

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA BACTERIA *Bacillus pumilus* COMO SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO DEL SUELO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), MUNICIPIO DE TIRAQUE – COCHABAMBA”

Por:

Juan Raul Alvarez Salinas

EL ALTO – BOLIVIA
Abril, 2015

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA BACTERIA *Bacillus pumilus*
COMO SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO DEL SUELO EN EL CULTIVO
DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), MUNICIPIO DE TIRAQUE –
COCHABAMBA”

Tesis de grado presentado como requisito
para optar el Título de Ingeniero en
Ingeniería Agronómica
Presentado por:

Juan Raul Alvarez Salinas

Tutor (es):

Ing. Pablo Mamani Rojas

Ing. Ph.D. Víctor Hugo Mendoza C.

Ing. Ana Karina Saavedra R.

Comité revisor:

Ing. Ph.D. Humberto Nelson Sainz M.

Ing. Ph.D. Francisco Mamani Pati

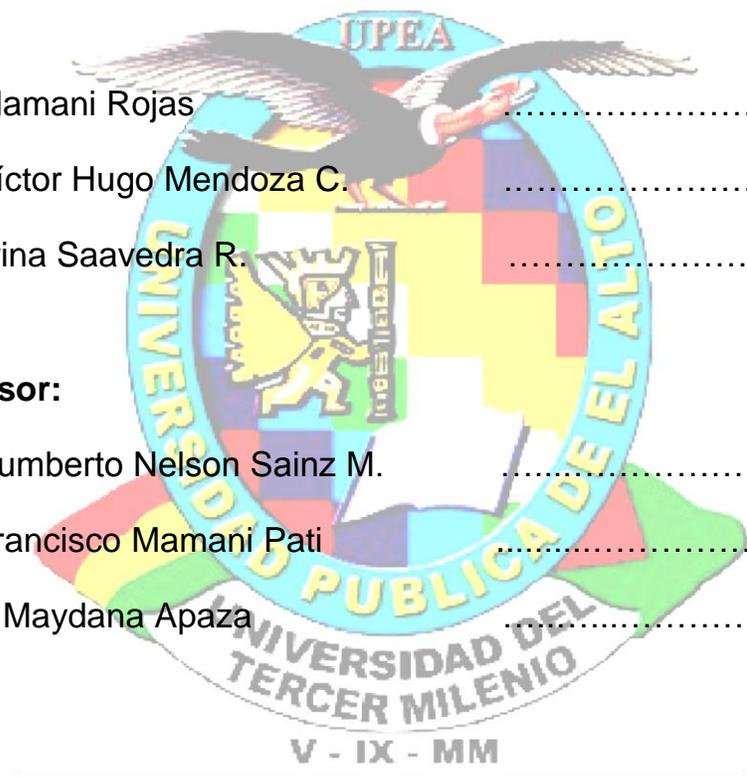
Ing. Rogelio Maydana Apaza

V - IX - MM

.....
Aprobado

Director de Carrera

Ing. Laoreano Coronel Quispe



DEDICATORIA

A Dios, por iluminar siempre mi camino y no dejarme solo en todo momento.

A mi Madre Esperanza y mi Padre Juan, por apoyarme en cada decisión que he tomado, por ser las personas más fuertes que conozco y sobre todo por acompañarme en esta vida donde uno tiene que luchar por lo que más quiere.

A toda mi familia, por ser un apoyo incondicional en cualquier travesía de mi vida.

Todos los logros que realice serán dedicados a las personas más cercanas en esta vida.

AGRADECIMIENTOS

- Ante todo agradezco a las siguientes personas e instituciones;

A la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, al plantel Docente, por haberme formado un profesional para contribuir al país.

A la Fundación de Promoción e Investigación de Productos Andinos PROINPA por apoyarme con la otorgación de una beca para realizar en presente trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Pablo Mamani Rojas por su tutoría en la elaboración de esta tesis por la enseñanza en el transcurso del trabajo de campo por su comprensión en todo momento en especial por hacer mi estancia en Cochabamba – Tiraque más agradable.

A la Ing. M.Sc. Ana Karina Saavedra R. por su asesoría en la elaboración de esta tesis por la enseñanza en el transcurso del trabajo de campo y laboratorio por su comprensión en todo momento en especial por hacer mi estancia en Cochabamba – Tiraque.

Al Ing. Ph.D. Víctor Hugo Mendoza C. por su asesoría en la elaboración de esta tesis que me dio su colaboración y su apoyo en la ejecución y redacción del documento.

Al tribunal Ing. Ph.D. Humberto Nelson Sainz Mendoza por la revisión y sugerencias en la realización de esta tesis y por sus enseñanzas en clases.

Al tribunal Ing. Ph.D. Francisco Mamani Pati por la revisión y sugerencias en la realización de esta tesis.

Al tribunal Ing. M.Sc. Rogelio Maydana Apaza por la revisión y sugerencias en la realización del presente trabajo de tesis y por sus enseñanzas en clases y laboratorio.

A mí a mi padre Juan Alvarez M. y madre Esperanza Salinas P., por el apoyo moral y económico que siempre me ha dado en todo este tiempo.

A mis hermanos Samuel, Ronald, Selena y Miguel por el apoyo que me brindaron durante mi formación profesional.

A mi esposa Lourdes N. Moñocopa P., por el apoyo moral que siempre me ha dado en todo el transcurso de mi formación.

A los Ingenieros Ediño Gonzales y Oscar Gutiérrez por el apoyo en campo y por su contribución en la elaboración de este trabajo.

A todos los docentes y plantel administrativo de la carrera ingeniería agronómica por darme su apoyo y conocimiento en el transcurso de mi formación profesional.

A todos los técnicos del área de impacto Tiraque de la gestión 2011 – 2012 que colaboraron con la tesis de investigación realizada.

Gracias a todos por ayudarme a lograr una meta más en la vida, con la promesa de trabajo, disciplina y constante superación sirviendo al desarrollo del país.

Juan Raul Alvarez Salinas.

CONTENIDO

1	Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	7
1.1.	Objetivos.....	8
1.1.1.	Objetivo general	8
1.1.2.	Objetivos específicos.....	8
2	Capítulo 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1.	Importancia de la papa	9
2.2.	Características de la papa Waych'a.....	10
2.3.	Requerimiento de nutrientes.....	10
2.4.	Formas de fósforo en el suelo	11
2.4.1.	Flujos del fósforo en el suelo	13
2.4.2.	Mantención de una demanda permanente de fósforo	13
2.4.3.	Presencia de solubilizador de fósforo en el suelo	14
2.5.	Ciclo microbiano en la solubilización	14
2.6.	Solubilización de fósforo	15
2.7.	Microorganismos solubilizadores de fósforo	17
2.8.	<i>Bacillus pumilus</i>	17
2.8.1.	Taxonomía	17
2.9.	Características de la bacteria <i>B. Pumilus</i>	18
2.10.	Determinación del fósforo disponible.....	19
2.10.1.	Mehlich 3	19
2.11.	Estadísticos utilizados en el análisis.....	19
2.11.1.	Análisis estadístico descriptivo	19
2.11.2.	Análisis multivariado	20
2.11.3.	Análisis de componentes principales (ACP)	21
3	Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1.	Materiales.....	23
3.1.1.	Material genético	23
3.1.2.	Equipo de laboratorio, materiales de campo y otros.	23
3.2.	Metodología.....	25
3.2.1.	Procedimiento de investigación	25
3.2.1.1.	<i>Ubicación</i>	25
3.2.1.2.	<i>Diseño experimental y tratamientos</i>	26
3.2.1.3.	<i>Modelo estadístico del diseño de parcelas divididas:</i>	27
3.2.1.4.	<i>Descripción de las unidades experimentales</i>	28
3.2.1.5.	<i>Croquis del experimento</i>	29
3.2.1.6.	<i>Seguimiento</i>	30
3.2.2.	Variables de Respuesta del suelo	33
3.2.2.1.	<i>Fósforo disponible (Mehlich-3)</i>	33
3.2.2.2.	<i>Evaluación de la presencia de Bacillus pumilus</i>	34
3.2.3.	Variables de respuesta del cultivo	35
3.2.3.1.	<i>Emergencia</i>	35
3.2.3.2.	<i>Altura de planta</i>	35
3.2.3.3.	<i>Cobertura foliar</i>	35

3.2.3.4.	<i>Número de tallos</i>	36
3.2.3.5.	<i>Rendimiento</i>	36
3.2.4.	Análisis económico.....	37
4.	Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSION	38
4.1.	Características agroclimáticas	38
4.2.	Variables de cultivo	39
4.3.	Variables complementarias	43
4.4.	Análisis de correlación	50
4.5.	Análisis económico.....	51
5.	Capítulo 5. CONCLUSIONES.....	53
6.	Capítulo 6. RECOMENDACIONES.....	54
7.	Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA.....	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de fertilización de la papa	11
Cuadro 2. Formas de fósforo inorgánico presentes en el suelo	12
Cuadro 3. Cuadrado medio esperado en el ensayo.....	28
Cuadro 4. ANVA para la emergencia de papa por efecto de la bacteria <i>B. pumilus</i> y niveles de fertilización fosfórica. 2011-2012.....	39
Cuadro 5. Análisis de Varianza para la variable altura de planta del cultivo de papa en diferentes momentos después de la siembra.	40
Cuadro 6. Análisis de Varianza para el número de tallos del cultivo de papa en diferentes momentos después de la siembra.	41
Cuadro 7. Análisis de Varianza para la variable cobertura foliar del cultivo de papa en diferentes momentos después de la siembra.	41
Cuadro 8. Análisis de Varianza para el rendimiento del cultivo de papa.....	42
Cuadro 9. Coeficiente de correlación (r) entre las variables evaluadas.	50
Cuadro 10. Análisis Económico (Relación Beneficio / Costo, análisis marginal de la innovación). .	51
Cuadro 11. Proyecto de seguridad alimentaria Tiraque 2012 – Cochabamba (PDA - TIRAQUE. 2012).	52

FIGURAS Y FLUJOS

Fig. 1. Proceso microbiano de la solubilización.	15
Fig. 2. Materiales y equipos utilizados en el laboratorio:	24
Fig. 3. Ubicación del ensayo de tesis.	25
Fig. 4. Procedimiento de la siembra.	30
Fig. 5. Control fitosanitario del Cultivo.	31
Fig. 6. El sistema de riego aplicado en el cultivo fue a través del uso tuberías con presión constante y uniforme.	32
Fig. 7. Área de cosecha para la determinación del rendimiento.	33
Fig. 8. Muestreo de suelo para el análisis de disponibilidad de fósforo.	34
Fig. 9. Sellado y etiquetado de muestras para análisis de bacterias.	34
Fig. 10. Toma de altura planta en floración.	35
Fig. 11. Evaluación de cobertura en la etapa antes de floración.	36
Fig. 12. Cosecha del ensayo de papa en las distintas unidades experimentales.	37
Fig. 13. Variación climática durante la campaña 2011 – 2012 en la comunidad 15 de octubre del municipio de Tiraque, Cochabamba.	39
Fig. 14. Efecto de la bacteria <i>Bacillus pumilus</i> en la cobertura foliar del cultivo de papa.	42
Fig. 15. Efecto de la bacteria <i>Bacillus pumilus</i> en el rendimiento del cultivo de papa.	43
Fig. 16. Concentración de <i>Bacillus pumilus</i> en las diferentes partes de la planta.	44
Fig. 17. Presencia de la bacteria <i>Bacillus pumilus</i> en diferentes partes de la planta, con y sin aplicación de la bacteria.	45
Fig. 18. Presencia de la bacteria <i>B. pumilus</i> en diferentes partes de la planta con y sin la presencia de la gallinaza.	45
Fig. 19. Presencia de la bacteria <i>Bacillus pumilus</i> en diferentes partes de la planta, con fósforo y sin fósforo.	46
Fig. 20. Concentración de <i>Bacillus pumilus</i> en la Rizósfera de la planta.	47
Fig. 21. Concentración de <i>Bacillus pumilus</i> en el Rizoplano de la planta.	47
Fig. 22. Contenido de fosforo disponible del suelo por efecto de la gallinaza, niveles de fertilización fosfórica y de la bacteria <i>B. pumilus</i> en diferentes momentos del desarrollo del cultivo de papa.	49
Fig. 23. Concentración de fósforo disponible diferenciado entre los grupos con y sin aplicación del <i>Bacillus pumilus</i>	49

RESUMEN

En el marco de la necesidad de desarrollar sistemas agrícolas sostenibles, la solubilidad de fósforo es vista como una fuente esencial para la producción. El desarrollo de la investigación se realizó con el fin de generar alternativas de producción con el manejo de microorganismos solubilizador de fosforo en campo. El fósforo es el elemento más importante para el desarrollo de los cultivos. Empleando la técnica propuesta en el trabajo de tesis, con el fin de determinar la influencia de la bacteria solubilizadora de fósforo en el cultivo de papa aplicando con la bacteria *B. pumilus*, evaluando el comportamiento de la misma en los cuatro tratamientos que son el testigo, gallinaza, fosfato 40 kg/ha y fosfato 80 kg/ha con las evaluaciones de efecto solubilizador de fósforo, donde se realizaron la aplicación en forma líquida en la fase de siembra.

En las pruebas realizadas en campo con la aplicación de bacteria *Bacillus pumilus* registraron diferencias significativas en las variables de porcentaje de cobertura, altura planta. El desarrollo de cobertura con la aplicación de la bacteria muestra diferencia entre los tratamientos en la cual presenta un desarrolló optimo con la utilización del fertilizante fosfato 40 kg/ha. Los efectos en la altura planta muestra una diferencia no muy significativa entre los grupos con y sin aplicación en el presente tratamiento del fertilizante de fosfato 40 kg /ha muestra una superioridad con la presencia de la bacteria.

En el número de tubérculos va conjuntamente con el rendimiento donde su efecto de la bacteria no dio presencia satisfactoria pero un mayor rendimiento fue en el testigo donde dio un número mayor de tubérculos y el rendimiento superior de 34.79 tn/ha.

En un análisis de laboratorio de microbiología PROINPA muestra la presencia principalmente en el rizoplano seguida por la rizosfera en una cantidad muy significativa, donde se obtuvo en el testigo con la aplicación de la *Bacillus pumilus*. Se puede llegar a concluir que la bacteria no tuvo un efecto esperado en el sistema productivo (rendimiento) pero tuvo una activación en el desarrollo de la bacteria en el rizoplano y rizosfera en la cual se obtuvo un desarrollo en cobertura foliar, probablemente el factor influyente haya sido los niveles de fertilización. En el análisis de disponibilidad de fósforo se obtuvo con la aplicación de *B. pumilus* en las diferentes etapas del desarrollo del cultivo una diferencia significativa en la que se determinó un mayor proporción de fósforo disponible en la que alcanzó un importante resultado en la etapa de cosecha en la que se observa en la figura 23. El beneficio costo obtenido en la tesis muestra que la tendencia de producción genera alternativas económicas donde se tiene diferencias en comparación de la región de productora del cual se rescata el manejo adecuado donde trae una mejor y mayor producción en comparación en lo producido en la región. Para cumplir con el objetivo del ensayo, este debería repetirse e implementar el análisis de la planta y suelo, para el desarrollo del cultivo con la bacteria.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En la producción de papa (*Solanum tuberosum*), la mayoría de los productores aplican dosis excesivas de fertilizantes, por lo que se incrementan los costos de producción en el cultivo y se contamina el suelo, subsuelo y los acuíferos en las regiones productoras de Bolivia (Simmonne y Hutchinson, 2005). Esto causa desbalance nutrimental y menor vida pos cosecha (Gaur y Adholeya, 2005). Por lo tanto, es necesario un desarrollo sustentable en la producción de papa basado en la búsqueda de alternativas eficientes y económicas de fertilización (Jeffries *et al.*, 2003).

Los efectos negativos en el suelo por la utilización de fertilizantes químicos de fuente mineral, con poca eficiencia en el suelo, provoca un incremento en los costos de producción debido a su alto precio y a las altas dosis que se deben usar para contrarrestar la cantidad de fertilizante que no llega a estar disponible para las plantas. Además, las repercusiones en el medio ambiente se incrementan, por la acumulación de compuestos insolubles y sales, que pueden afectar gravemente los suelos, y por ende el desarrollo en las zonas agrícolas (Guzman, 2011).

Las bacterias solubilizadoras de fósforo (P) son una alternativa ecológica en la producción agrícola siendo la bacteria *Bacillus pumilus* una opción amigable para el suelo; que puede contribuir a disminuir el uso indiscriminado de fertilizantes químicos (Cuervo, 2010).

El estudio de esta bacteria a nivel internacional solo se desarrolló en trabajos de laboratorio con trabajos de resistencia a enfermedades y aplicación como solubilizador de fósforo (Hamed *et al*, 2010), y en ensayos de campo no se implementó esta tecnología. A nivel nacional solo se tiene un ensayo realizado por la fundación PROINPA en invernadero, donde se identificó a la bacteria *Bacillus pumilus* como desarrolladora de disponibilidad de fósforo en el suelo (Córdova, 2010), y esta fue seleccionada para verificar su efectividad en el cultivo de papa como solubilizador de fósforo en campo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad de la bacteria *Bacillus pumilus* como solubilizador de fósforo del suelo en el desarrollo y productividad del cultivo de papa.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la disponibilidad de fósforo del suelo por efecto de la bacteria *B. pumilus*

- Evaluar la respuesta agronómicas del cultivo de papa a la aplicación de la bacteria *B. pumilus*.

- Realizar un análisis económico de los costos parciales de los tratamientos por el uso de la bacteria *B. pumilus*

Capítulo 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importancia de la papa

El cultivo de la papa pertenece a la familia de las Solanáceas, es originaria de las regiones elevadas y más frías de Bolivia y Perú, donde antiguamente era cultivada por los indígenas. En Bolivia, la papa es cultivada en las tres zonas geográficas principalmente en el altiplano y valles (Lora, 2003). Al respecto Casseres (1984), indica que la papa cultivada tuvo su origen en los Andes Sudamericanos, cerca del Lago Titicaca en el altiplano.

La producción de papa por las familias campesinas en el área rural es de gran importancia debido a la continua producción de tubérculos en las zonas productoras; sin embargo, las condiciones que presenta cada tipo de suelo no permite desarrollar dicha actividad en cada comunidad, por estas y muchas razones generalmente se desarrollan nuevas tecnologías de manejo para su conservación en diferentes lugares que permite recuperar la producción del cultivo buscando alternativas de manejo (Cuevas, 2004).

El cultivo de la papa es una actividad de gran importancia que incide en la economía local de comunidades productoras del cultivo siendo la base de la alimentación de la población. Este cultivo se enfrenta a muchos problemas, entre ellos está el continuo deterioro de los suelos y los factores climáticos adversos lo cual afecta al desenvolvimiento del cultivo. El estudio de la relación microorganismo-planta es muy importante ya que permite establecer una relación entre el tipo de suelo, la planta y la microbiota asociada (Loynachan, 2001; Paul y Clark, 1989).

La baja fertilidad de los suelos tiene una estrecha relación con las enfermedades y plagas en el cultivo de la papa. Una planta que no tiene los nutrientes necesarios para su normal desarrollo, necesariamente tendrá una mayor susceptibilidad a la incidencia de insectos y patógenos. Los fertilizantes pueden provenir de dos fuentes: mineral (fertilizantes químicos) y abonos orgánicos (Oros, 2001; citado por Martinez, 2003).

2.2. Características de la papa Waych'a

Las condiciones de la papa Waych'a – semilla están determinadas por la edad fisiológica de los tubérculos, su tamaño y sus condiciones físicas (PROINPA, 2011).

a. Descripción morfológica

- Color de la flor: lila
- Forma de la flor: pentagonal
- Grado de floración: muy abundante
- Color del tallo: verde
- Forma del tubérculo: redonda con ojos profundos
- Color de la piel rojo con blanco crema alrededor de los ojos
- Color de la pulpa: crema

b. Características agronómicas

- Hábito de crecimiento: semi – erecto
- Ciclo vegetativo: 4 a 6 meses
- Rendimiento: 15 t/ha
- Almacenamiento: hasta 7 meses
- Rango de adaptación: 3200 a 3650 msnm

2.3. Requerimiento de nutrientes

El balance nutricional de la planta incluye todos los elementos necesarios para el buen desarrollo de la papa. La disponibilidad de los nutrientes más requeridos se encuentran en estado mineral no disponible para su absorción, lo cual es un factor crítico para obtener una nutrición óptima, el cultivo se nutre a través del agua en el suelo (Arias *et al.*, 2008).

Los nutrientes son tan importantes como las relaciones que deben existir con el propósito de evitar tener antagonismo y poder controlar el desarrollo de las plantas y su resistencia a los factores ambientales o enfermedades. Una nutrición permite tener el desarrollo adecuado de la planta para optimizar el rendimiento con los siguientes nutrientes (N, P, K,

Ca, Mg, S y B) requerido por las plantas para lograr este objetivo. El cuadro, 1 que sigue, presenta los requerimientos de la papa para una producción óptima (Arias *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Requerimientos de fertilización de la papa

Elemento	kg/ha
Nitrógeno (N)	468
Fósforo (P)	372
Potasio (K)	880

Fuente: Arias *et al.* 2008.

La nutrición del suelo se encuentra relacionada con la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esta depende de un complejo equilibrio de macro y micro elementos. Los tres elementos más importantes son nitrógeno, fósforo y potasio (Resh, 2001).

El fósforo ha sido llamado «la llave de la vida» porque se halla directamente implicado en la mayoría de los procesos vitales de las plantas: es un constituyente esencial de numerosas coenzimas, como lo es la coenzima A; y además forma parte de la síntesis de carotenoides, la biosíntesis de lípidos, y está presente en todas las células y zonas de crecimiento (Thompson, 1988).

2.4. Formas de fósforo en el suelo

El fósforo del suelo se presenta casi exclusivamente como orto fosfatos derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4). Los compuestos formados pueden encontrarse en forma de sales en solución, sales cristalinas o sales adsorbidas por los coloides del suelo o pueden formar enlaces de gran estabilidad con los hidróxidos de Fe, Al o Mn que forman parte de los coloides del suelo. Estos últimos constituyen el “fosforo fijado” (Montecinos, 1997).

Las principales formas de fosfato inorgánico se muestran el cuadro, 2. Todos estos compuestos son de menor solubilidad que los compuestos fosfatados orgánicos.

Cuadro 2. Formas de fósforo inorgánico presentes en el suelo

Tipos de fosfatos	Denominación	Composición	Características
Fosfatos de calcio	hidroxiapatita	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$	mayor abundancia
	Oxiapatita	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ CaO	
	Fluorapatita	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ CaF ₂	mayor abundancia
	Carbonatoapatita	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ CaCO ₃	
	fosfato tricálcico	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	
	fosfato dicálcico	CaHPO ₄	mayor solubilidad
	fosfato monocálcico	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	mayor solubilidad
Fosfatos de Hierro	Livianita	Fe ₃ (PO ₄) ₂ 8H ₂ O	
	Estrengita	FePO ₄ 2H ₂ O	
Fosfatos de Aluminio	Variscita	AlPO ₄ 2H ₂ O	

Fuente: Adaptado de Tsai y Rosetto, 1992

Las principales formas de fosfatos orgánicos son el fosfato de inositol y los ácidos nucleicos. Tanto el inositol como los ácidos nucleicos parecen tener origen principalmente microbiano. El nivel de fósforo orgánico en los suelos pueden variar entre un 3 y un 85 % del fósforo total (Montecinos, 1997).

El fósforo orgánico proviene de restos vegetales y animales que al ser degradados por los microorganismos del suelo liberan compuestos fosfatados, constituye del 29 al 65% del fósforo presente en la superficie del suelo, la mayoría en compuestos de bajo peso molecular (Arzuaga *et al.*, 2005). La cantidad total de fósforo en el suelo puede ser alta; sin embargo, este puede estar presente en formas indisponibles o en formas que estén solo disponibles fuera de la rizósfera. En algunos suelos, más del 80% del fósforo aplicado al suelo se vuelve inmóvil, y por lo tanto no asimilable para la absorción por parte de las plantas. Entre el 20 al 80 % del fósforo del suelo está en forma orgánica, el remanente se puede encontrar en la fracción inorgánica, contenido en cerca de 170 formas minerales de fósforo (Schachiman, 1997).

2.4.1. Flujos del fósforo en el suelo

Un esquema general de las formas de fósforo en el suelo se presenta en las plantas absorben fósforo en forma de dihidrogenofosfato (H_2PO_4), ion que queda disponible al solubilizarse o romperse cualquiera de los compuestos fosfatados. Los equilibrios de reacción llevan a que la mayor parte del fósforo del suelo se encuentre con baja o muy baja disponibilidad. Solo un porcentaje muy bajo (entre 0,1 ppm y 0,3 ppm) se encuentra realmente en solución, plenamente disponible para plantas y microorganismos (Montecinos, 1997).

Los equilibrios de reacción entre las distintas formas de fósforo dependerán de los coloides y minerales presentes en el suelo, el pH, la actividad microbiológica, la presencia de enzimas y ácidos orgánicos y la intensidad de la demanda del nutriente. Mientras la composición y ph del suelo son características inalterables o muy difíciles de alterar, los agentes de origen biológico son posibles de manejar y prácticamente todos ellos tienden a mantener el fósforo en su estado de mayor disponibilidad. Por lo mismo, los agentes biológicos son fundamentales para asegurar un mejor uso del fósforo del suelo (Montecinos, 1997).

La cantidad del fósforo disponible para las plantas, depende de la modificación del equilibrio dinámico que mantiene la disolución con los compuestos inorgánicos insolubles o fijados por una parte, y la formación y descomposición de la materia orgánica por otra. El mantenimiento de una adecuada concentración de fósforo en el suelo es una condición indispensable para que la planta adquiera un desarrollo satisfactorio. El factor que influye directamente en el equilibrio es el pH, ya que condiciona el tipo de reacciones que harán que los compuestos fosfatados lleguen a las plantas (Navarro, 2003).

2.4.2. Mantención de una demanda permanente de fósforo

A medida que la planta consume el fósforo, se agota. Una demanda activa y permanente induce a una permanente renovación. La intensidad del flujo hacia formas más disponibles en un momento determinado puede seguir siendo baja, pero si el consumo se mantiene en forma permanente, las cantidades totales solubilizadas se elevan. Los mecanismos que permiten mantener una demanda permanente son todos aquellos que aseguran un crecimiento y una actividad radicular y microbiológica óptima (Borie, 1991).

2.4.3. Presencia de solubilizador de fósforo en el suelo

Un gran número de ácidos orgánicos tiene la capacidad de solubilizar fosfatos mediante extracciones de calcio, aluminio y fierro, dejando así al ion fosfato en estado soluble.

Los ácidos más activos en el suelo parecen ser el cítrico, oxálico, glucónico, láctico, málico. Los ácidos húmicos y fúlvicos cumplen el mismo papel que los anteriores. El ácido carbónico que se forma a partir del dióxido de carbono (CO₂) proveniente de la respiración microbiana y radicular, aunque no es un ácido orgánico, también actúa en forma similar especialmente en relación a los fosfatos de calcio (Eira, 1992).

La principal fuente de ácidos orgánicos en el suelo es la descomposición de la materia orgánica, pero también son importantes los exudados radiculares y microbianos. Se ha detectado la exudación activa de ácidos orgánicos por parte de los géneros *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Nitrobacter*, *Escherichia*, *Agrobacterium*, *Erwinia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Streptomyces* y otros (Alexander, 1977).

2.5. Ciclo microbiano en la solubilización

El ciclo microbiano del P implica la transformación del mismo, entre los depósitos orgánicos e inorgánicos, así como entre las formas insolubles y solubles. Los microorganismos juegan un papel primordial en la solubilización, la inmovilización y la mineralización. Las bacterias que solubilizan activamente el P representan un 10 % de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de microorganismos de la rizósfera, como *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* y algunos hongos. Existen tres mecanismos básicos para solubilizar el P mineral y hacer que resulte más disponible: la quelación, la reducción del hierro y la acidificación (Coyne, 2000).

La producción de ácido disuelve los minerales, como lo hacen parte de los microorganismos. De esta manera los ácidos orgánicos, el ácido nítrico (producido por agentes nitrificantes), el ácido sulfúrico (producido por los *tiobacilos*) y el ácido carbónico liberan P procedente de formas minerales. Las enzimas principales que intervienen en la mineralización del P son las fitasas y las fosfatasas (Coyne, 2000).

microorganismos extracelularmente. A partir de este momento, el P puede ser absorbidas por las plantas, inmovilizado en las células microbianas o puede formar complejos inorgánicos insolubles (Osorio, 2000).

El fósforo se encuentra en el suelo de manera orgánica e inorgánica y continuamente se va transformando, las formas inorgánicas del fósforo son pH dependientes, mientras que el fósforo orgánico depende de otros factores como el clima, la vegetación, la textura del suelo, prácticas de manejo e irrigación (Cuervo, 2010).

Sin embargo la mayor parte del fósforo presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su baja solubilidad; aun cuando el fósforo es añadido como fertilizante, rápidamente es fijado en el suelo en forma insoluble y asimilado lentamente por las plantas (Navarro, 2003).

Algunos microorganismos como parte de sus funciones en la transformación de nutrientes como el fósforo, pueden convertir a los compuestos de fósforo insoluble para la planta en formas disponibles como monofosfato y difosfatos, por el proceso de la producción de ácidos orgánicos (Simbaña, 2010).

La disponibilidad de fósforo está ligada a varios factores, el principal: el pH. En los suelos ácidos el fósforo se fija en forma de fosfatos de hierro y aluminio por lo que la acidez favorece la formación de iones de Fe^{3+} y Al^{3+} de coloides aumentando la reactividad que en presencia de fosfatos solubles reaccionan y forman fosfatos insolubles, en circunstancias alcalinas precipita en forma de fosfato cálcico insoluble. Los procesos de solubilización de fósforo funcionan mejor en medios con pH bajo, alto contenido de materia orgánica y otras condiciones (Coyne, 2000).

En el suelo existen diversas poblaciones microbianas benéficas para las plantas, entre las cuales sobresalen aquellas encargadas de la solubilización del fósforo insoluble presente en el suelo y de la liberación de los nutrientes contenidos en la materia orgánica (Primo, 1981).

2.7. Microorganismos solubilizadores de fósforo

La actividad microbiana es de gran trascendencia, al solubilizar los fosfatos no disponibles para la planta, los cuales se encuentran bajo formas orgánicas e inorgánicas. La habilidad para solubilizar los fosfatos se encuentra presentes en abundantes microorganismos como bacterias, levaduras, actinomicetes y hongos de vida libre que han sido relacionados con el incremento en la disponibilidad de fósforo en el suelo. Atraves de la aplicaciones de los biofertilizantes a base de microorganismos solubilizadores de fosfatos, la disponibilidad de fósforo puede incrementarse y el producto de su acción (fosfatos soluble) puede ser absorbido eficientemente por las plantas (Rodríguez, 2002).

Entre los géneros bacterianos más estudiados por su capacidad para solubilizar fosfatos se encuentran: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Azotobacter* y *Erwinia* observando una cantidad considerablemente mayor en la rizósfera, en comparación con el suelo no rizosférico (Rodríguez *et al.*, 1999).

2.8. *Bacillus pumilus*

2.8.1. Taxonomía

El género *Bacillus* pertenece a la familia *Bacillaceae*, es un género que hoy en día incluye más de 60 especies de bacilos. Este género está formado por microorganismos bacilares Gram positivos, formadores de endosporas, quimio heterótrofos que normalmente son móviles y rodeados de flagelos periticos. Son anaerobios o aerobios facultativos, son catalasas positivas. Las células bacterianas de este género tienen un amplio tamaño que varía 0,5 a 2,5 μm x 1,2-10 μm . Este género se encuentra comúnmente en suelos y plantas donde tienen un papel importante en ciclo del carbono y el nitrógeno.

Son habitantes comunes de aguas frescas y estancadas, son particularmente activos en sedimentos (Koneman, 2001).

Taxonómicamente según Bergeys D. (1989 - 2000), el género *Bacillus* puede clasificarse de la siguiente manera:

- Reino = *Bacteria*
- Filo = *Firmicutes*
- Clase = *Bacilli*,
- Orden = *Bacillales*
- Familia = *Bacillaceae*,
- Genero = *Bacillus*
- Especie = *B. pumilus*
- Nombre Binomial = *Bacillus pumilus*

En la primera edición del género es claramente diverso desde el punto de vista fenotípico y genotípico. La diferenciación entre especies del género *Bacillus* se centró en los resultados en la fermentación de lactosa, sorbitol, manitol, melobiosis, hidrólisis de la urea, y descarboxilación de la lisina (Anderson *et al.*, 2003).

2.9. Características de la bacteria *B. Pumilus*.

Es una bacteria perteneciente al grupo de *B. subtilis*, se encuentra comúnmente en el suelo, agua, aire y la descomposición de los tejidos vegetales. *B. pumilus*, generalmente se encuentra inactivo y está en forma de esporas. Produce enzimas citolíticas, proteasas y otras enzimas que degradan una variedad de sustratos naturales y contribuyen al reciclaje de nutrientes. Es un gran controlador biológico, *Bacillus pumilus* previene las enfermedades del suelo causadas por *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp., *Verticillium* spp, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora capsici*, *Pythium* spp. (Calderón *et al.*, 2002).

Bacillus pumilus puede inducir resistencia general, en algunas plantas, una respuesta conocida como "resistencia sistémica adquirida (SAR)," que mejora la capacidad de la planta para resistir a numerosos agentes patógenos. Por ejemplo, induce la resistencia a la marchitez bacteriana (*Erwinia tracheiphilia*) en pepinos, la inhibición del crecimiento del micelio de varias especies de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, la inhibición de la *Botrytis cinerea*, la supresión de enfermedades del trigo causada por *Gaumannomyces graminis*, el control del deterioro en los cítricos (*Penicillium digitatum*) después de la cosecha (Claus, 1986; citado por Calderón *et al.*, 2002).

2.10. Determinación del fósforo disponible

2.10.1. Mehlich 3

Mehlich 3, es un proceso para obtener un extracto del suelo que sirve para determinar los cationes intercambiables y tener un resultado de nutrientes disponibles en el suelo (P, K, Ca, Mn, Cu, Fe, Mg y Zn). (Melich, 1984).

Mehlich 3 fue desarrollado por el Dr. Adolf Mehlich en 1984. Hoy en día es utilizado en todo el mundo ya que es muy adecuado para una amplia gama de suelos, tanto ácidos como alcalinos en la reacción. El método Mehlich 3 es similar en principio al de Bray y Kurtz P-1 porque se basa en la acción de una solución ácida de fluoruro de amonio. El ácido acético en el extractante también contribuye a la liberación de P disponible en la mayoría de los suelos. Es más eficaz que el método Mehlich 1 en la predicción de la respuesta de los cultivos al P en suelos neutros y alcalinos porque la acidez del extractante se neutraliza menos por el carbonato de calcio. Varios estudios han demostrado que Mehlich 3 está altamente correlacionado con el P extraído de los suelos por el método Bray y Kurtz P-1, Mehlich 1 y Olsen. (Molina, 2012).

Para Mehlich 3, un valor de 45 a 50 mg/kg es generalmente considerado como óptimo para el crecimiento de las plantas y los rendimientos de los cultivos, por encima de los valores críticos utilizados para otras pruebas estándar de P en el suelo, como el método Bray y Kurtz P-1, Mehlich 1 y Olsen. (Molina, 2012).

2.11. Estadísticos utilizados en el análisis

2.11.1. Análisis estadístico descriptivo

En la descripción de variables de carácter cualitativo y cuantitativo se consideró el análisis de tendencia central y de dispersión. Para los atributos cualitativos, el análisis de cuadros de contingencia y prueba de Chi cuadrado, mientras que para los atributos cuantitativos se utilizó la media aritmética, desviación estándar y el coeficiente de variación (Steel y Torrie, 1988).

2.11.2. Análisis multivariado

Una de las alternativas para estudiar la variabilidad del desenvolvimiento de la aplicación de bacteria *Bacillus pumilus* es la aplicación del análisis multivariado, el mismo se puede definir como la aplicación de métodos que trata razonablemente un gran número de medidas hechas sobre cada objetivo en una o más muestras simultáneamente (Dillon y Goldstein, 1984).

Los mismos autores mencionan, que el punto más importante es que el análisis multivariado trata de la relación simultánea entre variables. Este tipo de análisis difiere del univariado y bivariado en que estos dirigen su atención, análisis del promedio y la varianza de una sola variable o de la relación entre dos variables, el análisis de la covarianza o correlaciones que reflejan la extensión de la relación entre tres o más variables.

Simultáneamente Plá (1996), señala que en el caso de poblaciones univariadas, casi siempre es posible caracterizar completamente la distribución de probabilidades a partir del promedio de varianza, terminando el análisis con la interpretación de estos parámetros. En cambio para el caso multivariado, en donde se estudia una población "P" es decir un conjunto de individuos donde se han observado o medido "r" características o propiedades, se dispondrá de "P" individuos y "r" variables que no solo deben ser estimadas, lo cual no es difícil con las computadoras digitales sino que deben ser interpretadas.

Por su parte, Ferreira (1987), corrobora las anteriores definiciones remarcando que el análisis multivariado es una rama de las matemáticas que se ocupa del examen simultáneo de numerosas variables y es necesario aplicarlo, cuando a una población o individuos se estudia a partir de más de una característica y se estima que la naturaleza de la población o el individuo es producto de las relaciones entre dichas características, además que permite obtener grupos en función a la importancia de las variables.

Este tipo de análisis, ofrece la posibilidad de expresar en combinaciones lineales a las variables originales, este es quizás la herramienta más poderosa para realizar este tipo de análisis estadístico, porque permite en un mínimo reducido de combinaciones sintetizar la

mayor parte de la información contenida de los datos originales, lo cual no es factible en el análisis univariado (Plá, 1996).

El mismo autor indica, que los métodos estadísticos multivariados pueden agruparse en dos conjuntos: Los que permiten extraer la información acerca de la independencia entre variables que caracterizan a cada uno de los individuos; y los que permiten extraer información acerca de la dependencia entre una o más variables con otra u otras características.

2.11.3. Análisis de componentes principales (ACP)

Según Crisci y López (1983), la estructuración de los datos para este tipo de análisis consiste en representar el conjunto de observaciones, según un modelo lineal mediante un número reducido de variables hipotéticas llamadas componentes principales, los cuales ya no están correlacionados y pueden interpretarse independientemente unos de otros.

Al respecto Plá (1996), señala que el análisis es denominado de ordenamiento, permite la estructuración de un conjunto de datos multivariados que son obtenidos de una población cuya distribución de probabilidades no necesita ser conocida, constituyéndose en una técnica matemática que no requiere un modelo estadístico para explicar la estructura probabilística de los errores, aunque el tamaño de la muestra es tal que puede asumirse como multinormalidad, ya sea por aumento en el número de variables consideradas o por el número de individuos que integran la muestra, se puede encontrar significación estadística en los componentes, ya que es posible asociar a cada uno de ellos una medida de confiabilidad.

El mismo autor indica, el ACP tiene como objetivo principal generar nuevas variables que pueden expresar la información contenida en el conjunto original de datos. Estas variables, son diferentes entre sí, de tal modo que el primer componente principal explica la mayor cantidad posible de la dispersión total de los datos, el segundo componente principal explica la dispersión restante y así sucesivamente.

Crisci y López (1983), mencionan que los otros objetivos del ACP son el de reducir la dimensionalidad del problema que se está estudiando, como paso previo para futuros análisis y eliminar cuando sea posible alguna de las variables originales que aporte poca información.

Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Material genético

Se utilizó la bacteria *Bacillus pumilus*, caracterizada por ser gram positiva, aerobica, formadora de esporas de alta resistencia a las tensiones ambientales, como la exposición a la luz UV, a la desecación y a la presencia de oxidantes tales como peróxido de hidrógeno. Estos microorganismos crecen en medios con fósforo donde solubiliza una gran proporción y libera el fósforo disponible para el cultivo.

Como material vegetal se utilizó la variedad de papa Waych'a, que se caracteriza por ser la más comercial a nivel nacional. Sus características son las siguientes: ciclo vegetativo: 4 a 6 meses, rendimiento que genera es de 15 t/ha, floración y follaje abundante (PDM-Tiraque, 2003).

3.1.2. Equipo de laboratorio, materiales de campo y otros.

Equipos y material de laboratorio de suelos:

❖ Equipos

- Balanza de peso de suelo de 3.5 kg.
- Horno graduado de 300 °C.
- Shaker Orbit
- Agitador automático

❖ Materiales

- Frascos de muestra.
- Barra de muestras de 25 cm.
- Bolsas de muestreo.
- Frascos de 100 g.
- Pipeta de 10 mL.
- Balón aforado de 2 Litros.
- Pipeta dosificadora de 1mL.
- Papel de secado de suelo.

❖ Reactivos

- Solución – EDTA.
- Ácido nítrico (68 a 70%).
- Agua destilada.
- Nitrato de Amonio
- Ácido Acético Glacial (99,5 %).

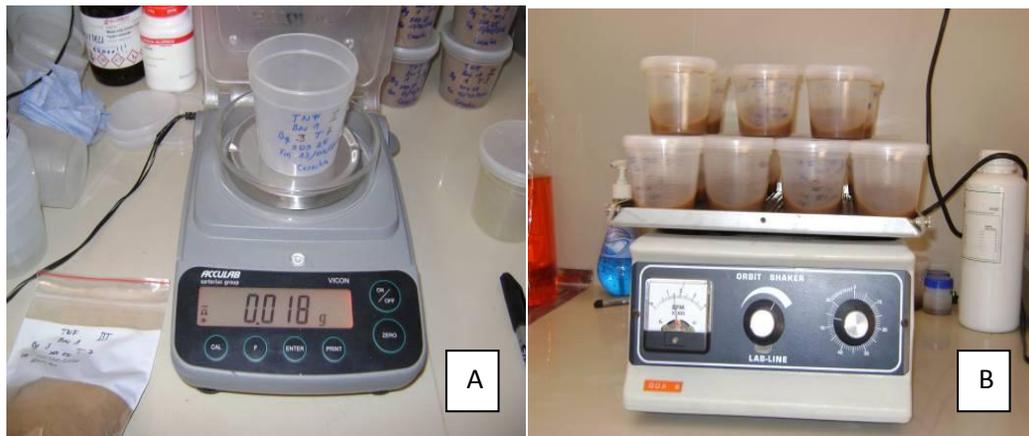


Fig. 2. Materiales y equipos utilizados en el laboratorio:

A) Peso del suelo en la balanza B) agitado del suelo y la solución en el Shaker

✚ Materiales de insumos:

- Semilla de Papa de la variedad Waych'a
- Gallinaza
- Ridomil
- Lorsban plus
- Ditane
- Karate Zeon
- Fosfato diamonico (18 – 46 – 0)
- Fosfato triamonico (0 – 40 – 0)

✚ Materiales de escritorio:

Los materiales de escritorio utilizados en el proceso del trabajo de tesis realizado fueron: Planillas, Tablero, Bolígrafos, Hojas, Cuaderno, Computadora e Impresora.

✚ Materiales de campo:

En el seguimiento y evaluación del estudio, se emplearon en campo los siguientes:

- Picotas, azadón y estacas
- Cintas de selección, Mesa de área metálica y Pita de 50 m.
- Cinta métrica de 50 m.
- Balde de 10 L.
- Mochila fumigadora de 25 L.
- Arado, Yunta y otros.
- Bomba de agua, Mangueras y Tubos de riego por surco.

3.2. Metodología

3.2.1. Procedimiento de investigación

3.2.1.1. Ubicación

El ensayo se estableció en parcelas experimentales de la Fundación PROINPA, ubicada en la comunidad de 15 de Octubre - Municipio de Tiraque - Departamento de Cochabamba.

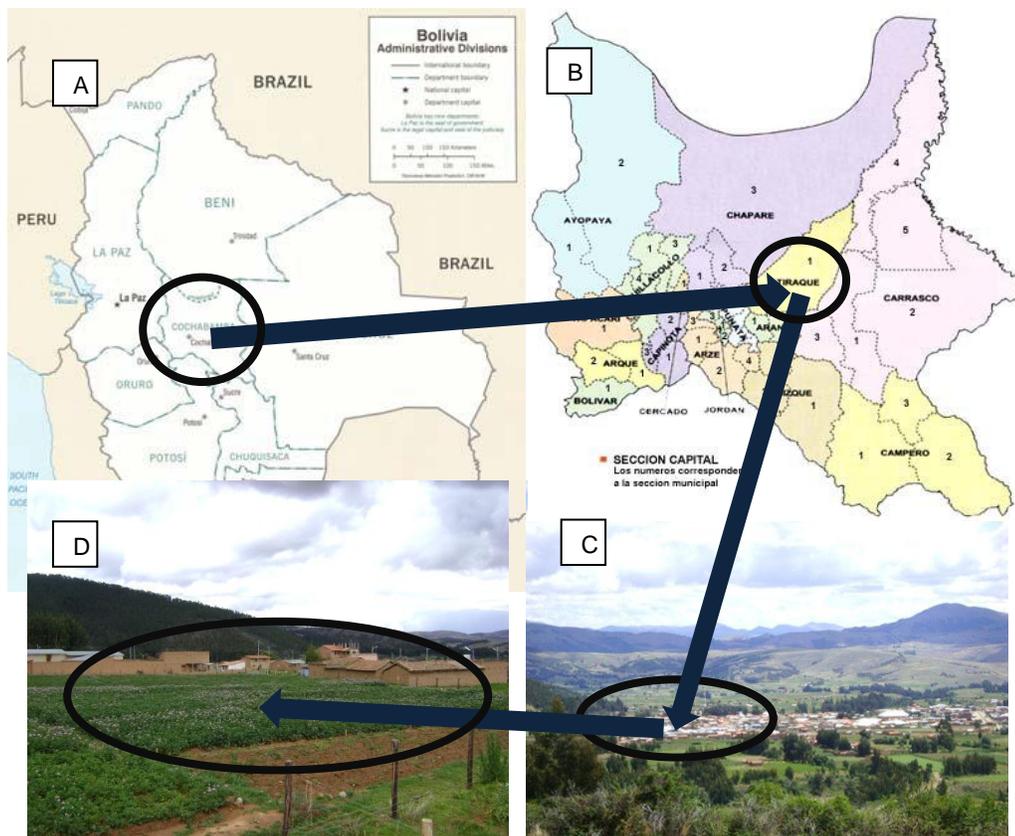


Fig. 3. Ubicación del ensayo de tesis.

La temperatura media anual de la región es 12 °C, con una máxima mensual superior a los 25 °C, y una mínima mensual superior a los -3 °C. Las máximas siempre se presentan en verano y las mínimas en el invierno, la precipitación media anual es de 500mm (PDM Tiraque, 2003).

Los suelos de Tiraque, son sedimentos procedentes de areniscas arcillosas, de grano fino con estratificación de suelos gruesos, tienen origen aluvial moderadamente profundo a profundo y en las partes bajas de las laderas el origen es por acumulación de sedimentos (llanura), de profundidades medias y superficiales. Se observa afloraciones rocosas en las colinas altas y laderas con un contenido de materia orgánica moderado a bajo y los suelos son de color café, textura mediana y pesada. En los lugares coluviales y aluviales, los suelos son más profundos (PDM Tiraque, 2003).

3.2.1.2. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó el diseño experimental de Parcelas Divididas en Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones, donde a nivel de Parcela se estableció el Factor *Bacillus pumilus* y a nivel de subparcela el factor fósforo.

A continuación se describe los factores de estudio y sus respectivos niveles:

Factor B: *Bacillus pumilus*:

- b1: Sin *Bacillus pumilus*
- b2: Con *Bacillus pumilus*

Factor F: Fósforo:

- f1 = Sin gallinaza
- f2 = Con gallinaza+ P₂O₅ (0 Kg/ha)
- f3 = Con gallinaza + P₂O₅ (40 Kg/ha)
- f4= Con gallinaza + P₂O₅ (80 Kg/ha)

La combinación de los niveles de ambos factores dio lugar a 8 tratamientos descritos a continuación:

Distribución de las unidades experimentales

T1 = b1 x f1 = Sin *Bacillus pumilus* + Sin gallinaza

T2 = b1 x f2 = Sin *Bacillus pumilus* + gallinaza + P₂O₅ (0 kg/ha)

T3 = b1 x f3 = Sin *Bacillus pumilus* + gallinaza + P₂O₅ (40 kg/ha)

T4 = b1 x f4 = Sin *Bacillus pumilus* + gallinaza + P₂O₅ (80 kg/ha)

T5 = b2 x f1 = Con *Bacillus pumilus* + Sin gallinaza

T6 = b2 x f2 = Con *Bacillus pumilus* + gallinaza + P₂O₅ (0 kg/ha)

T7 = b2 x f3 = Con *Bacillus pumilus* + gallinaza + P₂O₅ (40 kg/ha)

T8 = b2 x f4 = Con *Bacillus pumilus* + gallinaza + P₂O₅ (80 kg/ha)

3.2.1.3. Modelo estadístico del diseño de parcelas divididas:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \eta_{ij} + \delta_k + (\tau\delta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

- μ = es un efecto general
- β_i = el efecto del bloque completo i
- τ_j = el efecto del Bacteria j sobre la parcela grande $(ij)\eta_{ij}$
- η_{ij} = el elemento aleatorio de error sobre la parcela grande $(ij)\delta_k$
- δ_k = el efecto del tratamiento k dentro de la parcela grande $(ij)(\tau\delta)_{jk}$
- $(\tau\delta)_{jk}$ = la interacción entre la bacteria j y el tratamiento k
- ε_{ijk} = el error sobre la parcela chica $(ijk)\gamma_{ijk}$
- γ_{ijk} = el valor de la característica en estudio

i = b1, b2 (con y sin bacteria) (A)

j = f1, f2, f3, f4 (Fósforo) (B)

k = I, II, III (Bloque) (R)

Cuadro 3. Cuadrado medio esperado en el ensayo.

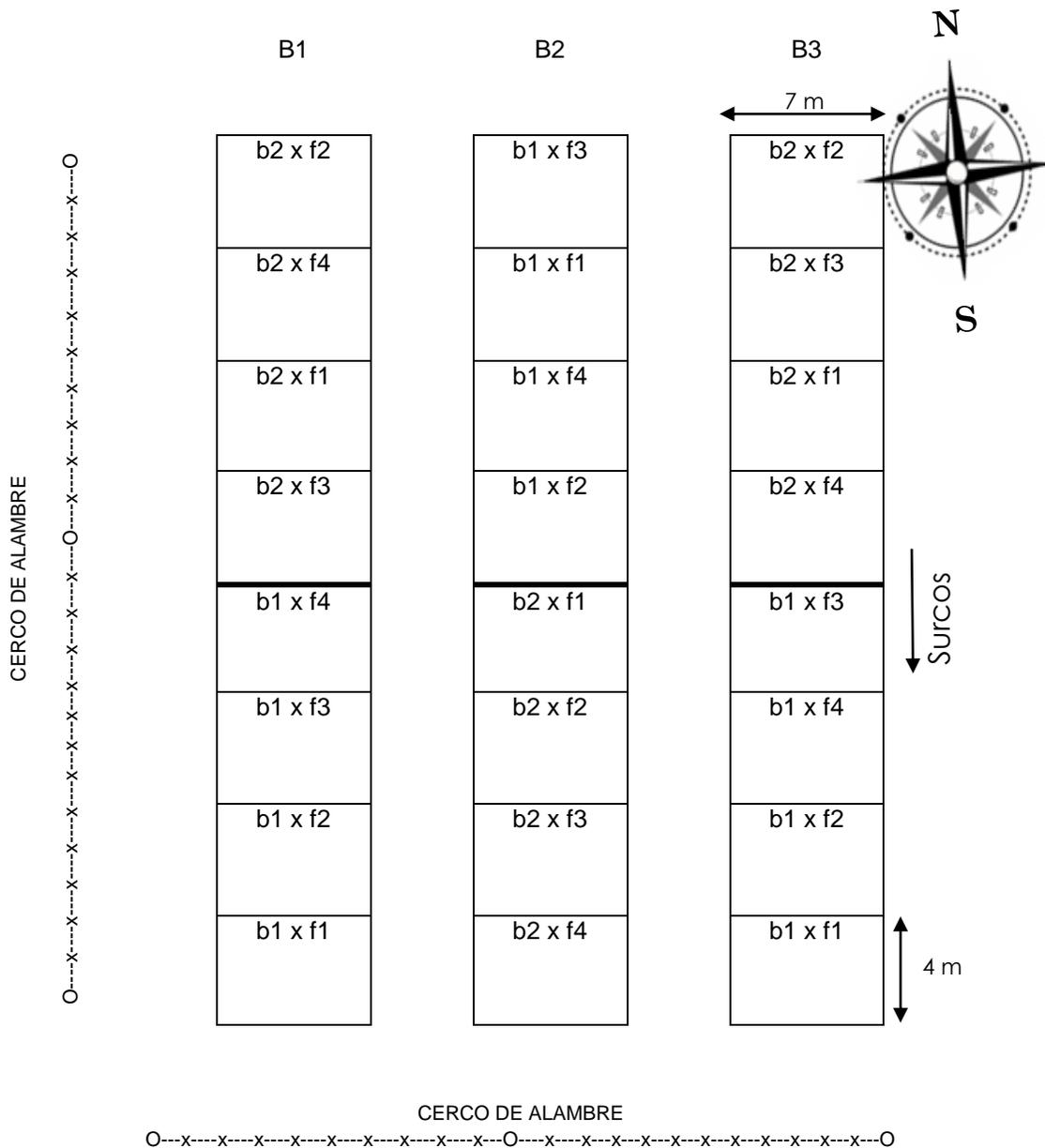
F de V	GL	SC	E (CM)
Bloques	$r - 1$	$\sum_{i=1}^r \frac{B_i^2}{pq} - \frac{G^2}{rpq}$	
Bacteria	$p - 1$	$\sum_{j=1}^t \frac{T_j^2}{rp} - \frac{G^2}{rpq}$	$\sigma_s^2 + q\sigma_p^2 + rp \frac{\sum_j (\tau_j - \tau^-)^2}{p-1} \sigma_s^2$
Error en parcela grande	$(p-1)(r-1)$	SCE_p	$+ q\sigma_p^2$
subtotal	$rp - 1$	$\sum_{ij} \frac{Y_{ij}^2}{q} - \frac{G^2}{rpq}$	
Tratamientos	$q - 1$	$\sum_{k=1}^q \frac{S_k^2}{rp} - \frac{G^2}{rpq}$	$\sigma_s^2 + rp \frac{\sum_k (\delta_k - \delta^-)^2}{q-1}$
Bac X Trat	$p(r-1)(q-1)$	$SCTS$	$\sigma_s^2 + r \frac{\sum_{jk} [(\tau\delta)_{jk} - (\tau\delta^-)]^2}{(p-1)(q-1)}$
Error en parcela chica	$(p-1)(q-1)$	SCE_s	σ_s^2
Total	$rpq - 1$	$\sum_{ijk} \frac{Y_{ijk}^2}{rpq}$	

3.2.1.4. Descripción de las unidades experimentales

✚ Número de surcos:	10
✚ Longitud de los surcos:	4 m
✚ Número de plantas por surco:	13
✚ Número de plantas por unidad experimental:	130
✚ Distancia entre surcos:	0.7 m
✚ Distancia entre plantas:	0.3 m
✚ Superficie de cada unidad experimental:	28 m ²
✚ Superficie efectiva del ensayo (sin calles):	672 m ²
✚ Cantidad de gallinaza por surco en T2, T3, T4	1 kg
✚ Cantidad de <i>Bacillus</i> por surco:	0,52 cc

3.2.1.5. Croquis del experimento

En el trabajo de investigación se desarrolló de acuerdo al siguiente croquis de campo;



3.2.1.6. Seguimiento

a) Siembra

La siembra se realizó en fecha 31 de agosto de 2011, correspondiente la época conocida como “Mishka” o Siembra temprana. Antes de la siembra el suelo se encontraba mullido y con una humedad a capacidad de campo. La apertura de surcos se realizó con arado de yunta manteniendo una distancia de 0,7 m entre surcos donde se empleó la gallinaza a una dosis de 12 t/ha, fosfato diamónico (40 t/ha) y el fosfato triamónico (80 t/ha) y que corresponde a la cantidad tradicionalmente utilizada en la región y se aplicó al momento de la siembra, juntamente con las semillas depositando en los surcos abiertos.

La bacteria, que estaba formulada en líquido, se aplicó con una mochila de aspersion sobre la gallinaza y sobre la semilla, en surco abierto y a una dosis de 1.2 L/ha.



Fig. 4. Procedimiento de la siembra.

A) Siembra de papa en surco abierto.

B) Fertilización química en surco abierto.

C) Aplicación de la bacteria *Bacillus pumilus* en surco abierto sobre la gallinaza y semilla.

D) Tapado de surcos.

b) Aporque

El aporque tiene el propósito de aflojar el suelo para una mejor aireación, afirmar las plantas cubriendo su parte del cuello con más suelo, eliminar las malezas y alinear los surcos para un mejor deslizamiento del agua de riego. Esta práctica se realizó en dos momentos: la primera cuando las plantas alcanzaron una altura de 25 y 30 cm en fecha 24 de noviembre y la segunda cuando las plantas tenían una altura de 40 cm en fecha 12 de enero. Esta última además permitió eliminar a las malezas y cubrir del sol los tubérculos que se venían formando.

c) Control fitosanitario

El control fitosanitario de plagas y enfermedades se realizó de manera preventiva. Los productos y sus dosis fueron los siguientes:

- a) Primera aplicación: Ridomil y Lorsban plus con una dosis de 1,5 kg / ha y 1200 mL / ha respectivamente.
- b) Segunda aplicación: Lorsban plus y Ditane con una dosis de 1200 mL / ha y 1 kg / ha respectivamente.
- c) Tercera aplicación: Ridomil y Lorsban plus con una dosis de 1,5 kg / ha y 1200 mL / ha respectivamente.
- d) Cuarta aplicación: Karate y Ditane con una dosis de 500 mL / ha y 1 kg / ha respectivamente.



Fig. 5. Control fitosanitario del Cultivo.

d) Riego

El sistema de riego consistió en el uso de una bomba que succionaba el agua de un reservorio adyacente a la parcela experimental. La distribución del agua se realizó a través de mangueras y tuberías cuyas salidas estaban dispuestas en serie para su aplicación en los surcos a una presión constante y uniforme tal como se observa en la Figura 6. La frecuencia de riego fue cada dos semanas hasta lograr alcanzar la capacidad de campo del suelo.



Fig. 6. El sistema de riego aplicado en el cultivo fue a través del uso tuberías con presión constante y uniforme.

e) Cosecha

La actividad de cosecha se ha realizado entre los 170 a 172 días (16 al 18 de febrero) en la etapa de la madurez del tubérculo y la planta, donde se procedió a la recolección del tubérculo y evaluación del rendimiento por tratamiento.

De acuerdo a la metodología adoptada, se cosecharon las plantas identificadas en un área determinada de 2.8 x 3.5 m., provenientes de los surcos centrales, dejando un metro en las cabeceras del surco para eliminar el efecto de borde, con la finalidad de estimar promedios que permitan un análisis estadístico confiable correspondiente para la evaluación de los componentes de rendimiento de la producción del tubérculo.



Fig. 7. Área de cosecha para la determinación del rendimiento.

3.2.2. Variables de Respuesta del suelo

3.2.2.1. Fósforo disponible (Mehlich-3)

Para el análisis de la disponibilidad de fósforo en el suelo se utilizó el método de Mehlich – 3 para lo cual se tomaron muestras de suelo en diferentes etapas del cultivo de papa. Estas muestras se identificaron, y embolsaron para luego ser llevadas al laboratorio de suelos de la Fundación PROINPA. El proceso consistió en secar y cernir las muestras hasta obtener sub muestras de 10 g. de suelo la cual se procedió a mezclar en el equipo (Sheyker) con la solución de Mehlich de 40 mL durante una hora y luego se procedió a decantar 24 hrs obteniendo una solución de 20 mL para proceder al análisis de disponibilidad de fósforo con la mezcla de soluciones químicas y luego llevarlo al microplate en la cual se determina los resultados de fósforo.



Fig. 8. Muestreo de suelo para el análisis de disponibilidad de fósforo.

3.2.2.2. Evaluación de la presencia de *Bacillus pumilus*

Se tomaron muestras de tubérculos, planta y suelo y se enviaron al laboratorio de microbiología de la Fundación PROINPA para la determinación de la presencia de *Bacillus pumilus* en la rizósfera, raíz, tallo, tubérculos y hojas.



Fig. 9. Sellado y etiquetado de muestras para análisis de bacterias.

3.2.3. Variables de respuesta del cultivo

3.2.3.1. Emergencia

El porcentaje de emergencia se evaluó contabilizando el número de plantas emergidas después de la siembra. Esta evaluación se realizó en una superficie determinada en cada unidad experimental. El porcentaje de emergencia se estimó en base a la siguiente relación: $\text{Emergencia (\%)} = (\text{Número de plantas emergidas} / \text{Número de semillas sembradas}) \times 100$.

3.2.3.2. Altura de planta

La altura planta fue evaluada en nueve plantas por unidad experimental. Esta variable fue evaluada al momento de la floración, midiendo la longitud del tallo principal de cada planta desde su cuello en la base hasta la inserción de la última hoja en el ápice.



Fig. 10. Toma de altura planta en floración.

3.2.3.3. Cobertura foliar

El porcentaje de cobertura foliar expresa el área cubierta por el follaje del cultivo la cual se evaluó sacando fotos digitales por encima de tres plantas adyacentes identificadas previamente de manera aleatoria en cada unidad experimental. Posteriormente las fotografías digitales de la cobertura foliar fueron analizadas por el software COBCAL que

permite discriminar la superficie con cubierta vegetal de la superficie sin cubierta vegetal y permite calcular el área de dichas superficies. La evaluación se realizó en tres oportunidades durante el desarrollo del cultivo.



Fig. 11. Evaluación de cobertura en la etapa antes de floración.

3.2.3.4. Número de tallos

El número de tallos se evaluó al momento de la floración del cultivo, para esto se procedió a identificar previamente las plantas con un marbete. Se contabilizó el número de tallos de cada planta identificada, reconociendo como tallos aquellos que emergían del suelo y descartando a las ramas de los tallos. El número de plantas evaluadas por unidad experimental fue de 9, las que estaban ubicadas en los surcos centrales y fueron elegidas de manera aleatoria.

3.2.3.5. Rendimiento

La cosecha se realizó a los 170 días después de la siembra. Se cosechó los surcos centrales de cada unidad experimental. Los tubérculos cosechados se clasificaron en 5 tamaños (I = Mayor a 5 cm; II = 4,5 a 5 cm; III = 3,5 a 4,5 cm; IV = 2,5 a 43,5 y V = Menor a 2,5 cm). Se contabilizó el peso y número de los tubérculos por cada tamaño cosechado.



Fig. 12. Cosecha del ensayo de papa en las distintas unidades experimentales.

Las variables de respuesta fueron analizadas usando los programas estadísticos SSPS en la cual se trabajó en la obtención del análisis de varianza y el análisis de correlación y SAS se trabajó en la obtención de comparación de medias.

3.2.4. Análisis económico

El análisis económico se realizó sobre la base de la metodología de presupuestos parciales y datos agronómicos (PROINPA, 2008) Esto consistió en calcular los costos de producción y los beneficios netos de cada tratamiento con y sin la presencia de la bacteria *Bacillus pumilus*. Con estos datos se realizó el análisis de dominancia donde las estrategias se ordenaran en una escala en función a los costos de producción de la región.

Finalmente se determinó la tasa de retorno marginal, el cual resulta de dividir el beneficio neto con el costo de producción marginal; para su cálculo se toma en cuenta las estrategias no dominantes.

Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Características agroclimáticas

Las condiciones climáticas de la comunidad 15 de Octubre de Tiraque, corresponde a la clasificación del altiplano. La incidencia de heladas se presenta en los meses de mayo a junio, con una temperatura promedio anual de 11.54° C con masas de aire frío provenientes del Norte, que causan olas de frío principalmente en verano e invierno, a una velocidad de viento de 9.7 Km*hr¹, con la precipitación pluvial anual que alcanza 500 mm y por los meses de septiembre a marzo alcanza una precipitación media de 900 mm. (Cruz, 2009).

La figura 13, muestra la variación climática durante la campaña 2011 – 2012 en la comunidad 15 de octubre del municipio de Tiraque, Cochabamba. Se observa una amplia variación entre las temperaturas extremas (máximas y mínimas) durante el ciclo del cultivo igual a 26,66 °C – 2,03 °C. Este rango de variación de temperatura es adecuado para el normal desempeño fisiológico y consecuentemente el favorable desarrollo vegetativo y de los tubérculos de variedades nativas de papa (Loynachan T. E. 2001; Paul E. & Clark A. 1989), como es la variedad Waych'a que se utilizó en el presente estudio. La temperatura media próxima a los 12 °C que se muestra en la misma figura, también es la adecuada para el desarrollo de este tipo de variedades de papa. En relación a la precipitación, esta fue escasa durante las etapas iniciales del cultivo (septiembre a diciembre 2011) por lo que fue necesario completar con riego suplementario. En las etapas finales del cultivo (enero a febrero 2012) la precipitación se incrementó a niveles adecuados para el cultivo por lo que no fue necesario regar. La principal dificultad que se encontró fue la precipitación del mes de febrero que dificultó y retrasó la cosecha. En general el uso consuntivo de la papa está alrededor de 500 a 600 mm (Cruz, 2009).

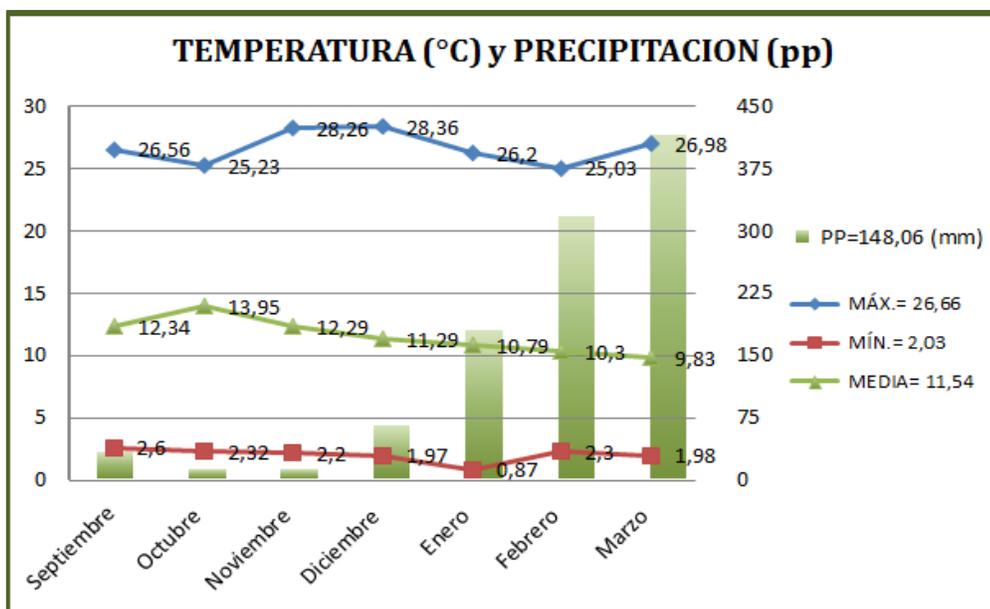


Fig. 13. Variación climática durante la campaña 2011 – 2012 en la comunidad 15 de octubre del municipio de Tiraque, Cochabamba.

Fuente: PROINPA – Tiraque

4.2. Variables de cultivo

a. Emergencia

En el Cuadro 4, se presenta el análisis de varianza para la variable emergencia del cultivo de papa por efecto de la bacteria *B. pumilus* y de niveles de fertilización fosfórica.

Cuadro 4. ANVA para la emergencia de papa por efecto de la bacteria *B. pumilus* y niveles de fertilización fosfórica. 2011-2012.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft	
Bloques	2	749,8	374,9	8,08		
Bacteria (B)	1	416,7	416,7	8,98	12,5	ns
Error (a)	2	92,8	46,4			
Total Parcelas	5	1259,2				
Parcelas	5	1259,2				
Fertilización (F)	3	182,4	60,8	0,21	3,49	ns
Bact X Fert	3	655,8	218,6	0,76	3,49	ns
Error (b)	12	3464,6	288,7	1,19		
Total Sub Parcelas	23	5562,1	241,8			

* Significativo; ns; no significativo

CV (a): 9% CV (b): 22%

Bajo las condiciones del estudio, no se pudo evidenciar que exista diferencias significativas en la emergencia del cultivo de papa por efecto de la bacteria *B. pumilus* ni por efecto de la fertilización fosfórica. Tampoco por la interacción de ambos factores (Cuadro 4).

b. Altura planta

En el Cuadro 5, se presenta el ANVA para la variable altura de planta. No se observan diferencias significativas por efecto de la bacteria *B. pumilus* ni por efecto de la fertilización fosfórica y tampoco por la interacción de ambos factores.

Cuadro 5. Análisis de Varianza para la variable altura de planta del cultivo de papa en diferentes momentos después de la siembra.

FV	gl	80 dds			95 dds		
		CM	Fc	Ft	CM	Fc	Ft
Bloques	2	83,6	1,75	19 ns	143,6	1,45	19 ns
Bacteria(B)	1	39,2	0,82	12,5 ns	35,0	0,35	12,5 ns
Error(a)	2	47,7			99,3		
Total Parcelas	5						
Bloques Sub Parcelas	5						
Fertilización(f)	3	32,0	1,22	3,49 ns	152,4	3,00	3,49 ns
Bact X Fert	3	48,1	1,83	3,49 ns	8,8	0,17	3,49 ns
Error(b)	12	26,3	0,70		50,8	0,72	
Total Sub Parcelas	23	37,3			70,2		

* Significativo; ns = no significativo

A los 80 dds CV(a):15% CV(b):11% A los 95 dds. CV(a): 16% CV(b):11%

c. Número de tallos

En el Cuadro 6, se presenta el ANVA para número de tallos. No se observan diferencias significativas por efecto de la bacteria *B. pumilus* ni por efecto de la fertilización fosfórica y tampoco por la interacción de ambos factores.

Cuadro 6. Análisis de Varianza para el número de tallos del cultivo de papa en diferentes momentos después de la siembra.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Ft	
Bloques	2,5	2	1,3	6,80		
Bacteria(B)	0,3	1	0,3	1,59	12,5	ns
Error(a)	0,4	2	0,2			
Total Parcelas	3,2	5				
Bloques Sub Parcelas	3,2	5				
Fertilización(f)	1,8	3	0,6	2,98	3,49	ns
Bact x Fert	0,1	3	0,0	0,24	3,49	ns
Error(b)	2,5	12	0,2	0,62		
Total Sub Parcelas	7,7	23	0,3			

* Significativo; ns = no significativo

CV(a):9% CV(b):9%

d. Cobertura foliar

En el Cuadro 7, se presenta el ANVA para la variable cobertura foliar. Solo se observan diferencias significativas por efecto de la bacteria *B. pumilus* a los 95 días después de la siembra. No se observa diferencias por efecto de la fertilización fosfórica ni por la interacción de la bacteria con el fósforo.

Cuadro 7. Análisis de Varianza para la variable cobertura foliar del cultivo de papa en diferentes momentos después de la siembra.

FV	gl	80 dds			95 dds			110 dds		
		CM	Fc	Ft	CM	Fc	Ft	CM	Fc	Ft
Bloques	2	99,1	6,07		7,7	21,84	19 ns	152,1	0,60	
Bacteria(B)	1	183,6	11,25	12,5	14,3	40,42	12,5*	3,5	0,01	12,5 ns
Error(a)	2	16,3			0,4			254,1		
Total Parcelas	5									
Bloques Sub Parcelas	5									
Fertilización(f)	3	46,3	0,77	3,49	18,3	0,87	3,49 ns	120,2	1,62	3,49 ns
Bact X Fert	3	75,4	1,25	3,49	19,0	0,90	3,49 ns	8,8	0,12	3,49 ns
Error(b)	12	60,2	0,92		21,1	1,23		74,0	0,81	
Total Sub Parcelas	23	65,3			17,2			90,9		

* Significativo; ns = no significativo

En la figura 14, se presenta la variación de la cobertura foliar por efecto de la bacteria *B. Pumilus* donde se presenta una diferencia en el desarrollo foliar del cultivo, la bacteria *B. Pumilus*.

Pumilus muestra un incremento entre días de crecimiento donde muestra de la siguiente manera a los 80 dds.

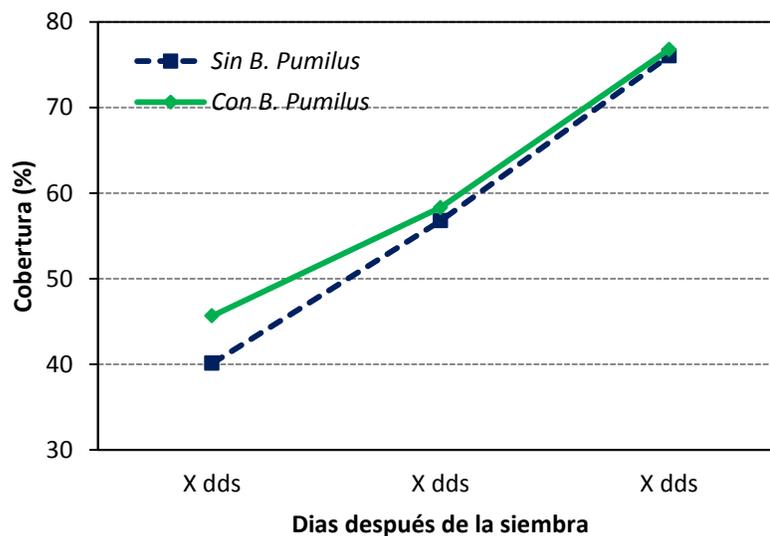


Fig. 14. Efecto de la bacteria *Bacillus pumilus* en la cobertura foliar del cultivo de papa.

e. Rendimiento

En el Cuadro 8, se presenta el ANVA para el variable rendimiento. No se observan diferencias significativas por efecto de la bacteria *B. pumilus* ni por efecto de la fertilización fosfórica y tampoco por la interacción de ambos factores.

Cuadro 8. Análisis de Varianza para el rendimiento del cultivo de papa.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Ft	
Bloques	275,9	2	137,9	1525,50		
Bacteria (B)	44,3	1	44,3	489,75	12,5	ns
Error (a)	0,2	2	0,1			
Total Parcelas	320,3	5				
Bloques Sub Parcelas	320,3	5				
Fertilización (f)	60,4	3	20,1	0,47	3,49	ns
Bact x Fert	135,7	3	45,2	1,06	3,49	ns
Error (b)	511,0	12	42,6	0,95		
Total Sub Parcelas	1027,4	23	44,7			

** Altamente significativo; ns = no significativo

CV(a):1% CV(b):27%

La comparación de medias del rendimiento de papa por efecto de la bacteria se muestra en la figura 15. Bajo las condiciones del ensayo no se pudo demostrar que la bacteria *B. pumilus* tenga efecto sobre el rendimiento de papa, debido a que la colonización de esta bacteria fue lenta y no logró solubilizar el fósforo del suelo a tiempo para que sea aprovechado por el cultivo (Figura 16).

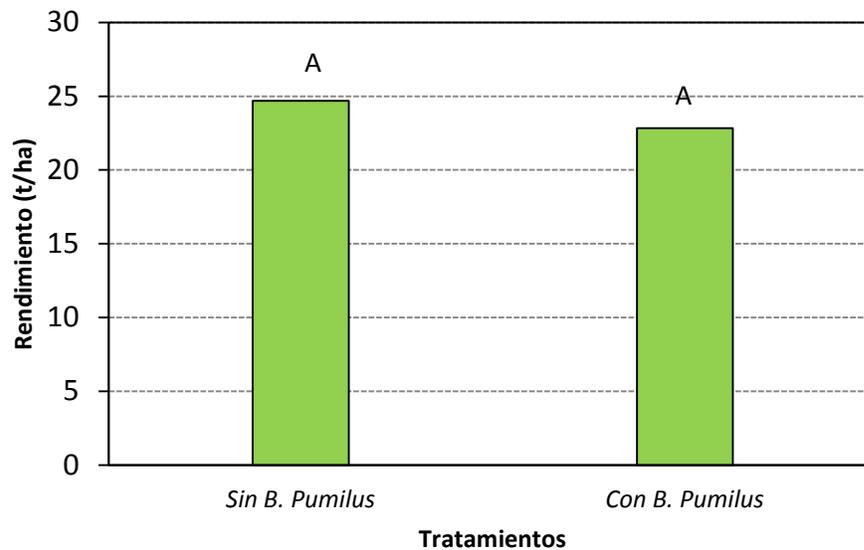


Fig. 15. Efecto de la bacteria *Bacillus pumilus* en el rendimiento del cultivo de papa.

4.3. Variables complementarias

a. Presencia de la bacteria en la planta

De acuerdo a los resultados del análisis de laboratorio de microbiología (PROINPA) se muestra que las parcelas donde se aplicó la bacteria presentaron mayor población de esta, especialmente a nivel del rizoplano y la rizósfera. La presencia de *Bacillus pumilus* en las parcelas donde no se aplicó esta bacteria, muestra la existencia de una población natural de la misma. No se detectó cambios en la concentración de *Bacillus pumilus* en la raíz, tubérculos, tallos y hojas de la planta (Fig. 16).

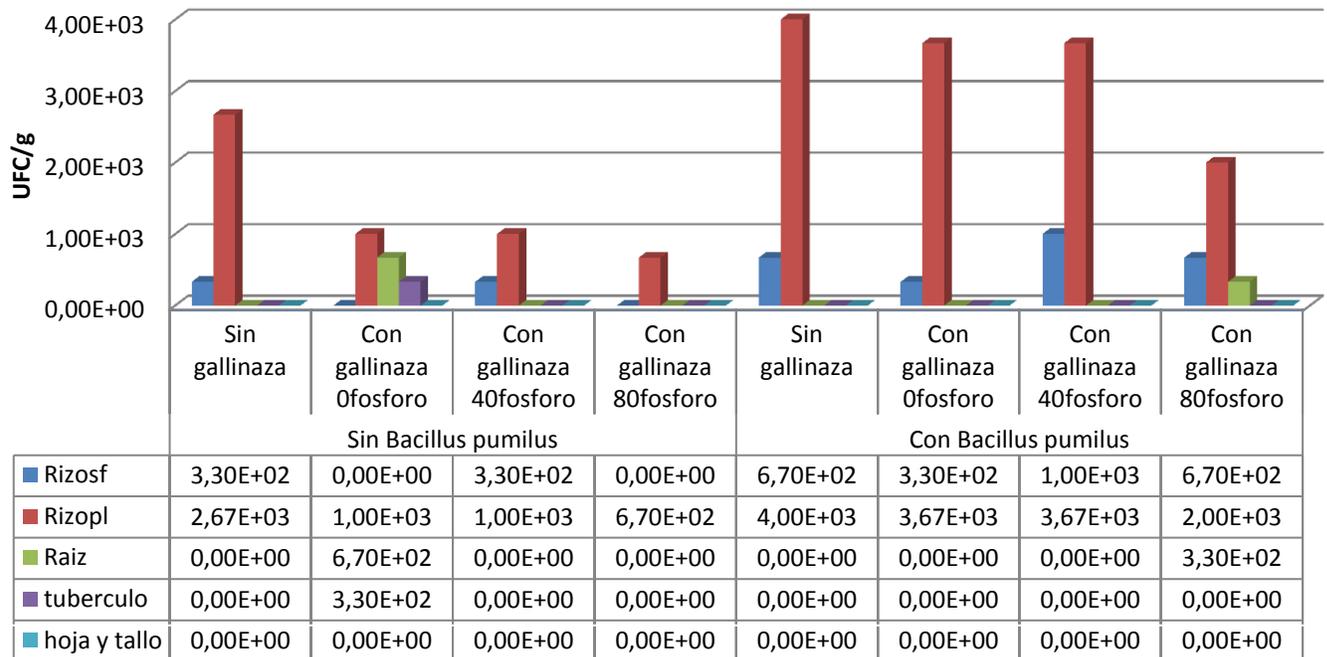


Fig. 16. Concentración de *Bacillus pumilus* en las diferentes partes de la planta.

Fuente: PROINPA

En la figura 17, muestra la comparación de la aplicación con y sin la bacteria donde se identifica en que partes de la planta se encuentran con una cantidad de bacteria aplicada y tuvo un crecimiento en la rizósfera y rizoplano, se muestra de manera detallada e individual en las figuras 20 y 21 las comparación de la presencia de la bacteria *Bacillus pumilus* en los tratamientos utilizados de fertilización.

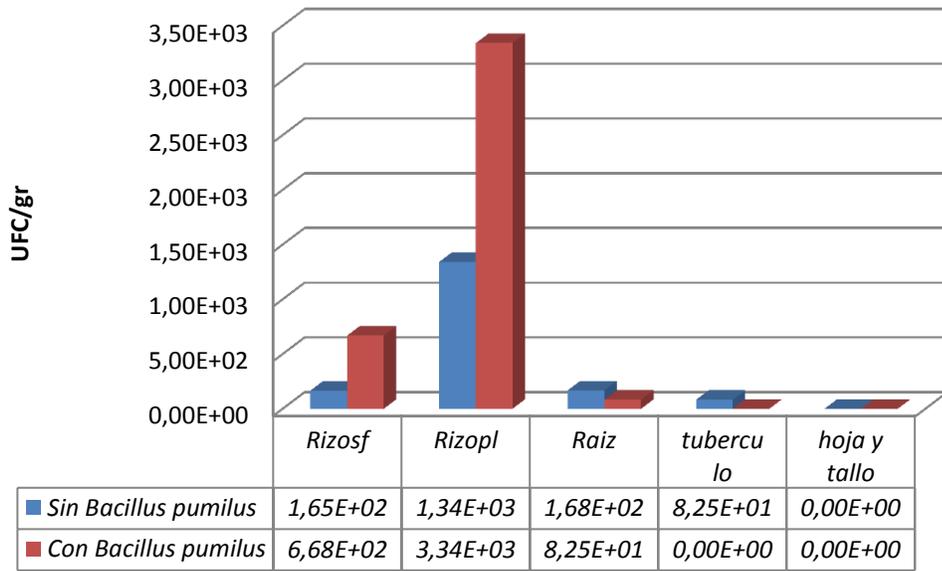


Fig. 17. Presencia de la bacteria *Bacillus pumilus* en diferentes partes de la planta, con y sin aplicación de la bacteria.

La figura 18, muestra el desarrollo de la bacteria con y sin la aplicación del *Bacillus pumilus* y la gallinaza donde se tiene el siguiente resultado que la parte de la rizósfera y rizoplano muestran un crecimiento de la bacteria con y sin gallinaza. La parte de la raíz y el tubérculo tiene un crecimiento de la bacteria de menor magnitud con la gallina en tratamiento sin la bacteria.

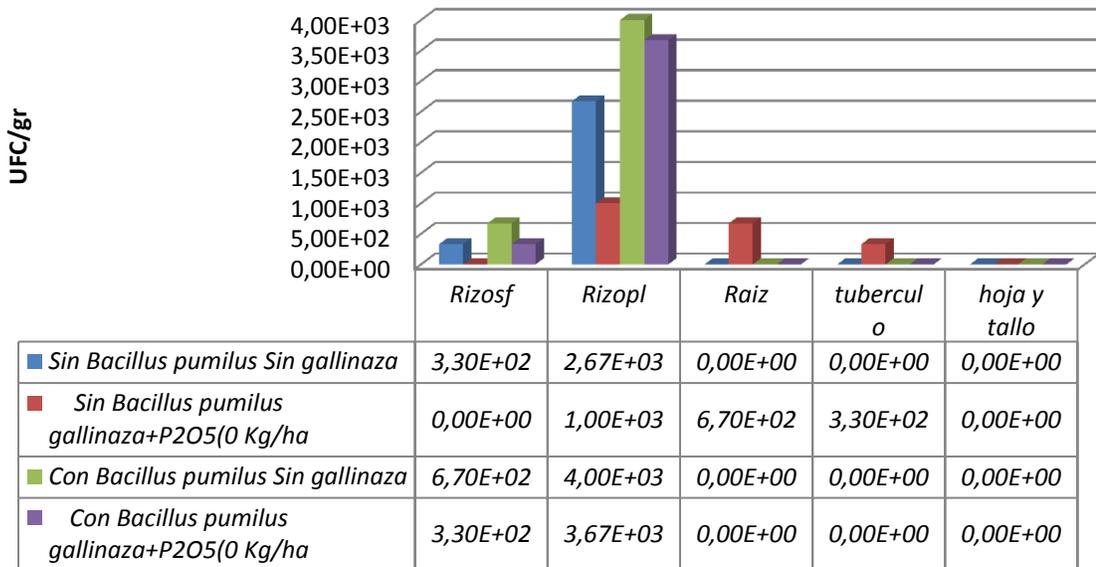


Fig. 18. Presencia de la bacteria *B. pumilus* en diferentes partes de la planta con y sin la presencia de la gallinaza.

La figura 19, con los tratamientos de la aplicación de fósforo se muestra que el mayor desarrollo de la bacteria se presentó en la rizósfera y rizoplano ya tuvieron una magnitud de desarrollo.

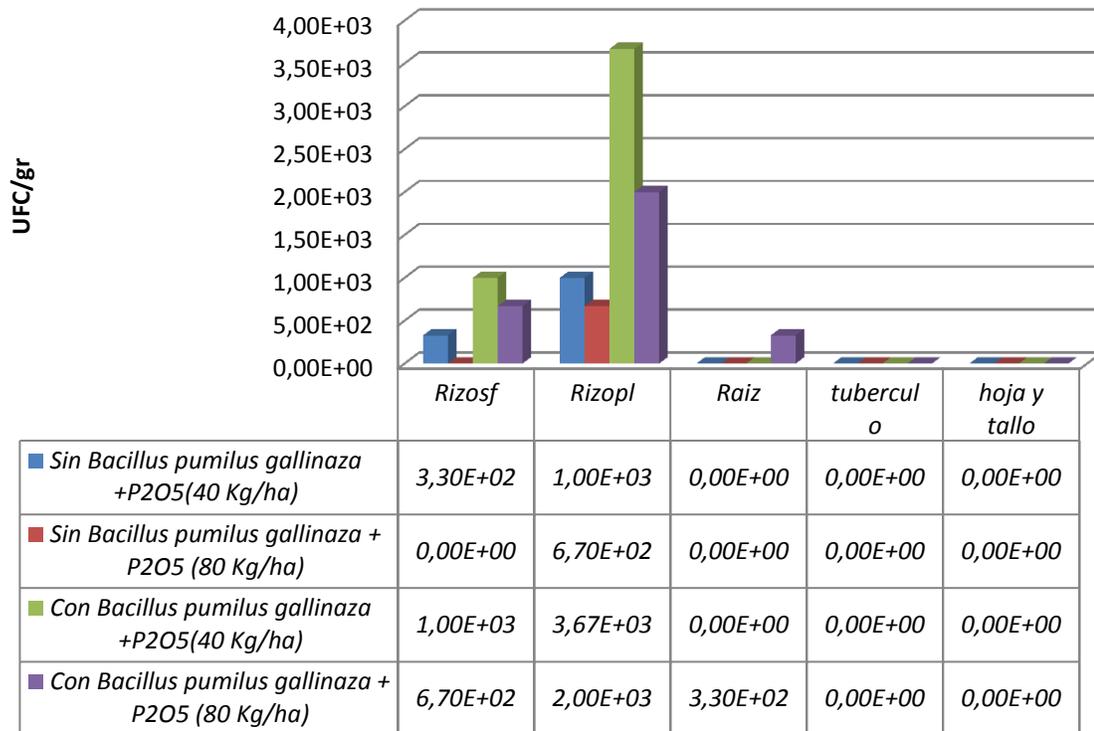


Fig. 19. Presencia de la bacteria *Bacillus pumilus* en diferentes partes de la planta, con fósforo y sin fósforo.

En las figuras 20 y 21, se muestran de forma más amplia la variación en la concentración de la bacteria *Bacillus pumilus* respectivamente en la rizósfera el desarrollo de la bacteria se identifica con la aplicación de la bacteria y presente en el tratamiento de fósforo 40 kg/ha y en el rizoplano se obtuvo un desarrollo con la aplicación de la bacteria de y presente en los tratamientos de testigo y fósforo de 40 kg/ha.

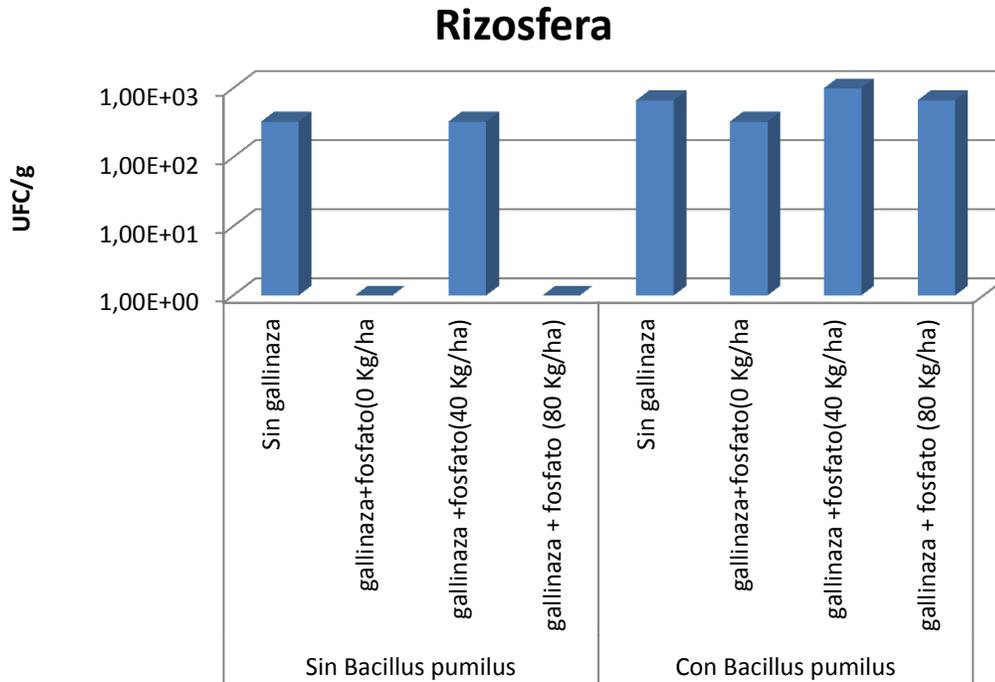


Fig. 20. Concentración de *Bacillus pumilus* en la Rizósfera de la planta.

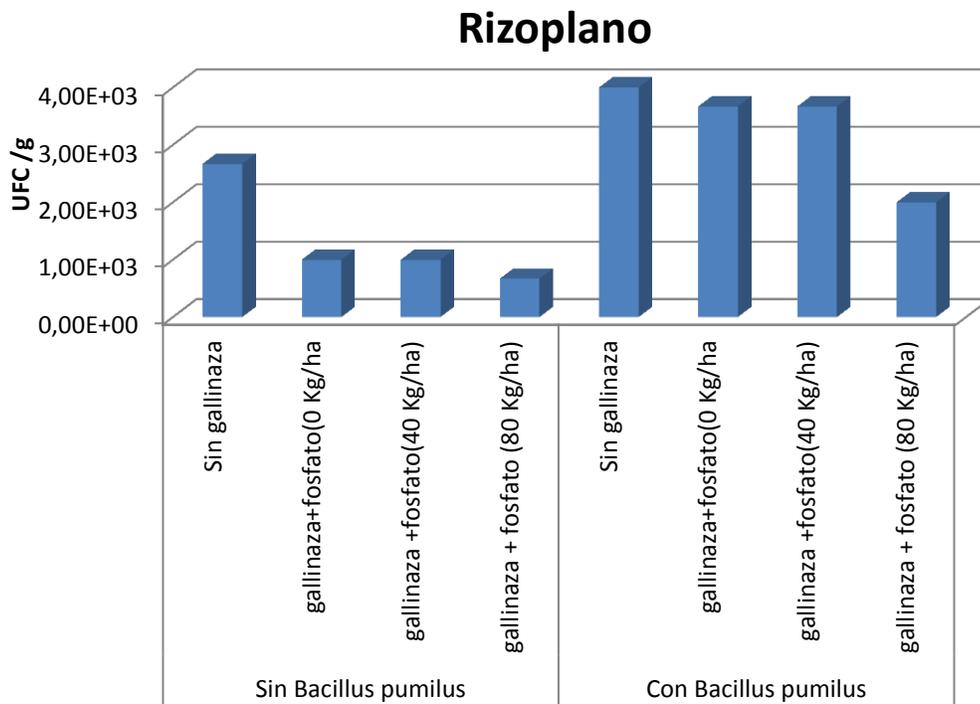


Fig. 21. Concentración de *Bacillus pumilus* en el Rizopiano de la planta.

En las figuras 20 y 21 se muestra la presencia de la bacteria en la rizósfera y rizoplano porque es un punto de desarrollo de la bacteria por la presencia de su alimento y las características climáticas que favorecieron en su crecimiento.

Según Novos (2002), la inoculación microbiana como el principal método de fertilización de los suelos los resultados son eficientes y de bajos costos, además movilizan a los fertilizantes anteriormente usados y que se ha inmovilizado por el tiempo. La microflora que realiza este proceso representa entre el 10 al 15% de la microflora total del suelo, que puede ser mayor en la rizósfera de entre 26 y 39 %.

La rizósfera (es la capa adherida a la raíz) donde se encontró una cantidad menor de bacterias al del rizoplano.

El rizoplano (es la adhesión a la raíz) donde se encontró una cantidad mayor de bacterias presentes.

b. Fósforo del suelo

La figura 22, muestra el análisis de disponibilidad de fósforo en el suelo en las diferentes etapas del cultivo, en cual los resultados obtenidos muestra que la aplicación de la bacteria *Bacillus pumilus* presento mayor disponibilidad de fósforo en los tratamientos en la etapa de la cosecha del cultivo (170 días después de la siembra) en una proporción de $111.05 \text{ mg Kg}^{-1}$, la evaluación de la bacteria se determinó que su desarrollo como solubilizador es de manera lenta que va en ascenso.

Este efecto muestra que la bacteria tuvo un tiempo para solubilizar el fósforo del suelo en la cual los tratamientos aplicados como los fertilizantes fueron utilizados de apoyo para que la bacteria resista en el área de investigación.

El Figura, 23 nos indica el aumento de la concentración (ppm) de fósforo soluble en función del tiempo, producido por la actividad solubilizadora de la bacteria que transforma el fósforo insoluble en soluble por la producción actividad del *Bacillus pumilus* en condiciones de campo.

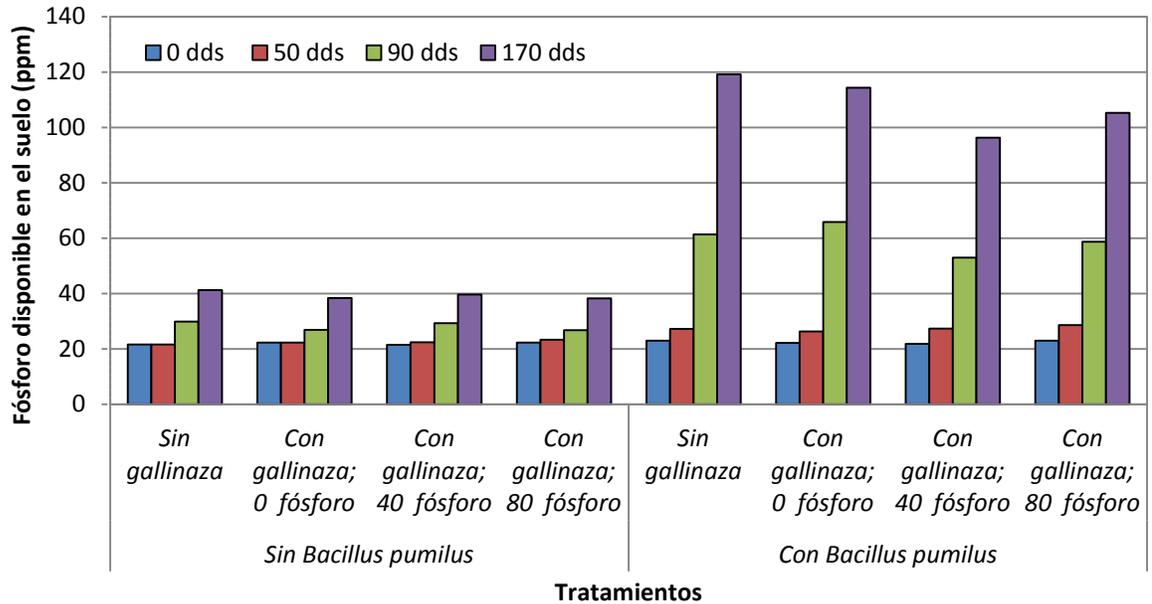


Fig. 22. Contenido de fósforo disponible del suelo por efecto de la gallinaza, niveles de fertilización fosfórica y de la bacteria *B. pumilus* en diferentes momentos del desarrollo del cultivo de papa.

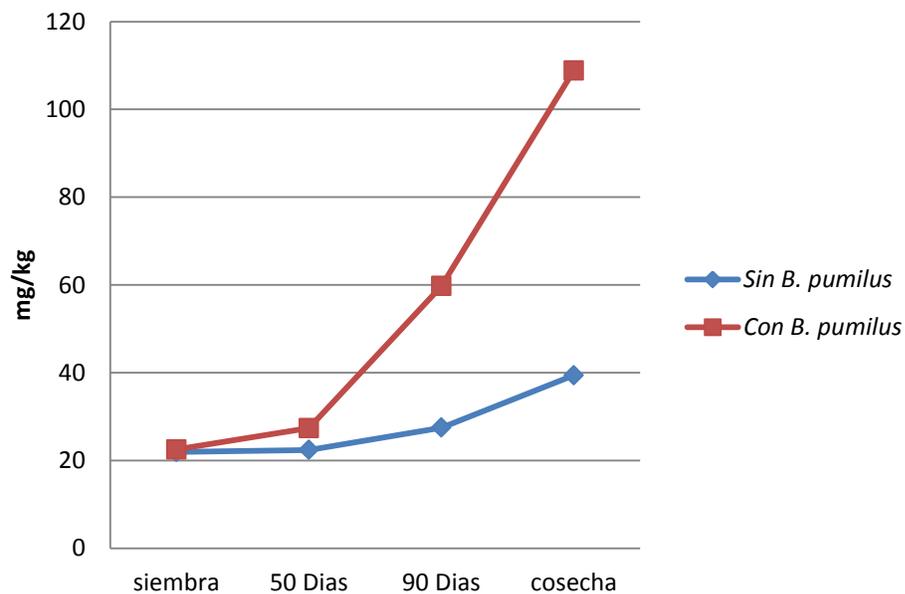


Fig. 23. Concentración de fósforo disponible diferenciado entre los grupos con y sin aplicación del *Bacillus pumilus*.

Los trabajos realizados con respecto a la investigación de microorganismos que solubilizan fósforo. No se tiene un tiempo determinado de su procedimiento de

solubilizador del fósforo solamente tiene un calificativo de positivo y negativo como lo determina el siguiente autor.

En el grupo bacteriano particularmente una de sus especies, *Bacillus* han demostrado una gran capacidad de solubilizar las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo presente en el suelo consecuentemente los microorganismos más interesantes fueron aislados, purificados y multiplicados con el propósito de elaborar inoculantes microbianos eficientes solubilizadores del nutriente fósforo. (Frioni, 1999)

4.4. Análisis de correlación

El análisis de correlación entre las variables evaluadas (Cuadro 9) muestra que la altura de planta es la principal variable asociada con el rendimiento del cultivo. Las otras variables mantienen alguna relación entre sí pero no están asociadas con el rendimiento. Por otro lado, se muestra una relación de altura planta con el porcentaje de cobertura foliar y una muestra de relación con el rendimiento esto se debe a una relación de desarrollo en el proceso de crecimiento de la planta.

Cuadro 9. Coeficiente de correlación (r) entre las variables evaluadas.

	Nro E	DF	DM	AP 1	AP 2	N T	% Cob 1ro	% Cob 2do	% Cob 3ro	NroPl as	N T T	RdtoT n/ha
Número de Emergencia	1											
Días a Floración	-0,289	1										
Días a la Madurez Fisiológica	0,228	-0,157	1									
Altura Planta antes de la floración	0,061	-0,127	-0,165	1								
Altura Planta en Floración	0,039	-0,261	0,051	0,843	1							
Número de Tallos	0,370	-0,339	-0,087	0,076	-0,005	1						
% Cobertura antes de la floración	-0,023	-0,161	0,139	0,760*	0,837**	-0,063	1					
% Cobertura en Floración	0,037	-0,134	-0,037	0,728	0,795**	-0,122	0,862*	1				
% Cobertura después de la Floración	-0,020	-0,232	0,001	0,777*	0,841**	-0,077	0,713*	0,793*	1			
Número de Plantas	0,034	0,011	-0,133	-0,019	-0,172	0,201	-0,163	-0,084	-0,067	1		
Número de Tubérculos Total	0,372	-0,092	0,229	0,012	-0,104	-0,125	0,065	0,141	0,087	0,076	1	
Rendimiento en Tn/ha	0,503*	-0,249	0,323	0,510*	0,790*	0,062	-0,034	-0,002	0,622*	0,003	0,898	1
**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).												
*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).												

4.5. Análisis económico

Las investigaciones tienen como función básica de mostrar los factores de producción y alternativas económicas para los productores mostrando la relación beneficio/costo.

Cuadro 10. Análisis Económico (Relación Beneficio / Costo, análisis marginal de la innovación).

GESTION:2011 - 2012								
	SIN BACTERIA				CON BACTERIA			
	TESTIGO	GALLINAZ A	FERTILIZA NTE 0 - 40 - 0 40 Kg/ha	FERTILIZA NTE 0 - 40 - 0 80 Kg/ha	TESTIG O	GALLINAZ A	FERTILIZA NTE 0 - 40 - 0 40 Kg/ha	FERTILIZA NTE 0 - 40 - 0 80 Kg/ha
Costo Bs				Costo Bs				
	total	total	total	total	total	total	total	total
TOTAL COSTOS VARIABLES	14230	15265	15705	17105	14350	15385	15825	17225
TOTAL COSTOS FIJOS	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
IMPROVISTOS 10%	1423	1526,5	1570,5	1710,5	1435	1538,5	1582,5	1722,5
SIN BACTERIA				CON BACTERIA				
COSTO TOTAL DE PRODUCCION/HA	16753	17891,5	18375,5	19915,5	16885	18023,5	18507,5	20047,5
COSTO TOTAL DE PRODUCCION/Kg	0,544	0,798	0,824	0,984	0,853	0,696	0,962	0,837
RENDIMIENTO (Tn/ha)	30,78	25,88	19,25	20,24	19,8	22,42	22,31	23,95
PRECIO DE VENTA (Bs/Ha)	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
VALOR DE PRODUCCION/ha	40014	33644	25025	26312	25740	29146	29003	31135
UTILIDAD POR HA	23261	15752,5	6649,5	6396,5	8855	11122,5	10495,5	11087,5
UTILIDAD POR Kg	0,756	0,703	0,298	0,316	0,447	0,429	0,545	0,463
BENEFICIO / COSTO	2,388	1,881	1,362	1,322	1,524	1,617	1,567	1,554

El cuadro 10, muestra el análisis de costos de producción en el cultivo de papa con y sin la aplicación de la bacteria *Bacillus pumilus* aplicados en cuatro tratamientos muestra las proporciones de costo total de producción en el tratamiento donde se identifica que el T1 (testigo) presenta un menor costo de producción, 16753 Bs/ha en un rendimiento de 30.78 t/ha y el precio de venta de la papa es un promedio de 1200 a 1400 Bs/t el valor de producción por hectárea es la relación del rendimiento por precio de venta donde el T1 (testigo) presenta un precio alto de 40,014 Bs/ha y la utilidad por hectárea se tiene del valor de producción menos el costo total de producción teniendo una utilidad de 22,787 Bs/ha. El beneficio/costo se obtiene del valor de producción dividido sobre el costo total

de producción y entre los tratamientos aplicados en el ensayo se tiene que el T1 (testigo) tiende a tener un beneficio mayor sobre el costo de 2.388.

Sin embargo, el sistema de producción de papa en la región de Tiraque se muestra en el siguiente cuadro mencionado por el PDA - TIRAQUE 2012 que presenta un beneficio costo de 0.50 y 1.01.

Cuadro 11. Proyecto de seguridad alimentaria Tiraque 2012 – Cochabamba (PDA - TIRAQUE. 2012).

COSTOS DE PRODUCCION POR UNIDAD DE SUPERFICIE (Ha)		
CULTIVO: PAPA	ELABORACION: 2012	
SUPERFICIE: 1 HA	GESTION:2006	
	COSTO TOTAL. (Ha)	
	S/PROY.	C/PROY.
TOTAL COSTOS VARIABLES	13.129,00	9.835,00
TOTAL COSTOS FIJOS	220,00	347,50
IMPREVISTOS	656,45	491,75
COSTO TOTAL DE PRODUCCION/HA	14.005,45	10.674,20
COSTO TOTAL DE PRODUCCION/KG	2,00	1,19
RENDIMIENTO (TN/HA)	7,00	9,00
PRECIO DE VENTA (BS/HA)	1.000,00	1.200,00
VALOR DE PRODUCCION/HA	7.000,00	10.800,00
UTILIDAD POR HA	- 7.005,45	125,75
UTILIDAD POR KG	- 1,00	0,01
BENEFICIO / COSTO	0,50	1,01

Capítulo 5. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos se llega a las siguientes conclusiones:
- Bajo las condiciones del estudio, no se pudo demostrar que la altura de planta, el número de tallos, la cobertura foliar y el rendimiento de papa, sean afectados por la aplicación de la bacteria *Bacillus pumilus* al momento de la siembra.
- La aplicación de la bacteria *Bacillus pumilus* al momento de la siembra de papa, permitió incrementar la concentración de esta bacteria a nivel del rizoplano y la rizósfera y no así a nivel de la raíz, tubérculos, tallos y hojas.
- La aplicación de la bacteria *Bacillus pumilus* al momento de la siembra de papa permitió incrementar el fósforo disponible del suelo de manera lenta y ascendente en la cual el cultivo no tuvo un aprovechamientos total de la disponibilidad del fósforo.
- En el análisis de los costos de producción, se ha mostrado el mejor beneficio neto en los tratamientos de testigo y la gallinaza siendo significativa la inversión, con respecto a los costos de producción convencional de la región.
- El trabajo de tesis muestra que el aspectos económico y de producción son óptimos en comparación de la región productora de papa, y esto se destaca al buen manejo y condiciones que se le da al cultivo.

Capítulo 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar la bacteria mucho más antes de la siembra para que solubilice a tiempo el fósforo y esté disponible para el cultivo en sus etapas iniciales y así verificar la efectividad de las variables tomas en la investigación.
- Se recomienda llevar una evaluación desde el inicio de la aplicación de la bacteria y observar el desarrollo activo de la *Bacillus pumilus* en la planta como en el suelo.
- Se recomienda llevar a cabo una investigación de efectividad de solubilización de fósforo por la bacteria *Bacillus pumilus* en el tiempo de activación e incremento de fósforo disponible en campo.
- Se recomienda desarrollar un análisis de manejo económico para favorecer e incrementar en el manejo y producción del productor de la región.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson T. H. 2003.** Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. age ecosystem environ. 98: 285 - 293 p.
- Alexander M. 1977.** Introduction to soil microbiology. Wiley and sons, New York, EE.UU. 22 p.
- Arzuaga S.; Fernandez C.; Dalurzo H. y Vazquez S. 2005.** Fosforo total, fosforo orgánico y fosfatasa acida en entisoles, alfisoles y vertisoles de corriente con diferentes usos agrícolas. Comunicaciones científicas y tecnológicas. 66 p.
- Arias S., Theodoracopoulos M. Y Avila H. 2008.** “manual de producción de papa” entrenamiento y desarrollo de agricultores fin trac septiembre 15 p.
- Bathily et al., 2010.** *Bacillus pumilus*, a new pathogen on potato tubers in storage in mali1laboratory of research in microbiology and microbial biotechnology, faculty of science and technology, university of Bamako, Bamako, malibp e 3206. Laboratory of soils microbiology, faculty of science and technology, university of Bamako, Bamako, malibp. 2067 – 2071 p.
- Bergeys D. 1989 - 2000.** Manual of the Determinative Bacteriology. Night Edition. Philadelphia 2: 540-589 p.
- Borie F. 1991.** Microbiología del fosforo. En jornadas de fertilidad de suelos en cero labranza. Sociedad de conservación de suelos de chile INIA, Concepción, Chile. 36p.
- Casseres E. 1984.** Producción de tubérculos. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura IICA. 3ra ed. San José, Costa Rica. 278 – 301p.
- Coyne M., 2000.** Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Editorial Parainfo. Madrid. España 16 - 23 p.
- Calderón et al., 2002.** Potencial biofertilizantes de bacterias solubilizadoras de fosfatos al cultivo de arroz (orizana sativa l.).Bogotá. Colombia. Tesis de maestría. Facultad de ciencias. Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia. 54 p.
- Cuevas A. 2004.** IX taller de intercambio de experiencias en manejo y conservación de suelos de la plataforma regional Cochabamba con el tema “producción de semillas y alternativas de manejo” proyecto laderas – UMSS (PROLADE) pag. 44.

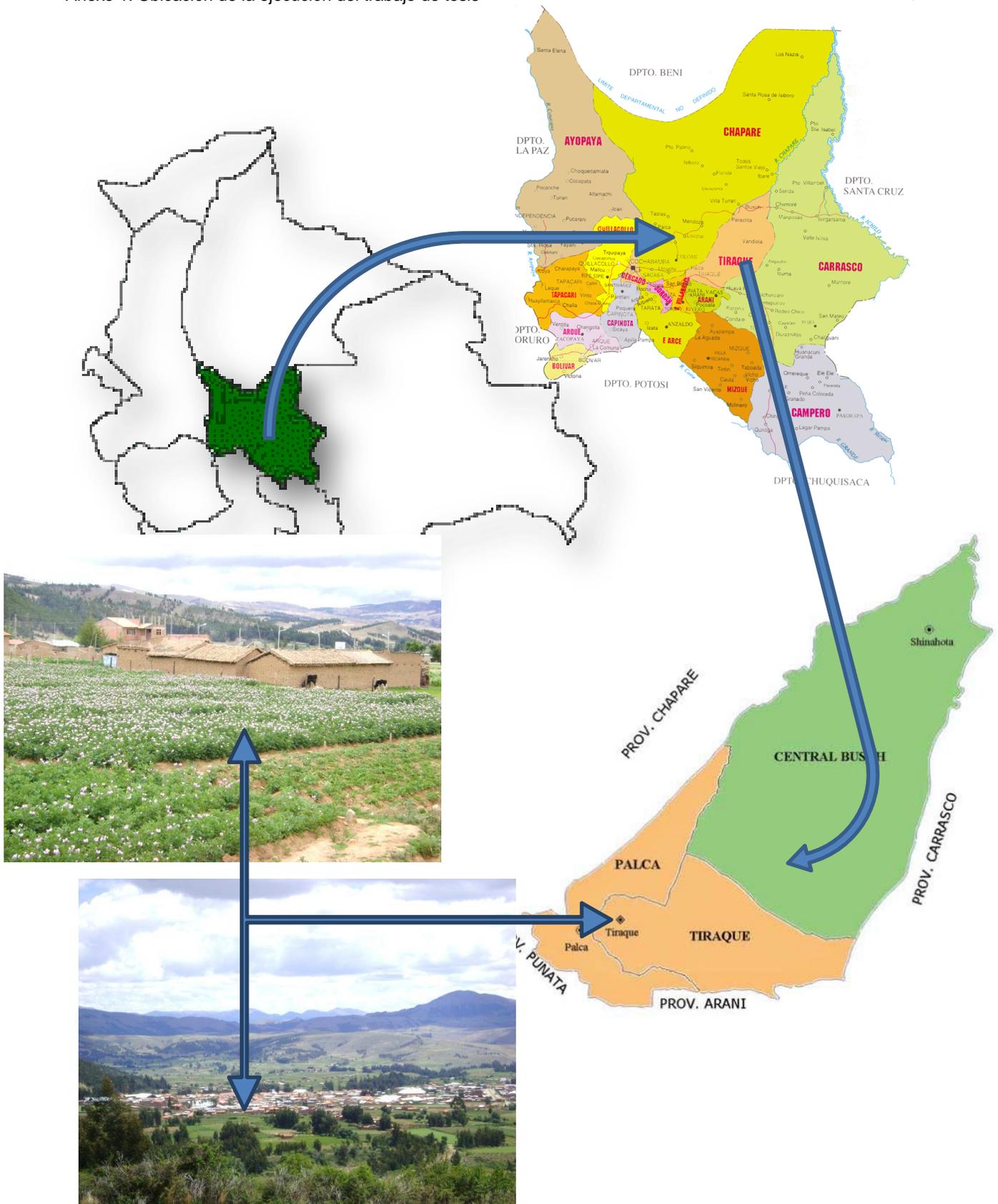
- Cuervo, 2010.** Aislamiento y caracterización de *Bacillus spp* como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales pontificia universidad javeriana facultad de ciencias básicas carrera de microbiología agrícola y veterinaria Bogotá .c 2010 pag. 35.
- Crisci J. y Lopez F. 1983.** Introducción a la teoría y práctica de la taxonómica numérica. Secretaria general de la organización de estados americanos, monografía nº. 2. Serie de biología, oea, washington d. C. 39 - 47 p.
- Cruz F. R. 2009.** Valoración de los recursos hídricos del municipio de Tiraque. Informe final 18 – 95 p.
- Córdova E. C. 2010.** Aplicaciones prácticas de microbiología en suelo. PROINPA – COCHABAMBA Trabajo de Tesis 23 – 34 p.
- Eira A. F. 1992.** Solubilização microbiana do fosfato. In microbiologia do solo. Sociedade Brasileira de ciência do solo. Campinas. Brasil.
- Ferreira P. 1987.** Análisis multivariado aplicado a problemas de clasificación y tipificación. en taller: aplicaciones del análisis multivariado. Idec. Antigua. 12 p.
- Frioni L. 1999.** Procesos Microbianos. Tomo 1. Editorial de la Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. p. 250-255
- Guzman E. 2011.** Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo a partir de cuatro suelos de la provincia de chimborazo escuela ingeniería agronómica Riobamba – Ecuador.
- Gaur y Adholeya, 2005.** Efecto de la fertilización con fosforo disponible sobre el rendimiento y la absorción de nutrientes de la papa. Agronomía Costarricense art. Científico.
- Hamed B., Amadou H. B. and Fassé S. 2010.** *Bacillus pumilus*, a new pathogen on potato tubers in storage in Mali 1Laboratory of Research in Microbiology and Microbial Biotechnology, Faculty of Science and Technology, University of Bamako, Bamako, Mali. 206 p.
- Jeffries et al., 2003.** Derrotar el hambre en Bolivia como en todas las regiones festi suelo La paz- Bolivia. 156 p.
- Koneman E. W. 2001.** Diagnostico microbiológico. Quinta edición. Editorial médica panamericana. Buenos aires. Argentina. 136 p.
- Loynachan T. E. 2001.** Soil microbial ecology laboratory. Iowa state university (EEUU). Manual. 76 p.

- Lora V. G. 2003.** Geografía económica del mundo y de Bolivia. Editorial la hoguera. La Paz, Bolivia. 173 p.
- Mehlich A. 1984.** Mehlich 3 soil test extractante: a modification of the Mehlich 2 extractante. Commune. Soils. Plant anal. 1409 – 1416 p.
- Molina Ceballos J. A. 2012.** Métodos de laboratorio para la extracción de fosforo disponible en el suelo Universidad Nacional Experimental De Los Llanos Centrales Edafología ii San Juan de los Morros, edo. Guárico república bolivariana de Venezuela. 144 p.
- Montesinos Camila Cet, 1997.** “Manejo biológico del fósforo en el suelo” agroecología y desarrollo revista de clades Brasil. 24 p.
- Martínez V.F. 2003.** Efecto de fertilizantes orgánicos combinados con fertilizantes minerales en el cultivo de la papa (*solanum tuberosuml.*) 2001. Tesis de grado. Facultad de ciencias agrícola - U.A.R.M. Santa cruz, Bolivia. 72 p.
- Navarro B. S. y Navarro G. G. 2003** “química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal”, 2. Ed., mundi-prensa, España.156 p.
- Novos R., 2002.** Biofertilizantes y Biofertilización. Curso Internacional de Microbiología del suelo. ASOINCO
- Osorio N. W. 2000.** Aislamiento y evaluación in vitro de microorganismos solubilizadores de fosforo en suelos tropicales. Trabajo de grado. Universidad nacional de Colombia. Facultad de agronomía. Bogotá 6 – 8p.
- Olvera Luna, A.; Pacheco Aguilar, J. R. 2007.** Fertilidad de suelo y poblaciones microbianas solubilizadoras de fósforo laboratorio de plantas y biotecnología agrícola facultad de química universidad autónoma de Querétaro. 152 p.
- Paul E. & Clark A. 1989.** Soil microbiology and biochemistry Academic Press, San Diego, California, EEUU.
- PDM - TIRAQUE. 2003.** Informe de valoración de recursos del municipio de Tiraque. Centro agua-UMSS. Cochabamba-Bolivia. 156 p.
- PDA - TIRAQUE. 2012.** Proyecto de seguridad alimentaria Tiraque “manual de producción de papa Cochabamba – Bolivia. 56 p.

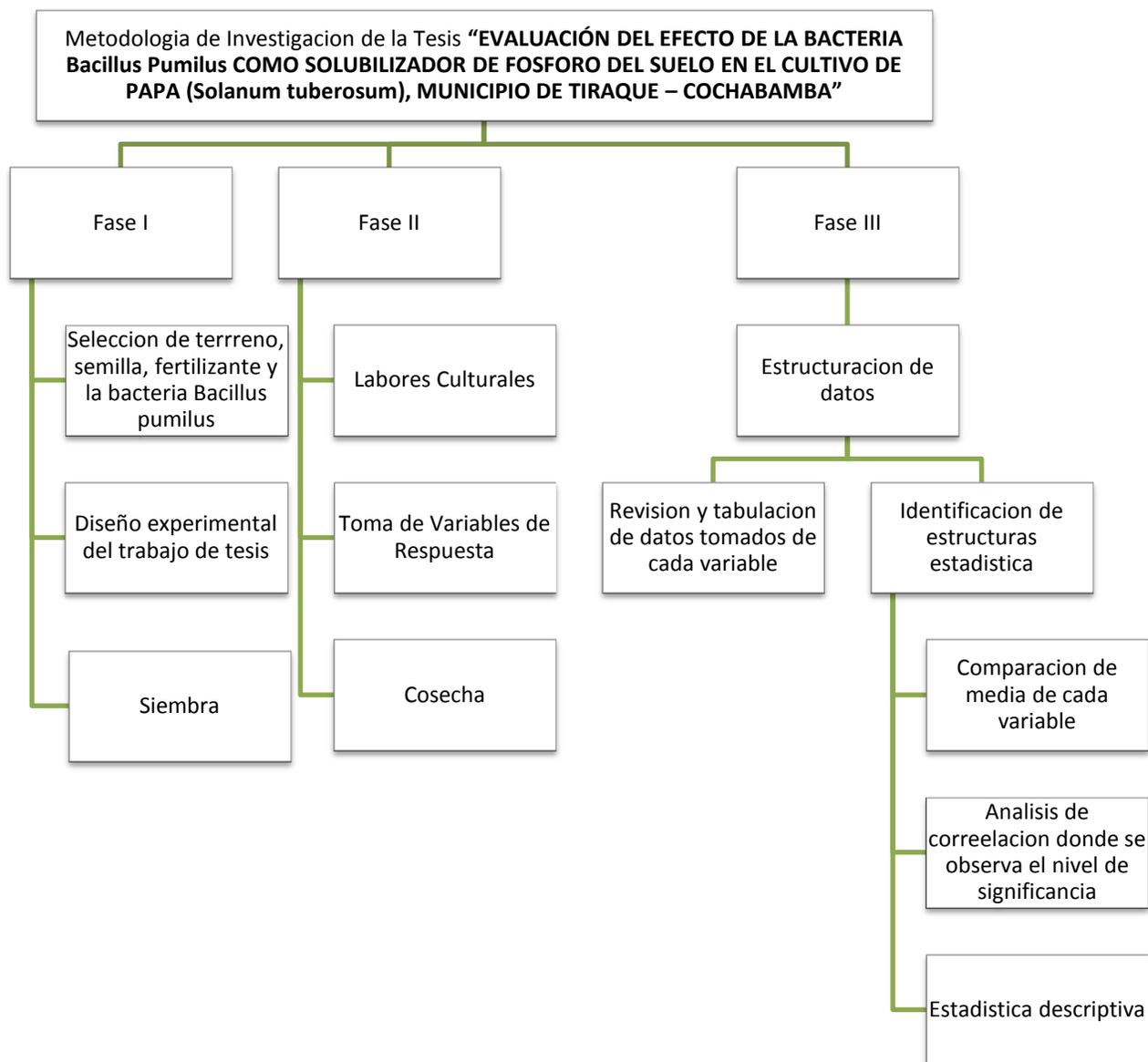
- Plá, I. E. 1996.** Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaria de organización de estados americanos (OEA). Washington, d. C. 94 p.
- Primo, E. y Carrasco, J.M.** “Química agrícola i: suelos y fertilizantes”, Editorial alhambra, España, **1981**. Citado por Olvera y pacheco **2007**.
- PROINPA, 2011.** Papas de Colomi, Cochabamba, Bolivia. 15 p.
- PROINPA, 2008.** Manual de producción de cultivo de papa en la región alta de Cochabamba, Bolivia. 23 – 28 p.
- Ramos B. 2000.** Estudio de la capacidad de dos cepas bacterianas del género “*Bacillus*” para promover el crecimiento vegetal. Madrid Universidad san pablo facultad de CC. Experimentales y técnicas tesis de doctorado. 56 p.
- Rodríguez H. M. y Rubiano. 2002.** aislamiento e identificación de hongos solubilizadores de fosfatos aislados de cultivos de arroz y evaluación del ph y concentraciones de sacarosa y cloruro de sodio sobre su actividad solubilizadora. Trabajo de grado Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. 12 - 25p.
- Rodríguez hay. R fraga. 1999.** Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant grow promotion. Biotechnology advances 319-339 p.
- Stel R. y Torie J. H. 1988.** Bioestadística principios y procedimientos, primera edición en Español traducido por Ricardo Martínez, editorial presencia Ltda. Bogota Colombia. 263-268 p.
- Simmonne y Hutchinson, 2005.** El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Edición mundi prensa. España 89 p.
- Schachiman, 1997.** Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. John wile yandsons, New York, Estates Undo's. 156 p.
- Tsai S. M. y Rossetto, 1992.** Transformação es microbianas do fósforo. In microbiologia do solo Campinas, Brasil Sociedade Brasileira de Ciência. 142 p.
- Thompson L. M. y Troeh F. R., 1988.** “Los suelos y su fertilidad”, 4. Ed., editorial reverté. Perú. 68 p.

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de la ejecución del trabajo de tesis



Anexo 2. Esquema del trabajo de tesis



Anexo 3. Procedimiento de análisis de disponibilidad de fósforo en el suelo



Fuente. Propia

Anexo 4. Procedimiento de análisis de la presencia de la bacteria



Fuente: Propia (a, b, c.), Laboratório PROINPA (d, e, f, g, h)

Anexo 5. Procedimiento de evaluación del área foliar



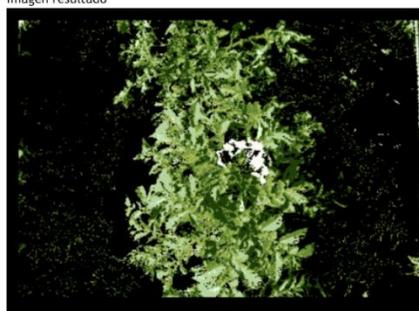
1d-bi_t8_c2.jpg

Porcentaje de cobertura: 35,37%
Superficie cubierta: 1.238,04cm²
Fecha de proceso: 22/01/2012 23:53:59

Imagen original



Imagen resultado



Fuente: Propia

Anexo 6. Fosforo Disponible Por El Método De Mehlich 3

Determinación de Fosforo disponible por el método de Mehlich 3					
	Resultados				
	siembra	SDS7	SDS13	SDS25	Unidades
B1-T1-SBp	21,33	21,17	25,13	31,34	mg Kg ⁻¹
B1-T2-SBp	22,33	22,33	28,46	38,13	mg Kg ⁻¹
B1-T3-SBp	21,56	22,45	27,68	35	mg Kg ⁻¹
B1-T4-SBp	23,17	26,35	29,06	37,06	mg Kg ⁻¹
B1-T1-CBp	24,11	27,33	59,22	131,65	mg Kg ⁻¹
B1-T2-CBp	24,26	27,45	51,37	105,35	mg Kg ⁻¹
B1-T3-CBp	21,57	29,18	41,86	87,05	mg Kg ⁻¹
B1-T4-CBp	22,47	28,35	42,77	91,12	mg Kg ⁻¹
B2-T1-SBp	23,68	23,22	34,63	59,31	mg Kg ⁻¹
B2-T2-SBp	23,25	23,54	28,92	49,65	mg Kg ⁻¹
B2-T3-SBp	20,57	20,65	31,04	41,08	mg Kg ⁻¹
B2-T4-SBp	23,34	23,46	29,71	46,03	mg Kg ⁻¹
B2-T1-CBp	24,27	28,17	59,18	111,05	mg Kg ⁻¹
B2-T2-CBp	21,57	25,35	77,26	125,3	mg Kg ⁻¹
B2-T3-CBp	22,16	26,35	58,08	101	mg Kg ⁻¹
B2-T4-CBp	22,35	29,23	61,18	99,14	mg Kg ⁻¹
B3-T1-SBp	20	20,31	21,09	33,21	mg Kg ⁻¹
B3-T2-SBp	21,34	21,12	23,23	27,35	mg Kg ⁻¹
B3-T3-SBp	22,44	24,2	29,37	43,02	mg Kg ⁻¹
B3-T4-SBp	20,35	20,06	21,55	31,67	mg Kg ⁻¹
B3-T1-CBp	20,65	26,44	65,85	115,02	mg Kg ⁻¹
B3-T2-CBp	20,61	26,22	68,86	112,63	mg Kg ⁻¹
B3-T3-CBp	21,75	26,56	59,06	101,06	mg Kg ⁻¹
B3-T4-CBp	24,34	28,16	72,12	125,6	mg Kg ⁻¹
Referencia					
B = Bloque				SDS = Semas después de la siembra	
T = Tratamiento					
SBp = Sin Basillus pumilus				CBp = Con Basillus pumilus	

Fuente: Propia

Anexo 7. Concentración de *Bacillus pumilus*

Cepa	Rizosfera	Rizoplano	Raíz	Tubérculo	Hojas y tallo
R I T1 S/B pumilus	1.00E+03	2.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R II T1 S/B pumilus	0.00E+00	2.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T1 S/B pumilus	0.00E+00	4.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R I T2 S/B pumilus	0.00E+00	2.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R II T2 S/B pumilus	0.00E+00	4.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T2 S/B pumilus	0.00E+00	5.00E+03	2.00E+03	1.00E+03	0.00E+00
R I T3 S/B pumilus	0.00E+00	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R II T3 S/B pumilus	1.00E+03	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T3 S/B pumilus	0.00E+00	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R I T4 S/B pumilus	0.00E+00	5.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R II T4 S/B pumilus	0.00E+00	4.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T4 S/B pumilus	0.00E+00	3.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R I T5 C/B pumilus	2.00E+03	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R II T5 C/B pumilus	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T5 C/B pumilus	0.00E+00	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R I T6 C/B pumilus	0.00E+00	9.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T6 C/B pumilus	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T6 C/B pumilus	1.00E+03	2.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R I T7 C/B pumilus	0.00E+00	3.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R II T7 C/B pumilus	2.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T7 C/B pumilus	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R I T8 C/B pumilus	0.00E+00	1.00E+03	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00
R II T8 C/B pumilus	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R III T8 C/B pumilus	2.00E+03	5.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Cuadro de resultados del laboratorio de Microbiología Propina

FUENTE: PROINPA, 2012

Anexo 8. Análisis descriptivo del peso y número de tubérculos por categoría

Estadísticos descriptivos									
	Rango	Mín.	Máx.	Suma	Media	Desv. típ.	Varianza	Asimetría	Curto sis
Numero de Emergencia	8,50	4,25	12,75	237,00	9,88	2,02	4,09	-0,99	1,03
Días a Floración	14	80	94	2109	87,88	4,25	18,03	-0,27	-0,82
Días a Madurez Fisiológica	35	112	147	3001	125,04	12,46	155,35	0,83	-0,73
Altura Planta antes de Floración	24,67	28,67	53,33	1070,67	44,61	6,11	37,28	-0,59	0,58
Altura en Floración	35,44	41,44	76,89	1484,99	61,87	8,37	70,18	-1,07	1,49
Número de Tallos	2,33	3,89	6,22	117,33	4,89	0,58	0,33	0,48	0,17
% Cobertura antes de Floración	44,82	48,34	93,16	1871,29	77,97	11,34	128,56	-1,48	2,05
% Cobertura en Floración	44,82	48,34	93,16	1822,79	75,95	11,75	137,97	-1,12	0,70
% Cobertura después de Floración	42,60	47,78	90,38	1797,04	74,88	12,06	145,44	-0,60	-0,04
Número de Plantas	4	34	38	857	35,71	1,04	1,08	0,39	-0,51
1ra Categoría Número T.	88	30	118	1574	65,58	24,64	606,95	0,65	-0,66
1ra Categoría Peso T.	17,0	4,3	21,3	250,6	10,44	4,59	21,16	0,79	-0,23
2da Categoría Número T.	75	51	126	2056	85,67	16,01	256,32	0,18	1,09
2da Categoría Peso T.	6,8	4,2	11,0	171,4	7,14	1,47	2,15	0,38	1,09
3ra Categoría Número T.	67	48	115	1855	77,29	16,83	283,08	0,60	0,22
3ra Categoría Peso T.	3,1	2,3	5,4	88,4	3,68	0,76	0,58	0,53	0,19
4ta Categoría Número T.	35	13	48	640	26,67	9,51	90,41	0,79	-0,15
4ta Categoría Peso T.	0,8	0,4	1,2	17,8	0,74	0,23	0,05	0,85	-0,01
5ta Categoría Número T.	61	16	77	1020	42,50	14,62	213,65	0,63	0,51
5ta Categoría Peso T.	0,8	0,3	1,1	14,6	0,61	0,17	0,04	0,55	0,76
Número Total de T.	273	185	458	7145	297,71	61,68	3804,56	0,57	0,99
Peso Total T.	25,0	11,8	36,8	542,8	22,62	6,32	39,97	0,73	0,12
Rendimiento en Tn/ha	25,51	12,04	37,55	553,88	23,08	6,45	41,62	0,73	0,12

Fuente: Propia

Anexo 9. Análisis de componentes principales

Variable	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7	Comp. 8	Comp. 9	Comp. 10
Fosforo disponible cosecha	0.322		0.226				-0.102			
Días a Floración	-0.302			-0.170	-0.113	-0.119		-0.130	0.175	0.237
Días a Madurez Fisiológica	-0.172	0.173	0.220		0.480	-0.407				0.105
Número de Emergencia			0.133	-0.465	0.302	0.367	0.501	0.121	-0.296	
% de Cobertura antes de la floración	0.228	0.250					0.308			0.550
% de Cobertura en la floración	0.273	0.120	0.124	-0.217		0.16		0.117		
Porcentaje de Cobertura después de la floración	0.169	0.209	-0.239	0.108	0.387	-0.277	0.131		-0.119	
Altura planta antes de la floración	0.144	0.220	-0.366		0.109	0.167	0.134	-0.564	0.134	
Altura planta en floración	0.140	0.296	-0.286				0.103	0.207	0.656	-0.194
Número de Tubérculos	0.200	-0.298	-0.217	-0.171	-0.167		0.107	-0.269		-0.154
Categoría 1ra Kg		-0.392	-0.144	-0.113			0.140	0.370	0.269	0.168
Categoría.2da Kg		-0.350	0.107	0.253			0.406	-0.441		0.241
Categoría.3ra Kg	0.149	-0.205	-0.126	0.391	0.300			0.174	-0.204	-0.506
Categoría.4ta Kg	0.142	0.102		-0.116	-0.437	-0.642	0.256	0.185	-0.195	
Categoría.5ta Kg	0.133		-0.333	-0.553		-0.195		-0.111	-0.125	-0.119
Peso Tubérculo en Kg	0.118	-0.417	-0.120				0.235	0.215	0.160	
Rendimiento tn/ha		-0.260	0.285	-0.302	0.321	-0.296		-0.184	0.381	-0.135
Disponibilidad de Fosforo en la siembra	-0.112	0.215	0.351		-0.279		0.486		0.196	-0.395
Varianza (λ)	2.789	2.037	1.475	1.259	1.109	0.968	0.898	0.779	0.662	0.594
Proporción Explicada (%)	0.369	0.197	0.1037	0.075	0.058	0.045	0.038	0.029	0.021	0.017
Proporción Acumulada (%)	0.369	0.566	0.6697	0.744	0.803	0.847	0.885	0.914	0.935	0.952

Fuente: Propia

Anexo 10. Análisis Económico (Relación Beneficio / Costo, análisis marginal de la innovación)

TESTIGO			GESTION:2011 – 2012					
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	SIN BACTERIA		Cantidad	CON BACTERIA	
				costo			Costo	
				Unitario	total		Unitario	Total
A	COSTOS VARIABLES							
1.	Preparación de terreno							
1.1.	Yunta y Peón	Jornal	5	70	350	5	70	350
1.2.	Peón	Jornal	5	60	300	5	60	300
2.	Siembra							
2.1.	Peón	Jornal	6	60	360	6	60	360
2.2.	Yunta y Peón (Siembra)	Jornal	6	70	420	6	70	420
2.3.	Abonero	Jornal	3	60	180	3	60	180
2.4.	Transporte de guano	cubo	0	80	0	0	80	0
3.	Labores culturales							
3.1.	1er y 2do Aporques	Yunta+yuntero	2	60	120	2	60	120
3.2.	1er y 2do Aporques	Jornal	6	60	360	6	60	360
3.3.	Deshierbe	Jornal	3	60	180	3	60	180
3.4.	Aplicación Agroquímicos	Jornal	5	60	300	5	60	300
4.	Riego							
4.1.	Peón	Jornal	10	60	600	10	60	600
4.2.	equipo de riego	Día	5	30	150	5	30	150
4.3.	Agua	acciones	20	60	1200	20	60	1200
5.	Cosecha							
5.1.	Cavado	Jornal	20	60	1200	20	60	1200
5.2.	recolección (embolsado)	Jornal	6	60	360	6	60	360
5.3.	Selección	Jornal	8	60	480	8	60	480
5.4.	Transporte	Flete camión	5	150	750	5	150	750
6.	Insumos							
6.1.	Semilla de Papa	qq	30	180	5400	30	180	5400
6.2.	Bacteria	Litro			0	1,2	100	120
6.3.	Ridomil	Kg	4	200	800	4	200	800
6.4.	Lorsban plus	Lts	4	55	220	4	55	220
6.5.	Ditane	Kg	2	120	240	2	120	240
6.6.	Karate	Lts	1	260	260	1	260	260
	TOTAL COSTOS VARIABLES				14230			14350
B	COSTOS FIJOS							
7.	Materiales y herramientas							
7.1.	Estacas	PZA	30	3	90	30	3	90
7.2.	Pita	mts	50	0,5	25	50	0,5	25
7.3.	Picota	PZA	5	45	225	5	45	225
7.4.	Azadón	PZA	5	35	175	5	35	175
7.5.	Balde	PZA	1	15	15	1	15	15
7.6.	Mochila	PZA	1	315	315	1	315	315
	Sacos para embolsado	Sacos	85	3	255	85	3	255
	TOTAL COSTOS FIJOS				1100			1100
8.	OTROS	imprevistos	10%		1423	10%		1435
9.	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/HA				16753			16885
	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/Kg				0,544			0,853
10.	RENDIMIENTO (Tn/ha)				30,78			19,8
11.	PRECIO DE VENTA (Bs/Ha)				1300			1300
12.	VALOR DE PRODUCCION/ha				40014			25740
13.	UTILIDAD POR HA				23261			8855
14.	UTILIDAD POR Kg				0,756			0,447
15.	BENEFICIO / COSTO				2,388			1,524

Fuente: Propia

Anexo 11. Análisis Económico (Relación Beneficio / Costo, análisis marginal de la innovación)

GALLINAZA			GESTION: 2011 - 2012					
Ítem	Concepto	Unidad	SIN BACTERIA			CON BACTERIA		
			Cantidad	Costo		Cantidad	Costo	
				Unitario	Total		Unitario	Total
A	COSTOS VARIABLES							
1.	Preparación de terreno							
1.1.	Yunta y Peón	Jornal	5	70	350	5	70	350
1.2.	Peón	Jornal	5	60	300	5	60	300
2.	Siembra							
2.1.	Peón	Jornal	6	60	360	6	60	360
2.2.	Yunta y Peón (Siembra)	Jornal	6	70	420	6	70	420
2.3.	Abonero	Jornal	3	60	180	3	60	180
2.4.	Transporte de guano	Hrs	1	75	75	1	75	75
3.	Labores culturales							
3.1.	1er y 2do Aporques	Yunta+yuntero	2	60	120	2	60	120
3.2.	1er y 2do Aporques	Jornal	6	60	360	6	60	360
3.3.	Deshierbe	Jornal	3	60	180	3	60	180
3.4.	Aplicación Agroquímicos	Jornal	5	60	300	5	60	300
4.	Riego							
4.1.	Peón	Jornal	10	60	600	10	60	600
4.2.	equipo de riego	Día	5	30	150	5	30	150
4.3.	Agua	acciones	20	60	1200	20	60	1200
5.	Cosecha							
5.1.	Cavado	Jornal	20	60	1200	20	60	1200
5.2.	recolección (embolsado)	Jornal	6	60	360	6	60	360
5.3.	Selección	Jornal	8	60	480	8	60	480
5.4.	Transporte	Flete camión	5	150	750	5	150	750
6.	Insumos							
6.1.	Semilla de Papa	qq	30	180	5400	30	180	5400
6.2.	Bacteria	Litro			0	1,2	100	120
6.3.	Gallinaza	M³	12	80	960	40	80	3200
6.4.	Ridomil	Kg	4	200	800	4	200	800
6.5.	Lorsban plus	Lts	4	55	220	4	55	220
6.6.	Ditane	Kg	2	120	240	2	120	240
6.7.	Karate	Lts	1	260	260	1	260	260
	TOTAL COSTOS VARIABLES				15265			17625
B	COSTOS FIJOS							
7.	Materiales y herramientas							
7.1.	Estacas	PZA	30	3	90	30	3	90
7.2.	Pita	mts	50	0,5	25	50	0,5	25
7.3.	Picota	PZA	5	45	225	5	45	225
7.4.	Azadón	PZA	5	35	175	5	35	175
7.5.	Balde	PZA	1	15	15	1	15	15
7.6.	Mochila	PZA	1	315	315	1	315	315
	Sacos para embolsado	Sacos	85	3	255	85	3	255
	TOTAL COSTOS FIJOS				1100			1100
8.	Otros	imprevistos		10%	1526,5		10%	1762,5
9.	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/HA				17891,5			20487,5
	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/Kg				0,798			0,792
10.	RENDIMIENTO (Tn/ha)				25,88			22,42
11.	PRECIO DE VENTA (Bs/Ha)				1300			1300
12.	VALOR DE PRODUCCION/ha				33644			29146
13.	UTILIDAD POR HA				15752,5			8658,5
14.	UTILIDAD POR Kg				0,703			0,335
15.	BENEFICIO / COSTO				1,881			1,423

Fuente: Propia

Anexo 12. Análisis Económico (Relación Beneficio / Costo, análisis marginal de la innovación)

FERTILIZANTE 0 - 40 - 0 40 Kg/ha			GESTION: 2011 - 2012					
Ítem	Concepto	Unidad	SIN BACTERIA			CON BACTERIA		
			Cantidad	Costo		Cantidad	Costo	
				Unitario	Total		Unitario	Total
A	COSTOS VARIABLES							
1.	Preparación de terreno							
1.1.	Yunta y Peón	Jornal	5	70	350	5	70	350
1.2.	Peón	Jornal	5	60	300	5	60	300
2.	Siembra							
2.1.	Peón	Jornal	6	60	360	6	60	360
2.2.	Yunta y Peón (Siembra)	Jornal	6	70	420	6	70	420
2.3.	Abonero	Jornal	3	60	180	3	60	180
2.4.	Transporte de guano	Hrs	1	75	75	1	75	75
3.	Labores culturales							
3.1.	1er y 2do Aporques	Yunta+yuntero	2	60	120	2	60	120
3.2.	1er y 2do Aporques	Jornal	6	60	360	6	60	360
3.3.	Deshierbe	Jornal	3	60	180	3	60	180
3.4.	Aplicación Agroquímicos	Jornal	5	60	300	5	60	300
4.	Riego							
4.1.	Peón	Jornal	10	60	600	10	60	600
4.2.	equipo de riego	Día	5	30	150	5	30	150
4.3.	Agua	acciones	20	60	1200	20	60	1200
5.	Cosecha							
5.1.	Cavado	Jornal	20	60	1200	20	60	1200
5.2.	recolección (embolsado)	Jornal	6	60	360	6	60	360
5.3.	Selección	Jornal	8	60	480	8	60	480
5.4.	Transporte	Flete camión	5	150	750	5	150	750
6.	Insumos							
6.1.	Semilla de Papa	qq	30	180	5400	30	180	5400
6.2.	Bacteria	Litro			0	1,2	100	120
6.3.	Fertilizante 0 - 40 - 0	Kg	40	6,5	260	40	6,5	260
6.4.	Ridomil	Kg	4	200	800	4	200	800
6.5.	Lorsban plus	Lts	4	55	220	4	55	220
6.6.	Ditane	Kg	2	120	240	2	120	240
6.7.	Karate	Lts	1	260	260	1	260	260
	TOTAL COSTOS VARIABLES				14565			14685
B	COSTOS FIJOS							
7.	Materiales y herramientas							
7.1.	Estacas	PZA	30	3	90	30	3	90
7.2.	Pita	mts	50	0,5	25	50	0,5	25
7.3.	Picota	PZA	5	45	225	5	45	225
7.4.	Azadón	PZA	5	35	175	5	35	175
7.5.	Balde	PZA	1	15	15	1	15	15
7.6.	Mochila	PZA	1	315	315	1	315	315
	Sacos para embolsado	Sacos	85	3	255	85	3	255
	TOTAL COSTOS FIJOS				1100			1100
8.	Otros	improvisos		10%	1456,5		10%	1468,5
9.	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/HA				17121,5	CON BACTERIA		
	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/Kg				0,767	17253,5		
10.	RENDIMIENTO (Tn/ha)				19,25	22,31		
11.	PRECIO DE VENTA (Bs/Ha)				1300	1300		
12.	VALOR DE PRODUCCION/ha				25025	29003		
13.	UTILIDAD POR HA				7903,5	11749,5		
14.	UTILIDAD POR Kg				0,354	0,611		
15.	BENEFICIO / COSTO				1,462	1,681		

Fuente: Propia

Anexo 13. Análisis Económico (Relación Beneficio / Costo, análisis marginal de la innovación)

Fertilizante 0 - 40 - 0 80 Kg/ha			GESTION: 2011 - 2012					
Ítem	Concepto	Unidad	SIN BACTERIA			CON BACTERIA		
			Cantidad	Costo		Cantidad	Costo	
				Unitario	Total		Unitario	Total
A	COSTOS VARIABLES							
1.	Preparación de terreno							
1.1.	Yunta y Peón	Jornal	5	70	350	5	70	350
1.2.	Peón	Jornal	5	60	300	5	60	300
2.	Siembra							
2.1.	Peón	Jornal	6	60	360	6	60	360
2.2.	Yunta y Peón (Siembra)	Jornal	6	70	420	6	70	420
2.3.	Abonero	Jornal	3	60	180	3	60	180
2.4.	Transporte de guano	Hrs	1	75	75	1	75	75
3.	Labores culturales							
3.1.	1er y 2do Aporques	Yunta+yuntero	2	60	120	2	60	120
3.2.	1er y 2do Aporques	Jornal	6	60	360	6	60	360
3.3.	Deshierbe	Jornal	3	60	180	3	60	180
3.4.	Aplicación Agroquímicos	Jornal	5	60	300	5	60	300
4.	Riego							
4.1.	Peón	Jornal	10	60	600	10	60	600
4.2.	equipo de riego	Día	5	30	150	5	30	150
4.3.	Agua	acciones	20	60	1200	20	60	1200
5.	Cosecha							
5.1.	Cavado	Jornal	20	60	1200	20	60	1200
5.2.	recolección (embolsado)	Jornal	6	60	360	6	60	360
5.3.	Selección	Jornal	8	60	480	8	60	480
5.4.	Transporte	Flete camión	5	150	750	5	150	750
6.	Insumos							
6.1.	Semilla de Papa	qq	30	180	5400	30	180	5400
6.2.	Bacteria	Litro			0	1,2	100	120
6.3.	Fertilizante 0 - 40 - 0	Kg	80	6,5	520	80	6,5	520
6.4.	Ridomil	Kg	4	200	800	4	200	800
6.5.	Lorsban plus	Lts	4	55	220	4	55	220
6.6.	Ditane	Kg	2	120	240	2	120	240
6.7.	Karate	Lts	1	260	260	1	260	260
	TOTAL COSTOS VARIABLES				14825			14945
B	COSTOS FIJOS							
7.	Materiales y herramientas							
7.1.	Estacas	PZA	30	3	90	30	3	90
7.2.	Pita	mts	50	0,5	25	50	0,5	25
7.3.	Picota	PZA	5	45	225	5	45	225
7.4.	Azadón	PZA	5	35	175	5	35	175
7.5.	Balde	PZA	1	15	15	1	15	15
7.6.	Mochila	PZA	1	315	315	1	315	315
	Sacos para embolsado	Sacos	85	3	255	85	3	255
	TOTAL COSTOS FIJOS				1100			1100
8.	Otros	imprevistos		10%	1482,5		10%	1494,5
9.	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/HA				17407,5			17539,5
	COSTO TOTAL DE PRODUCCION/Kg				0,860			0,732
10.	RENDIMIENTO (Tn/ha)				20,24			23,95
11.	PRECIO DE VENTA (Bs/Ha)				1300			1300
12.	VALOR DE PRODUCCION/ha				26312			31135
13.	UTILIDAD POR HA				8904,5			13595,5
14.	UTILIDAD POR Kg				0,4398			0,568
15.	BENEFICIO / COSTO				1,512			1,775

Fuente: Propia

Anexo 14. Análisis de suelo antes de la ejecución de la tesis

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON
FAC. CIENCIAS AGRICOLAS Y PECUARIAS
"Martín Cárdenas"
Dpto. Ingeniería Agrícola

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS



ANALISIS FISICO DE SUELOS

Interesado: FUNDACION PROINPA

Proyecto: SANREM

Procedencia: Localidad Tiraque

No. LAB	1140	1141	1142	1143
Identificación	suelo	T-1 (anilla)	T-2 (anilla)	T-3 (anilla)
Profundidad cm		ER 1	ER 1	ER 1
Profundidad cm	0-25	0-25	0-25	0-25
Humedad (W) (%)				
TEXTURA	F			
ARCILLA (Y) %	21			
LIMO (L) %	39			
ARENA (A) %	40			
Densidad Aparente (Da) gr/cc		1,33	1,37	1,30
Densidad Real (Dr) gr/cc				
Porosidad %				
% Capacidad de Campo (0,33 bar)		18,40	17,04	20,44
% Pto. de Marchitez Permanente (15 bar)		7,64	6,18	8,34
% Agua disponible		10,76	10,86	12,10
Conductividad Hidráulica (K) cm/hora *				

* = Método Bower (carga constante)

Fecha: Cbba., Noviembre de 2011

Dir. Av. Petrolera Km 5- Tel. 4237596-FAX: 4762385.
E-mail: lab.suelos@agr.umss.edu.bo