seco var. Molinero PLV 1-3 en la nodulación, vario entre 71.5 a 57.8 cm, con un promedio de 62.2 cm (Cuadro N° 27). El análisis de variancia (Anexo N° 3) muestra que no hay diferencias estadísticas significativas para las fuentes de variación de tratamientos y bloques. Con un coeficiente de variabilidad de 7.48%, lo cual está permitido para este tipo de experimentos de campo (Calzada, 1982).

La prueba de comparación de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 19 y Figura N° 12), indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Pero el tratamiento T5 (NPK) obtuvo la mayor altura de planta en comparación con el T6 (Testigo).

Cuadro N° 19: Prueba Duncan de altura de planta – nodulación del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	NODULACIÓN - ALTURA DE PLANTA (cm)	
	T5 NPK	71.5
T4 Cepa E-14 PK	69.2	a
T7 PK	68.7	a
T2 Cepa E-10 PK	67.3	a
T8 N ⁺	67.1	a
T3 Cepa E-14	66.5	a
T1 Cepa E-10	61.6	a
T6 TESTIGO	57.8	a

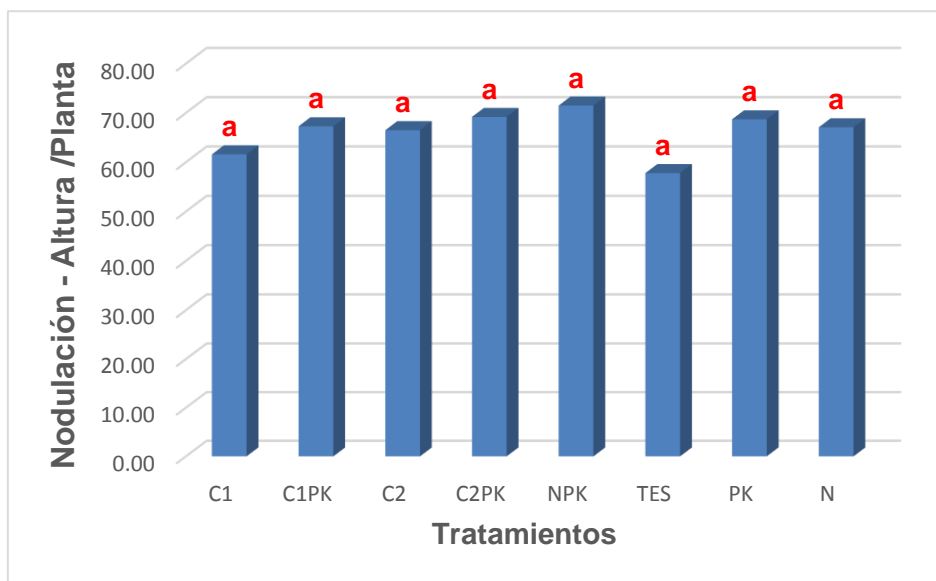


Figura N° 12: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo–potásica en altura de planta – nodulación del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4. 2.2. Peso Fresco de la Planta (g)

Los promedios del peso fresco de follaje del grano seco var. Molinero PLV 1-3 en la nodulación, vario entre 99.2 a 77.5 gramos, siendo el promedio general de 87.4 gramos (Cuadro N° 27). El análisis de variancia (Anexo N° 3), indica que no hay diferencia estadísticas significativas para la fuente de variación de tratamientos y de bloques. Con un coeficiente de variabilidad de 10.18%, el cual se ubica dentro del rango permitido para este tipo de experimentos en campo (Calzada, 1982).

El análisis de medias según Duncan al 0.05 (Cuadro N° 20 y Figura N° 13), indica al igual que el análisis de variancia que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. El mayor valor se presenta bajo las condiciones del tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 99.2 gramos respecto del tratamiento T6 (Testigo) con 77.5 gramos.

Cuadro N° 20: Prueba Duncan del peso fresco de la planta frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	PESO FRESCO DE PLANTA (g)	
T4 Cepa E-14 PK	99.2	a
T5 NPK	98.5	a
T2 Cepa E-10 PK	89.4	a
T7 PK	88.2	a
T3 Cepa E-14	85.2	a
T8 N ⁺	82.1	a
T1 Cepa E-10	79.0	a
T6 TESTIGO	77.5	a

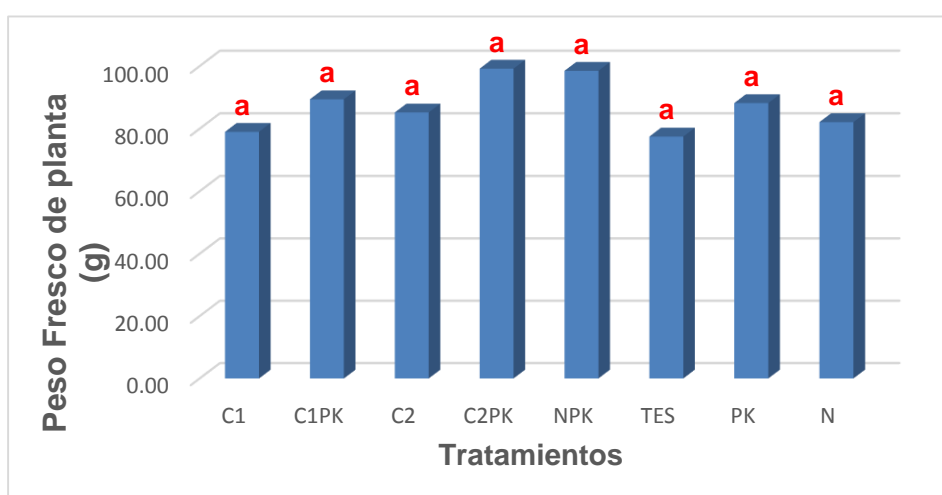


Figura N° 13: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo-potásica del peso fresco de la planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.2.3. Peso Seco de la Planta (g)

En el Cuadro N° 23, se observa el promedio del peso seco de la planta del grano seco var. Molinero PLV 1-3 en la nodulación con 12.9 gramos, y vario entre 17.23 a 10.16 gramos. El análisis de variancia (Anexo N° 3), indica que no hay diferencia estadísticas significativas para la fuente de bloques y tratamientos. Con un coeficiente de variabilidad de 10.10%, el cual se ubica dentro del rango permitido para este tipo de experimentos en campo (Calzada, 1982).

Al realizarse la prueba de comparación múltiple de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 21, Figura 14), nos indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en estudio, el mayor valor con el tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con 17.23 gramos y el tratamiento con menor peso seco de planta lo obtuvo el tratamiento T6 (Testigo) con 10.16 gramos respectivamente.

Cuadro N° 21: Prueba Duncan del peso seco de la planta frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	PESO SECO DE PLANTA (g)	
T4 Cepa E-14 PK	17.2	a
T2 Cepa E-10 PK	15.2	a
T5 NPK	13.8	a
T7 PK	13.2	a
T3 Cepa E-14	11.4	a
T8 N ⁺	10.9	a
T1 Cepa E-10	10.7	a
T6 TESTIGO	10.2	a

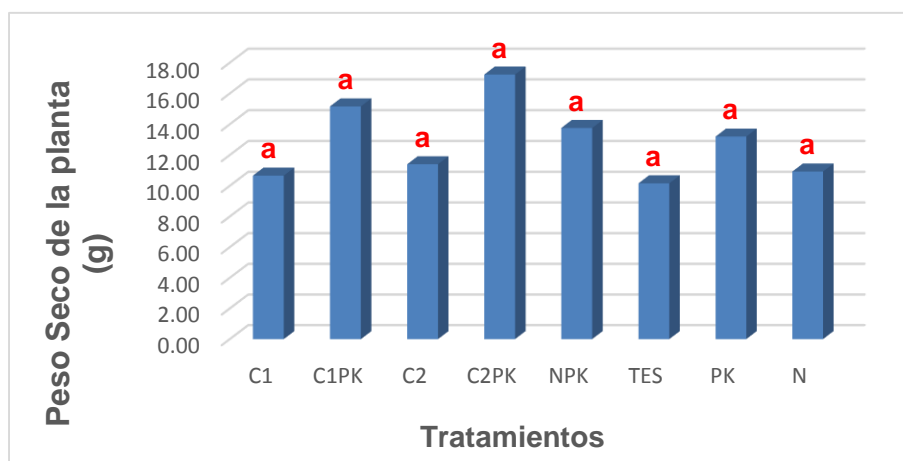


Figura N° 14: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo–potásica del peso seco de la planta del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.2.4. Número Total de Nódulos por Planta

En el Cuadro N° 27, se observa el análisis de variancia para el número de nódulos por planta en frijol variedad Molinero PLV 1-3. Donde indica que existe diferencia

significativa a nivel de tratamientos y bloques. El coeficiente de variabilidad es de 13.75% (Anexo N° 3) estando en los rangos permitidos para este tipo de ensayos según Calzada (1982) y un promedio de 7 nódulos por planta.

Al realizarse la prueba de comparación múltiple de Duncan al 0.05 (Cuadro N° 22 y Figura 15), indica que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos. El tratamiento T4 (Cepa E-14 PK) con un mayor número de nódulos por planta, seguido del tratamiento T2 (Cepa E-10 PK), T3 (Cepa E-14) y T1 (Cepa E-10) muestra diferencias significativas entre sí. Y los tratamientos T7 (PK), T8 (N⁺), T6 (TESTIGO) y T5 (NPK) no muestran diferencias significativas y registran los menores valores de nódulos por planta.

Cuadro N° 22: Prueba Duncan números de nódulos del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS		N° NODULOS POR PLANTA	
T4	Cepa E-14 PK	21	a
T2	Cepa E-10 PK	12	b
T3	Cepa E-14	7	c
T1	Cepa E-10	5	d
T7	PK	3	e
T8	N ⁺	2	e
T6	TESTIGO	2	e
T5	NPK	2	e

Para este estudio el promedio general obtenido fue de 7 nódulos por planta, mientras Villanueva (2009) menciona que obtuvo 16 nódulos en promedio y Nuñez (2011) indica que obtuvo 12 nódulos en promedio, siendo superior respecto a lo obtenido por nosotros con las mismas cepas de *Rhizobium sp.*, según la escala indicada por CIAT (1988) alcanzo la escala 1 con una denominación de poca, porque presento entre 1 a 10 nódulos por planta en promedio.

La adición del fósforo y potasio en los tratamientos: T4 (Cepa E-14 PK) y T2 (Cepa E-10 PK) ayudo en el proceso de nodulación, por ello se encontró el mayor número de nódulos; es así que el fósforo tuvo un efecto positivo, donde se puede observar la

importancia que tiene este elemento en las fases infectivas de la nodulación, siendo su efecto ejercido directamente sobre la bacteria (Cubero y Moreno, 1996). Asimismo la utilización eficiente del fósforo en la fijación simbiótica de nitrógeno está estrechamente relacionado con una adecuada participación del fósforo entre la planta y las raíces noduladas, y entre la raíz y el nódulo (Israel, 1991). Mientras que el efecto del potasio es únicamente en presencia del fósforo (Thompson y Thoeh, 1988). Del Castillo (1986) menciona que el fósforo estimula también la formación de nódulos y el desarrollo del sistema radicular.

En los tratamientos T3 (Cepa E-14) y T1 (Cepa E-10), se encontró 7 y 5 nódulos respectivamente, con respecto a lo observado por Nuñez (2011) obtuvo 23 nódulos con cepa C2 y 18 nódulos con cepa C1, así mismo Villanueva (2009) encontró 8 nódulos para la cepa C2 y 35 nódulos para la cepa C1, de los cuales 21 eran no efectivos; esto debido que el cultivo de frijol canario variedad Molinero PLV 1-3, parece muy sensible a la salinidad y a los tratamientos de inoculación (Villanueva, 2009), por ello un resultado significativamente bajo. Cubero y Moreno (1996), Meneses (1996) indican que la selección de cepas debe realizarse bajo los siguientes criterios: primero debe presentar tolerancia a las condiciones locales, segundo que tenga un amplio espectro de efectividad y tercero que tenga estabilidad genética; así mismo, Date (1976) recomienda de la eficiencia de la fijación de nitrógeno en condiciones variables del suelo, capacidad competitiva por sitios de nodulación y habilidad de sobrevivir en el inoculante y en la semilla inoculada, por ello indica que esta especificidad deriva de la evaluación conjunta de la planta y la bacteria.

Los tratamientos T5 (NPK) y T8 (N⁺) muestran que la fertilización nitrogenada afecto significativamente el número de nódulos; es decir, se inhibió el proceso de nodulación. Según Nuñez (1985), Evans (1983) y Weber (1966) mencionan que la disponibilidad de altas dosis de nitrógeno tiene efecto negativo sobre el número de nódulos porque influyen en forma positiva sobre la nodulación y la fijación biológica; disminuyendo o inhibiendo por completo la eficiencia de la misma.

En el tratamiento T6 (Testigo) se observa que existen nódulos nativos y coinciden con Meneses (1996) y Cubero y Moreno (1996) quienes afirman que los nódulos nativos son competitivos y muchas veces superiores a cualquier cepa inoculada, aunque esta

vez no resultaron tan significativos como los inoculados. Por otro lado, comúnmente en todas las áreas donde se cultivan leguminosas existen rhizobios nativos que nodulan esa leguminosa, aunque no todas las cepas de rhizobios del suelo son efectivas en fijar nitrógeno atmosférico, lo que pudo haber ocurrido en caso del testigo según Villanueva (2009).

La nodulación también se pudo ver afectada por factores como salinidad, pH, T°, Hu e inhibición por nitratos; los cuales pueden disminuir la nodulación y fijación del nitrógeno (Cubero y Moreno, 1996). Siendo la salinidad el factor más importante que pudiera afectar la inhibición *Rhizobium* – Leguminosa en el presente estudio.

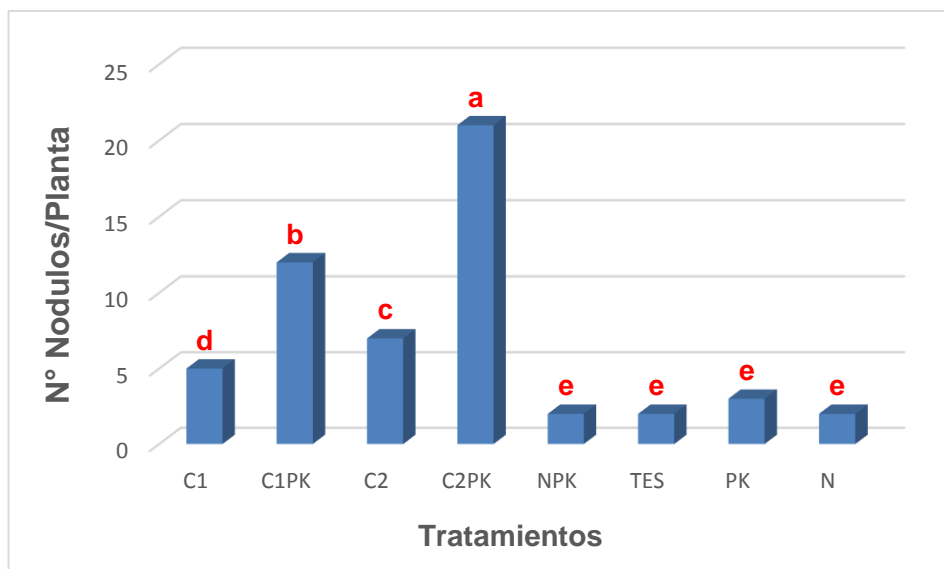


Figura N° 15: Efecto de la inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y fertilización fosfo–potásica del número de nódulos del frijol grano seco var. Molinero PLV 1-3.

4.2.5. Tamaño del Nódulo

En el Cuadro N° 23, se observó que el tamaño de los nódulos para los tratamientos con fertilización NPK, N⁺ y PK tuvo un tamaño pequeño, mientras los tratamientos inoculados con PK tuvieron un tamaño de mediano a pequeño, además las cepas solas tuvieron tamaño pequeño; es decir en promedio fueron de escala 2, mientras el testigo tuvo un tamaño grande de escala 4. Esto según la Escala de CIAT 1988.

Cuadro N° 23: Tamaño de los nódulos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS		TAMAÑO DE NÓDULOS
T1	Cepa E-10	Pequeño
T2	Cepa E-10 PK	Mediano - Pequeño
T3	Cepa E-14	Pequeño
T4	Cepa E-14 PK	Mediano
T5	NPK	Pequeño
T6	TESTIGO	Grande
T7	PK	Pequeño
T8	N	Pequeño

4.2.6. Color Interno del Nódulo

Para observar el color del nódulo, se tomó todos los nódulos y se cortó por la mitad (Cuadro N° 24), según la escala del CIAT (1988) se clasificó a los tratamientos T4 (Cepa E-14 PK) y T2 (Cepa E-10 PK) en una escala 4, porque se observó la coloración rojiza a marrón, característica de nódulos eficientes que presentan una alta probabilidad de fijar nitrógeno (Nuñez, 2011; Villanueva, 2009; Ortiz, 1993; Del Castillo, 1986), así mismo, Paima (2005) y Sprent (1996) mencionan que la leghemoglobina es una ferro-hemo-proteína formada exclusivamente por la simbiosis, se encuentra en el citoplasma de la célula infectada. Presenta una coloración rojiza, y estos señalan que los nódulos muestreados estaban activos y fijando nitrógeno, es decir son nódulos efectivos. En el caso de los tratamientos T3 (Cepa E-14), T1 (Cepa E-10) y T7 (PK), según el CIAT (1988) se clasifican en una escala 3, porque muestran que algunos nódulos son de coloración rojiza y otros son de coloración crema; es decir no todos son nódulos efectivos y por último el tratamiento T6 (Testigo) según la escala del CIAT (1988) clasifica en escala 1, porque presentan una coloración crema y todos los nódulos son no efectivos, signo según Nuñez (1984) que no está fijando nitrógeno. Asimismo, se observa que ambas cepas inoculadas con fertilización PK tuvieron 100% de eficiencia, seguido de la Cepa E-14 y Cepa E-10 con 42.9% y 29% de eficiencia respectivamente.

Cuadro N° 24: Coloración y nódulos efectivos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	N° NÓDULOS ENCONTRADOS	NÓDULOS EFECTIVOS	% EFICIENCIA
T1 Cepa E-10	1 rojizas - 4 crema	1	20.0
T2 Cepa E-10 PK	4 rojizas - 8 marron	12	100.0
T3 Cepa E-14	3 rojizas - 4 crema	3	43
T4 Cepa E-14 PK	12 rojizas - 9 marron	21	100.0
T5 NPK	2 crema	0	0.0
T6 TESTIGO	2 crema	0	0.0
T7 PK	2 rojizas - 1 crema	2	67
T8 N	2 crema	0	0.0

4.2.7. Posición del Nódulo

La posición de los nódulos (Cuadro N° 25), se observa que los tratamientos T2 (Cepa E-10 PK), T4 (Cepa E-14 PK) se encuentra en toda la raíz, en los tratamientos T1 (Cepa E-10), T3 (Cepa E-14) y T7 (PK) se encuentran en la parte superior a medio y los tratamientos T5 (NPK), T6 (Testigo) y T8 (N⁺) están en la parte superior de las raíces. Cubero y Moreno (1996) mencionan que tienen la capacidad de invadir los pelos radiculares de plantas leguminosas e inducir la formación de nódulos radiculares en cualquier posición donde se desarrollen como simbiosis intracelulares. Cada género tiene características fenotípicas y peculiares según Wang & Martínez-Romero (2005).

Cuadro 25: Posición de los nódulos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS	POSICIÓN DE NÓDULOS
T1 Cepa E-10	Superior - Medio
T2 Cepa E-10 PK	Todas
T3 Cepa E-14	Superior - Medio
T4 Cepa E-14 PK	Todas
T5 NPK	Superior
T6 TESTIGO	Superior
T7 PK	Superior - Medio
T8 N	Superior

4.2.8. Forma de Nódulo

No se encontró diferencias en la forma de los nódulos desarrollados en los tratamientos en estudio (Cuadro N° 26). Sprent (1996) menciona que para leguminosas sub tropicales de los géneros *Phaseolus*, *Glicine*, *Lotus* y *Vigna*, éstas tienen los nódulos del tipo determinado. Así mismo el posterior aumento del tamaño nodular se da por el crecimiento de las células ya existentes, dando así la forma esférica a los nódulos. Donde, la forma de los nódulos, según Cubero y Moreno (1996) pueden ser esféricos (soya, frijol); elipsoides (trébol) o digitados (haba, garbanzo).

Cuadro 26: Forma de los nódulos observados en planta de frijol variedad Molinero PLV 1-3.

TRATAMIENTOS		FORMA DE NÓDULOS
T1	Cepa E-10	Redondo
T2	Cepa E-10 PK	Redondo
T3	Cepa E-14	Redondo
T4	Cepa E-14 PK	Redondo
T5	NPK	Redondo
T6	TESTIGO	Redondo
T7	PK	Redondo
T8	N	Redondo

Cuadro N° 27: Prueba Duncan de las variables evaluadas de las características de nodulación a la floración del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de la Molina.

TRATAMIENTOS		Rendimiento (kg/ha)	Altura de planta (cm)	Peso fresco de la planta (g)	Peso seco de la planta (g)	Nº nódulos por planta	Tamaño del nódulo	Color interno del nódulo	Posición del nódulo	Forma del nódulo
T5	NPK	2858 a	71.5 a	98.5 a	13.8 a	2 e	Pequeño	2 crema	superior	Redondo
T4	C2PK	2746 ab	69.2 a	99.2 a	17.2 a	21 a	Mediano	12rojizas/9marron	todas	Redondo
T2	C1PK	2676 ab	67.3 a	89.4 a	15.2 a	12 b	Mediano-Pequeño	4rojizas/8marron	superior/medio	Redondo
T3	C2	2563 abc	66.5 a	85.2 a	11.4 a	7 c	Pequeño	3rojizas/4cremas	superior/medio	Redondo
T7	PK	2433 abc	68.7 a	88.2 a	13.2 a	3 e	Pequeño	2rojizas/1 crema	superior	Redondo
T1	C1	2307 bc	61.6 a	79.0 a	10.7 a	5 d	Pequeño	1rojiza/4crema	superior/medio	Redondo
T8	N	2384 abc	67.1 a	82.1 a	10.9 a	2 e	Pequeño	2 crema	superior	Redondo
T6	TESTIGO	2123 c	57.8 a	77.5 a	10.2 a	2 e	Grande	2 crema	superior	Redondo
PROMEDIOS		2511.3	66.2	87.4	12.8	7.0				

4.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN LINEAL ENTRE EL RENDIMIENTO Y LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN FRIJOL var. MOLINERO PLV 1-3

Como se observa en el Cuadro N° 28, se realizó el análisis de correlación para cada componente de rendimiento teniendo como resultados:

Se encontró una asociación muy baja, positiva y significativa entre el rendimiento y número de ramas por planta, lo cual nos indica que este parámetro influencio en un 2.5% del rendimiento. Así mismo, se obtuvo una asociación baja, positiva y significativa entre el rendimiento y el peso de cien semillas, lo cual indica que este parámetro influencio en un 16.8% de rendimiento; mientras se puede observar que hubo una asociación alta, positiva y significativa entre el tratamiento y número de granos por vaina, lo cual nos indica que este parámetro influenció en 65.6% en el rendimiento.

Como se puede observar el análisis de correlación nos muestra que hubo una relación positiva y significativa en tres parámetros de estudio y esto concuerda con que el número de granos por vaina es un componente principal de importancia en el rendimiento y el cual fue alto en comparación con los otros dos parámetros en estudio.

En el Cuadro N° 29 se observa que los parámetros para la correlación del número de nódulos con altura de planta, peso seco y peso fresco de la planta días después de la floración son no significativos; es decir no influyeron en el número de nódulos.

En el Cuadro N° 30, se observa una asociación baja, positiva y significativa entre el rendimiento promedio y el número de nódulos promedio, lo cual indica que este parámetro influencio en un 24% del rendimiento.

Cuadro N° 28: Coeficiente de correlación lineal y Coeficiente de determinación entre el rendimiento y los parámetros evaluados en frijol variedad Molinero PLV 1-3.

PARÁMETRO	r	SIGNIFICANCIA	r² (%)
N° de ramas por planta	0.16	*	2.5
Altura de planta	0.31	ns	9.6
N° de vainas por planta	-0.34	ns	11.6
Longitud de vainas	0.31	ns	9.5
N° de granos por vaina	0.81	*	65.6
Ancho de vainas	-0.36	ns	13.0
N° de lóculos por vaina	0.46	ns	20.8
Peso de 100 semillas	0.41	*	16.8
Índice de cosecha	0.31	ns	9.9

Cuadro N° 29: Coeficiente de correlación lineal y Coeficiente de determinación a los días después de la floración evaluados en frijol variedad Molinero PLV 1-3.

PARÁMETRO	R	SIGNIFICANCIA	r² (%)
Altura de planta	-0.02	ns	0.04
Peso fresco planta	-0.05	ns	0.25
Peso seco planta	-0.22	ns	4.84

Cuadro N° 30: Coeficiente de correlación lineal y Coeficiente de determinación entre los promedios de rendimiento y características de los nódulos evaluados en frijol variedad Molinero PLV 1-3.

PARÁMETRO	r	SIGNIFICANCIA	r² (%)
Altura de planta	0.72	ns	51.8
Peso fresco planta	0.82	ns	67.2
Peso seco planta	0.58	ns	33.6
N° nódulos	0.49	*	24.0

Dónde:

r	Calificativo	** : Altamente significativo * : Significativo n.s: No significativo
0.2-0.3	Muy bajo	
0.4-0.5	Bajo	
0.6-0.7	Alto	
0.8-1.0	Muy alto	

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se presenta el análisis económico y de rentabilidad de los tratamientos de frijol canario var. Molinero PLV 1-3. Los costos totales fueron calculados para cada tratamiento considerando una hectárea de terreno y se tuvo en cuenta todas las labores realizadas desde siembra hasta post cosecha del cultivo (Anexo N° 4, 5, 6 y 7).

En el Cuadro N° 31, se muestra que el tratamiento con mayor costo de producción fue el tratamiento T5 (NPK) con 1 927 soles por hectárea y el menor costo de producción fue para el tratamiento T6 (Testigo) con un costo total de 1 715 soles por hectárea.

El cultivo de frijol, con aplicación de cepas y en combinación con PK alcanzó un costo de 1 915 soles por hectárea mientras con aplicación de cepas solas fue de 1 755 soles por hectárea. La rentabilidad nos permite evaluar con mayor eficiencia los tratamientos evaluados, es así que el tratamiento T5 (NPK) resultó ser la más rentable con 256.0%.

Cuadro N° 31: Análisis económico y de rentabilidad de los tratamientos del frijol canario var. Molinero PLV 1-3 evaluado en condiciones de La Molina.

TRATAMIENTOS	Rendimiento grano seco (kg/ha)	Costo Total (S/.)	Ingreso bruto (S/.)	Ingreso neto (S/.)	Rentabilidad (%)
T1 Cepa 1	2384	1755	5721.6	3966.6	226.0
T2 Cepa 1 PK	2676	1915	6422.4	4507.4	235.4
T3 Cepa 2	2563	1755	6151.2	4396.2	250.5
T4 Cepa 2 PK	2746	1915	6590.4	4675.4	244.1
T5 NPK	2858	1927	6859.2	4932.2	256.0
T6 Testigo	2123	1715	5095.2	3380.2	197.1
T7 PK	2433	1875	5839.2	3964.2	211.4
T8 N	2307	1787	5536.8	3749.8	209.8

Fuente: Ministerio de Agricultura 2012. Precio de chacra 2.4 soles por kilo de grano seco de frijol canario.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente ensayo instalado en un suelo con salinidad y pH ligeramente alcalino del campo de la UNALM se concluye lo siguiente:

- No se observó efecto de las cepas de *Rhizobium sp.* E-10 más fertilización fosfo-potásica y E-14 más fertilización fosfo-potásica (Cepa E-10 PK y Cepa E-14 PK) en el rendimiento del frijol var. Molinero PVL 1-3. Los tratamientos con la Cepa E-10 PK y Cepa E-14 PK registraron rendimientos de 2 746 y 2 676 Kg/ha por presentar mayor número de vainas/planta, granos/vaina, ramas y peso de cien semillas, mientras que el testigo rindió 2 123 Kg/ha.
- Los tratamientos con inoculación de *Rhizobium sp.* Cepa E-14 y Cepa E-10, registraron rendimientos de 2 563 y 2 384 Kg/ha siendo inferiores, a los tratamientos que recibieron la fertilización fosfo-potásica.
- La nodulación en el ensayo fue significativa para la Cepa E-14 PK con 21 nódulos seguido de la Cepa E-10 PK con 12 nódulos, los cuales superaron a las Cepas E-14 y Cepa E-10 con 7 y 5 nódulos seguido del tratamiento testigo que registró 2 nódulos.
- La eficiencia de la nodulación en el estudio fue de 100% para los tratamientos Cepas E-14 PK y Cepa E-10 PK, mientras las cepas E-14 y E-10 obtuvieron 43 y 20% de eficiencia respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Evaluar la eficiencia del nitrógeno atmosférico de las cepas de *Rhizobium sp.* E-10 y E-14 frente a las cepas nativas a nivel de laboratorio y campos de la Molina para ver su efecto en cuanto al fósforo y potasio.
- ✓ Debería realizarse estudios con diferentes dosis de fertilización y niveles de inoculación, para una mejor estimación de los resultados en otras localidades, en diferentes épocas de siembra y tipo de suelo.
- ✓ Se debería evaluar las propiedades del suelo antes y después de la inoculación.

VII. LITERATURA CONSULTADA

- **BARCELÓ CALL, J.; NICOLAS, R.; SABATER, G.; SÁNCHEZ, T. 1995.** Fisiología vegetal. Ediciones Pirámides S.A. Madrid.
- **BARKER A.V. y H. A. MILLS. 1980.** NH_4^+ and NO_3^- nutrition of Horticultural Crops Hort. Rev.2: 395-423.
- **BLACK, C. 1975.** Relaciones suelo – planta. Tomo II. Editorial Hemisferio Sur. México.
- **BONILLA, I. 2000.** Introducción a la nutrición de las plantas: los elementos minerales. Fundamentos de fisiología vegetal. 1ra Edición. Mc. Graw-Hill interamericana de España. Barcelona-España. 83-97pp.
- **BROCKWELL, J. 1982.** Selection of rhizobia for inoculants. En: Vincent, J. M. Ed. Nitrogen fixation in legumes. Sydney Academy Press. 173-191pp.
- **CABRERA, B.J. 1983.** Respuesta del frijol panamito mejorado en las variedades Samilac y Gratiot, a la aplicación de fertilizantes inorgánicos a base de N, P, K y sus interacciones. Tesis Ing. Agrónomo. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú.
- **CALZADA, J. 1982.** Métodos estadísticos para la investigación. Editorial Jurídica. Lima. 644p.
- **CAMARENA, F.; HUARINGA, A. y MOSTACERO, E. 2009.** Innovación tecnológica para el incremento de la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). Ediciones Agrum. UNALM. Primera edición. Auspiciado por CONCYTEC.
- **CANCHARI, G. 2005.** Efecto de aplicación de cepas de *Rhizobium*, bioestimulantes y fertilización en el rendimiento del frijol canario (*Phaseolus vulgaris L.*) en condiciones de costa central. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. UNALM. Lima- Perú.
- **CARLSON, M.S. 1990.** Fijación de nitrógeno. Biología de la productividad de los cultivos. Ed. AGT.S.A. México. 45-61pp.

- **CASSMAN, K.G.; WHITNEY, A.S.; FOX, R.L. 2004.** Phosphorus requirement of soybean and cowpea as affected by mode of nutrition. *Agronomy Journal*. 73: 17-23.
- **CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1980.** La fijación del nitrógeno en el frijol. La planta elabora su propio fertilizante. Cali. Colombia. Noti-CIAT- Series AS-6.
- **CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. CIAT. 1988.** Simbiosis leguminosa - rhizobio. Manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Cali-Colombia. 178 p.
- **COAQUIRA, LL. F.M. 2014.** Efecto de la inoculación con *Rhizobium sp.*, *Trichoderma sp.* y la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Blanco Molinero. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima Perú.
- **COYNE, F. 2000.** Microbiología del suelo. Un enfoque exploratorio. Madrid. España. 416pp.
- **CHIAPPE, L. y HUAMANÍ, J. 1996.** Situación del cultivo y producción de semilla de frijol en el Perú – Producción artesanal de semillas de frijol en la zona andina: Un Planeamiento para el futuro. INIA – PROFIZA. Huaral – Perú.
- **CRUZ, B.I. 2000.** Efecto de la fertilización fosforada con y sin micronutrientes en el rendimiento del cultivo de frijol cv. Cario 2000. Bajo R.L.A.F.:Goteo. Tesis Ing. Agr. UNALM. Lima-Perú.
- **CUBERO, I. y MORENO, T. 1996.** Leguminosas de grano. Edición: Mundi – Prensa, Madrid – España 359p.
- **CUETO, A.D. 1975.** Respuesta del cultivo de frijol a las diferentes dosis de NPK, en un suelo de la Costa. Tesis Ing. Agr. UNALM. Lima-Perú.
- **DATE, R. A. 1976.** Principles of *Rhizobium* strain selection. En: Nutman, P.S. Ed. Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge University Press. 137-150pp.
- **DEL CASTILLO, C. M.T. 1986.** Efecto de la inoculación a la semilla y la fertilización Nitro-fosforada sobre la morfofisiología y el rendimiento en grano de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima-Perú.
- **DÍAZ, J. 2009.** Manejo integrado del cultivo del frijol. Lima. INIA. Manual técnico N°3. 64p.

- **DOMÍNGUEZ, F. 1994.** Tratado de fertilización. Ed. Mundi Prensa - Madrid, España. 365pp
- **EVANS, L. T. 1983.** Fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur S.A. 1ra Edición. Buenos Aires - Argentina.
- **FLOREZ, I. M. R. 1987.** Efectos de la fertilización nitrogenada, inoculación a la semilla y aplicación de materia orgánica en el rendimiento de dos variedades de frijol: Canario Divex 8130 y Bayo UA-105. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima-Perú.
- **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2014.** FAOSTAT [En línea]. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>. [Consultado, 16 setiembre del 2014].
- **FUENTES, J. 1999.** El suelo y los fertilizantes. 5ta. Edición. Madrid – España. Editorial Mundi – Prensa.
- **GONZALES, M. Erika. G. 2013.** Estudio de la diversidad de cepas de *Rhizobium* provenientes de nódulos de tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis para optar el Título de Biólogo. UINALM. Lima-Perú.
- **GROSS, A. 1981.** Abonos. Guía práctica de la fertilización. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid – España.
- **ISRAEL, D.W. 1991.** Investigation of the role of nitrogen and phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. Plant, Physiol. 84: 835-840.
- **KARE, N.K. and RAI, M.M. 1983.** Effect of phosphorus on symbiotic fixation of nitrogen by leguminous crops. Journal of the Indian Society of Soil Science 16 (2) 111-114.
- **KENNEDY, I.R.; CHOUDHURY, A.T.M. A & KECSKES, M.L. 2004.** Non. Symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farmig systems: can their potentiall for plant growth promotion bebetter exploited. Soil boil. Biochem. 36: 1229-1244.
- **MARSCHNER, H. 1997.** Mineral Nutrition of Higher Plants. 8va. Edition New York – USA.
- **MATSUBARA, B. J. 2010.** Diversidad fenotípica y molecular de bacterias simbióticas del cultivo de pallar (*Phaseolus lunatus*) en el Valle de Supe-Barranca. Tesis para optar el Título de Biólogo. UNALM. Lima-Perú.
- **MENESES, R. 1996.** Las leguminosas en la agricultura boliviana. Revisión Bibliográfica. Editores. Cochabamba – Bolivia - 434p.

- **MENGEL, K y E. KIRKBY, 1992.** Principles of plant nutrition. International Potash institute. Wonblaufen-Bern. Switzerland. 594 p.
- **MINAG 2012.** Ministerio de Agricultura del Perú. Portal agrario. Base de datos de cultivos agrícolas del Perú. Disponible en: <http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca>. Revisado agosto del 2013.
- **MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2014.** Sistema Integrado de Estadística Agraria – SIESA [En línea]. <http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/Diciembre-Estadistica%20Agraria%20SIEA%202013.pdf>. [Consultado; 16 setiembre del 2014].
- **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. MINAGRI. 2014.** Oficina de estudios económicos y estadísticos (OEEE). Lima- Perú.
- **NADAL, S., MORENO, M. y CUBERO, J. 2004.** Leguminosas de grano en la agricultura moderna. Co-edición de la Junta Andalucía. Edición Mundi-Prisma. Madrid-Barcelona-México.
- **NUÑEZ, CH. 1984.** Frijol, suelos y fertilización. INIPA. Boletín técnico N° 1 Año III.
- **NUÑEZ E., C.F. 2011.** Efecto de dos cepas de *Rhizobium sp.* y microorganismos efectivos en el Rendimiento de grano seco de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivar Canario Centenario en Costa Central. Tesis Ing. Agrónomo. UNALM. Lima –Perú.
- **ORTIZ, L.M. 1993.** Efecto de niveles diferentes de N, P y K con fertilizantes simples y compuestos con micronutrientes en el rendimiento de dos cultivares de frijol. Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis Ing. Agrónomo.
- **PAIMA, R. 2005.** Evaluación de una cepa nativa de *Rhizobium sp.* de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y su interacción con la materia orgánica y microelementos. Tesis. Ing. Agrónomo. UNALM. Lima-Perú.
- **PERALES, C; GAGLUIFFI, P y QUIÑÓNEZ, J. 2000.** Rocas y minerales industriales de Perú en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, CYTED.
- **PÉREZ, D. 1991.** Fisiología Vegetal: Nutrición inorgánica. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Ediciones Joan E.I.R.L. Cusco- Perú.
- **RAVELO, J. 1988.** Efecto de la aplicación de fertilizantes naturales (fosfato de sechura, feldspatos potásicos y estiércol) sobre el rendimiento y nodulación en arveja. Tesis. Ing. Agrónomo. UNALM.112P.
- **RESH, H. 1997.** Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 4ta. Edición. Madrid – España. Editorial Mundi – Prensa.

- **RODRÍGUEZ, A. 1996.** Principios básicos de nutrición mineral para ser aplicado en hidroponía. Separata de laboratorio del curso de fisiología vegetal. UNALM. Lima Perú. 20p.
- **RODRIGUEZ, H. & FRAGA, R. 1999.** Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. 17: 319-339.
- **SALISBURY, F.B. y ROSS, C.W. 1994.** Asimilación del nitrógeno y azufre. *Fisiología vegetal*. Grupo editorial Iberoamericana S.A. California. California. 319-338pp.
- **SCANLAM, R. W. 1986.** Calcium as a factor in soybean inoculation. *Soil Science* 25: 313-325.
- **SCHEREVEN, D.A. VAN. 1991.** Same factors affecting the uptake of nitrogen by legumes. In Hallsworth E. G. ed. *Nutrition of the legumes*. London.
- **SEGUIN, P.; SHEAFFER, C.; ELE, N.; RUSSELLE, P. AND GRAHAN, H. 2001.** Nitrogen fertilization and Rhizobial inoculation effects on Kura Clover growth. *Agron. J.* 93: 1262-1268.
- **SYLVESTRE-BRADLEY, R. 1987.** Simbiosis Leguminosa-Rhizobio: Evaluación Selección y Manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Producción Valencia. Cali- Colombia. 71p.
- **SOTO, L. 2004.** Fijación biológica de nitrógeno (Revista trimestral). Universidad Autónoma de Puebla. México. Elementos N° 38 Vol. 7.
- **SPRENT, J.L. 1996.** Which steps are essential for the formation of functional legumes nodules. *New Phytol.* 111: 129-153.
- **THOMPSON, L.M y THOEH, F.G. 1988.** Los suelos y su fertilidad. 4ta edición. Editorial reverté S.A. España.
- **VALLADOLID, A. 1993.** El Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la costa del Perú. INIA – Proyecto TTA (Transferencia de Tecnología Agropecuaria). Colección INIA. Lima – Perú. 116p.
- **VILCAMPOMA, G. & FLORES, M. 2003.** Manual de Botánica Sistemática de la UNALM.
- **VERGARAY, P. 1988.** Ensayo de rendimiento y sus componentes en 15 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Tipo panamito. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima-Perú.
- **VILLAGARCIA, S. y AGUIRRE, Y.G. 1994.** Manual uso de Fertilizantes. UNALM. Dpto de suelos y fertilizantes. 142p.

- **VILLANUEVA, L.A.P. 2009.** Efecto de dos cepas de *Rhizobium* y abono orgánico en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Canario molinero PLVI/1-3 en condiciones de la molina. Tesis. Ing. Agrónomo. UNALM. Lima- Perú.
- **WANG, E.T. y MARTINEZ ROMERO, J. 2005.** La taxonomía de *Rhizobium*. En: Microbios en línea. Eds. Martínez-Romero, E y Martínez-Romero, J.C. [http://www.Microbiología.org.mx/microbios en línea/](http://www.Microbiología.org.mx/microbios%20en%20línea/).
- **WEBER S. R. 1966.** Nodulation and hononodulating soyben isolines i agronomic and chemical attributes agern jour. 58 (1). 46-49.
- **WHITE, R.O y Thumbel, H.C. 1983.** Las leguminosas en la Agricultura. FAO. Estudios Agropecuarios °N 21.

ANEXOS

ANEXO N° 1: Resultado del promedio, análisis de variancia y cuadrados medios para las variables del rendimiento y sus componentes del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.

FUENTE	G.L	Rendimiento (kg/ha)	N° Vainas por planta	N° Granos por vaina	N° Lóculos por vaina	Peso 100 semillas (g)	Índice de cosecha (%)
BLOQUES	2	13633.68 NS	12.11 NS	0.46 NS	0.12 NS	180.64*	30.43 NS
TRATAMIENTOS	7	1259345.08 *	241.11 *	2.97 *	3.39 *	392.15 *	334.23 NS
ERROR	14	903042.11	166.92	1.70	1.59	255.85	239.93
PROMEDIO		2511.27	24.61	3.93	4.01	55.14	54.20
CV (%)		10.11	14.03	8.86	8.40	7.75	7.64

NS: no significativo

*: significativo

ANEXO N° 2: Resultado del promedio, análisis de variancia y cuadrados medios para las variables del rendimiento y sus características de la planta de frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.

FUENTE	G.L	Rendimiento (kg/ha)	Altura de Planta (cm)	N° Ramas por planta	Longitud de vainas (cm)	Ancho de vainas (cm)
BLOQUES	2	13633.68 NS	379.77 NS	0.22 NS	0.38 NS	0.01 NS
TRATAMIENTOS	7	1259345.08 *	1181.31 NS	4.55 *	6.28 NS	0.01 NS
ERROR	14	903042.11	1529.70	1.53	32.22	0.02
PROMEDIO		2511.27	74.98	3.24	12.03	1.11
CV (%)		10.11	13.94	10.20	12.61	3.55

NS: no significativo

*: significativo

ANEXO N° 3: Resultado del promedio, análisis de variancia y cuadrados medios para las variables del rendimiento y las características de nodulación del frijol var. Molinero PLV 1-3 en condiciones de La Molina.

FUENTE	G.L	Rendimiento (kg/ha)	Altura de Planta (cm)	Peso fresco de la planta (g)	Peso seco de la planta (g)	N° nódulos por planta
BLOQUES	2	13633.68 NS	91.37 NS	90.04 NS	1.45 NS	15.44 *
TRATAMIENTOS	7	1259345.08 *	408.40 NS	1425.18 NS	124.39 NS	944.50 *
ERROR	14	903042.11	276.21	1106.02	23.62	12.06
PROMEDIO	23	2511.27	66.23	87.36	12.81	6.8
CV (%)		10.11	7.48	10.18	10.58	13.75

NS: no significativo

*: significativo

ANEXO N° 4: Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero
 PLV 1-3 con inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* expresado en
 soles.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
Preparación del terreno					
Riego de machaco	2	jornal	20	40	
Arado	3	Hora/Máquina	50	150	
Grada	1.5	Hora/Máquina	50	75	
Surcado	1	Hora/Máquina	50	50	
Arreglo de tomas, bordes, limpieza de acequias.	3	jornal	20	60	375
Insumos					
Semilla	70	Kg	8	560	
Inóculo <i>Rhizobium</i>	1	ml	20	20	580
Labores culturales					
Inoculación de semilla	1	jornal	20	20	
Siembra	5	jornal	20	100	
Aplicación de insecticidas	5	jornal	20	100	
Aporque	5	jornal	20	100	
Riegos	5	jornal	20	100	
Deshierbos	4	jornal	20	80	
Tomeo después del aporque	1	jornal	20	20	
Cosecha (jalado y traslado de frijol)	5	jornal	20	100	
Trilla de frijol	4	jornal	20	80	
Selección	5	jornal	20	100	800
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					1755

ANEXO N° 5: Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV
1-3 con fertilización completa NPK, PK y N expresado en soles.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
Preparación del terreno					
Riego de machaco	2	jornal	20	40	
Arado	3	Hora/Máquina	50	150	
Grada	1.5	Hora/Máquina	50	75	
Surcado	1	Hora/Máquina	50	50	
Arreglo de tomas, bordes, limpieza de acequias.	3	jornal	20	60	375
Insumos					
Semillas fertilizantes (80-80-60)	70	Kg	8	560	
Urea	1	Bolsa	52	52	
Nitrophos	1.5	Bolsa	52	78	
Cloruro de potásio	1	Bolsa	62	62	752
Labores culturales					
Siembra	4	jornal	20	80	
Aplicación de fertilizantes	4	jornal	20	80	
Aplicación de insecticidas	4	jornal	20	80	
Aporque	4	jornal	20	80	
Riegos	5	jornal	20	100	
Deshierbos	4	jornal	20	80	
Tomeo después del aporque	1	jornal	20	20	
Cosecha (jalado y traslado de frijol)	5	jornal	20	100	
Trilla de frijol	4	jornal	20	80	
Selección	5	jornal	20	100	800
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					1927

* COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN CON PK	1 875
* COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN CON N	1 787

ANEXO N° 6: Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV
1-3 del tratamiento testigo expresado en soles.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
Preparación del terreno					
Riego de machaco	2	jornal	20	40	
Arado	3	Hora/Máquina	50	150	
Grada	1.5	Hora/Máquina	50	75	
Surcado	1	Hora/Máquina	50	50	
Arreglo de tomas, bordes, limpieza de acequias.	3	jornal	20	60	375
Insumos					
Semilla	70	Kg	8	560	560
Labores culturales					
Siembra	5	jornal	20	100	
Aplicación de insecticidas	5	jornal	20	100	
Aporque	5	jornal	20	100	
Riegos	5	jornal	20	100	
Deshierbos	4	jornal	20	80	
Tomeo después del aporque	1	jornal	20	20	
Cosecha (jalado y traslado de frijol)	5	jornal	20	100	
Trilla de frijol	4	jornal	20	80	
Selección	5	jornal	20	100	780
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					1715

ANEXO N° 7: Costos de producción por hectárea de frijol canario var. Molinero PLV
1-3 con fertilización PK y cepas de *Rhizobium sp.* expresado en soles.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
Preparación del terreno					
Riego de machaco	2	jornal	20	40	
Arado	3	Hora/Máquina	50	150	
Grada	1.5	Hora/Máquina	50	75	
Surcado	1	Hora/Máquina	50	50	
Arreglo de tomas, bordes, limpieza de acequias.	3	jornal	20	60	375
Insumos					
Semillas	70	Kg	8	560	
Inóculo <i>Rhizobium</i>	1	ml	20	20	
fertilizantes (80-80-60)					
Nitrophos	1.5	Bolsa	52	78	
Cloruro de potásio	1	Bolsa	62	62	720
Labores culturales					
Inoculación de semilla	1	jornal	20	20	
Siembra	4	jornal	20	80	
Aplicación de fertilizantes	4	jornal	20	80	
Aplicación de insecticidas	4	jornal	20	80	
Aporque	4	jornal	20	80	
Riegos	5	jornal	20	100	
Deshierbos	4	jornal	20	80	
Tomeo después del aporque	1	jornal	20	20	
Cosecha (jalado y traslado de frijol)	5	jornal	20	100	
Trilla de frijol	4	jornal	20	80	
Selección	5	jornal	20	100	820
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					1915